

열연공장의 압연공정 두께계 폭계 온도계를 이용한 품질모니터링 시스템 개발

주종율* · 오재철**

Development of quality monitoring system using thickness gauge, width gauge, thermometer for a rolling operation in hot rolling mill plant

Jong-Yul Joo* · Jae-Chul Oh**

요 약

현재 운영되고 있는 제철소의 열연 공장은 24시간 상시 운전을 하고 있다. 각 공정별 주요 기능을 살펴보면 가열로, 조압연, 사상압연 및 권취 등으로 구성되어있으며, 여기에서 두께 및 폭 압연을 하고 이를 위한 소재의 온도를 조절하는데 큰 기능이 있다. 여기에는 작업의 특성상 고장 및 불량 요소가 상당히 많다. 또한 제품의 출하 이후에도 클레임이 발생하면 조사가 필요한 실정이다. 기존의 각 공정별 두께계, 폭계, 온도계에서의 독립적인 데이터 취득 및 모니터링에 의한 운전은 조업자로 하여금 많은 피로감을 준다. 이를 보완하고자 각 공정의 데이터를 통합해서 기능별로 모니터링하고 향후 작업 결과도 확인할 수 있는 통합 모니터링 시스템의 필요성이 대두되었다. 이에 압연공정 품질모니터링 시스템을 개발함으로써 보다 효율적인 운영이 가능하게 될 것으로 기대한다.

ABSTRACT

Today, hot rolled mill plant are currently operating 24 hours a day. The main processes of hot-rolled steel mill are Reheating Furnace, Roughing Mill, Fishing Mill and the Down Coiler. In the process checking over the thickness and width of rolled material, temperature control is an important factor. It is quite often the cause of the work breakdown and find a bad elements for product. After the shipping out the product, when a claim occurs requires an investigation. In each process of the conventional thickness gauge, width, and thermometer. Operation by an independent data acquisition and this monitoring is problematic and straining of the operator. The monitoring process the data of each function and incorporate monitoring results can also check future work. The installation of this system will improve our efficiency and productivity. In the rolling process by developing more efficient operating quality monitoring system, this will be made possible.

키워드

Quality Monitoring System, Trend, Hot Strip Mill, RM, FM, DC
품질 모니터링 시스템, Trend, 열연, 조압연, 사상 압연, 권취

1. 서 론

제철소에는 기능적으로 수많은 공정의 조합으로 각종 제품을 생산하고 있다. 그중에서 열연 coil은 소결

* 순천대학교 컴퓨터과학과(rtis@rtis.co.kr)

** 교신저자: 순천대학교 컴퓨터공학과

• 접수일 : 2016. 02. 26

• 수정완료일 : 2016. 04. 13

• 게재확정일 : 2016. 04. 24

• Received : Feb. 26, 2016, Revised : Apr. 13, 2016, Accepted : Apr. 24, 2016

• Corresponding Author : Jae-Chul Oh

Dept. of Computer Engineering, Suncheon National University,

Email : ojc@suncheon.ac.kr

및 코크스, 제강, 연주공정 등을 거쳐서 SLAB 형태로 열연공장에 투입된다. 통상적으로 그림 1과 같이 열연 공장에서는 가열로, 조압연, 사상압연, 권취 등의 과정을 거쳐서 열연 coil이 생산된다. 열연공정 작업에서 두께 및 폭압연과 온도 제어는 열연 coil 제품의 품질 향상을 위한 필수적인 요소이다. 각 공장은 연주무휴의 형태로 가동되고 있으며 이는 조업자로 하여금 피로감을 야기하므로 조업의 단순화 및 자동화가 요구되는 실정이다[1].

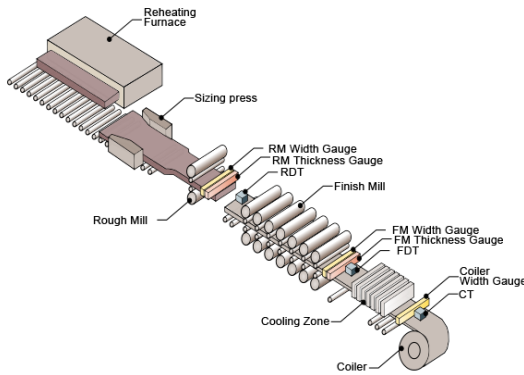


그림 1. 열연공장의 개념도
Fig. 1 Conceptual of hot rolling plant

열연공장의 두께계, 폭계 및 온도계는 각 공정별로 단독 시스템으로 구성되어있어 각각의 시스템에 대한 모니터링을 위한 모니터가 독립적으로 배치되어있는 형태이다. 이는 고속의 작업 조건에서 품질의 상태를 확인하기 위하여 조업자는 해당 타이밍별로 여러 모니터를 통하여 운전 상태를 확인해야한다. 또한 자동화에 따른 조업자의 감소로 인한 많은 모니터의 설치는 운전 및 공간 배치의 제약을 받는 형태이다. 기존에 운영되는 대부분의 공장에서는 위와 같은 형태의 시스템으로 운전을 하고 있으며 이로 인한 조업자의 피로도와 품질의 저하가 있는 실정이다.

본 논문에서 제안한 시스템은 기존 두께계, 폭계, 온도계의 데이터를 압연 PLC를 통하여 수집한다. 수집한 단일 시스템에서 coil을 기준으로 tracking timing별로 공정단위로 묶어서 정보를 한꺼번에 볼 수 있도록 구성하여 조업자가 한눈에 모니터링이 가

능하도록 개발하였다. 또한 해당 계측기별 data에 대한 상하한 범위 값을 설정하도록 구성해서 해당 범위를 벗어나면 알람을 발생하여 조업자가 인지하도록 구성하였다.

본 시스템은 각 계측기별로 설치되어서 운전에 필요한 데이터를 모니터링 했던 시스템을 하나의 시스템으로 통합하여 작업의 효율성 및 동일한 타이밍 조건의 작업 데이터를 한눈에 확인함으로써 조업자보다 편안한 운전을 할 수 있도록 도움을 주는 새로운 품질모니터링 시스템이다. 또한 각 coil별로 작업한 이력을 저장하여서 향후 품질에 대한 문제가 제기되었을 때 이를 통하여 작업 상황을 확인 할 수 있도록 구성하였다[2-4].

II. 관련 연구

2.1 압연 프로세스

2.1.1 조압연(Roughing Mill)의 목적은 마무리 공정(Finishing Mill)에서 작업이 가능하도록 SLAB의 두께를 감소시키고 SLAB를 수요가가 원하는 폭으로 압연하는 것이다. 조압연 설비는 공장의 길이와 생산성 향상을 감안하여 대부분 3 ~ 4개의 mill 로 구성되어 있으며, 정확한 코일의 폭을 확보하기 위해 에지롤(edge roll)의 입출측에 부착되어 있다. 압연기 전후에 압연 중 발생하는 스케일을 제거하기 위한 디스크 일링 설비가 설치되어 있다[5-6].

2.2.2 사상압연(Finishing Mill)의 목적은 조압연에서 작업된 슬래브를 수요가가 원하는 최종 크기로 제조하는 공정으로 각 용도에 맞는 온도 확보에 의한 재질 확보, 양호한 표면 및 형상을 확보하는 등 열연 공정에서 핵심공정이다. 이 공정은 생산성 향상을 위해 6~7개의 롤이 연속적으로 설치된 연속식 압연기(Tandem Mill)를 갖추고 있으며 두께의 정확성 확보를 위해 자동 판두께 제어(AGC), crossing 상하부 roll에 의한 형상 및 crown을 조절하는 pair cross mill 및 사상압연기 끝부분에 장착되어 판의 평탄도를 조절하는 자동형상제어(ASC) 시스템 등의 계측기계 설비가 설치되어 있다[7-8].

2.2.3 ROT(: Run Out Table)는 마무리 압연된 strip을 권취기까지 진행시키는 테이블 롤러로서 상하

의 냉각 설비와 병렬로 연결되어 있다. 사상압연기를 통과한 스트립은 ROT을 거쳐 권취기에서 권취되는데, 이 공정을 거치는 동안 요구되는 재질을 확보하기 위해 냉각과정을 거친다. 일반적으로 냉각은 laminator flow로 불리는 냉각수를 이용한 냉각설비에서 행해지며, 이때의 냉각온도에 따라 재질이 결정된다[9].

2.2.4 권취기(Down Coiler)는 압연과 냉각이 완료된 스트립은 보관 및 이동이 편리하도록 코일형태로 권취하게 되는데 이를 수행하는 설비를 권취기라고 부르며, 일반적으로 주철비보다 아랫부분에 위치하고 있어 이를 Down Coiler라고 부른다. 권취기의 작업은 코일을 정확한 형태로 권취하는 것으로 비정상작업이 될 경우 후 공정인 정정라인에서 재 권취 작업을 거친다[10].

III. HRQMS

3.1 두께, 폭, 온도 수집을 고려한 시스템 설계

본 논문에서 제안하는 품질 모니터링 시스템의 개념도는 그림 2와 같다.

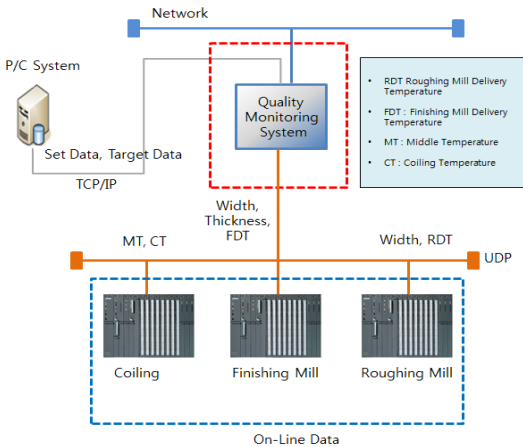


그림 2. 품질 모니터링 시스템의 개념도
Fig. 2 Conceptual of quality monitoring system

압연공정에서 측정하고 있는 on-line data를 수집하여 모니터링 후 오차 범위를 줄이고 품질의 향상을 위해 품질 모니터링 시스템을 개발 하였다.

이는 압연공정 프로세스에서 압연의 진행성을 양호하게 하여 생산성을 확보할 뿐 아니라 압연 강판의 두께 및 폭 그리고 온도 값을 모니터링 하기 위한 시스템이다.

먼저 조압연, 사상압연, 권취에 필요한 온도, 폭, 두께 data를 측정하고 있는 on-line data에서 항목 선정 작업을 한다. 선정된 항목은 PLC를 통하여 실시간으로 전송받는다. 선정된 항목을 가지고 열연 process computer system에서 각각 제품별로 모니터링 하기 위해 setup data, 목표 값 및 편차 값을 전송 받는다.

전송 받은 두께, 폭, 온도 data가 특정 값 이상이거나 이하일 때 조압연, 사상압연, 권취 관련 항목들을 품질 모니터링 시스템 화면에서 쉽게 확인 할 수 있도록 그림 3과 같이 trend 형태로 표현한다.

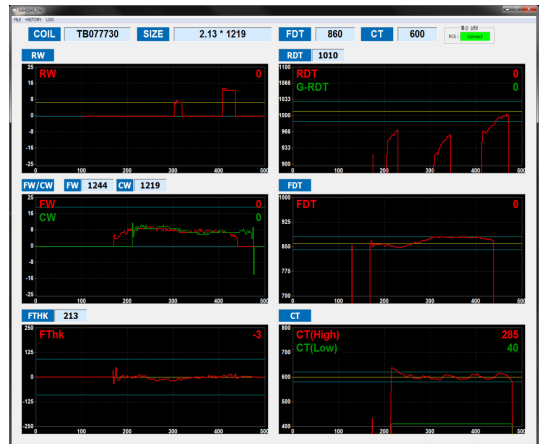


그림 3. HRQMS 화면 구성도
Fig. 3 HRQMS configuration screen

3.2 HRQMS 시스템 프로그램 개발

HRQMS(Hot Rolling Quality Monitoring System) 시스템 프로그램의 알고리즘은 두께 및 폭 압연을 하고 이를 위한 소재의 온도를 조절하고 작성 특성상 고장 및 불량 요소가 발생하는 문제점을 guidance 하고 해결할 수 있다.

먼저 조압연(Roughing Mill)에서 폭 편차 값을 측정하여 목표 값의 범위가 되는지 확인한다. 조압연 시작 Roll에서 마지막 Roll까지 반복적으로 압연 작업을 길이에 따라 통상적으로 최대 7번까지 한다. 조압연 폭 편차 측정값은 RW(조압연 폭: Roughing Mill)가

0 이상일 측정을 시작하여 trend로 표현한다. 조압연의 폭 편차 목표 값은 대부분 정해져 있다. 그림 4를 보면 조압연 목표 폭 편차는 7mm로 고정되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 이는 조업 표준에 정해진 기준에 따라서 변동이 가능하다.

조압연 후면에서 RDT값이 기준 값(720℃) 이상일 때를 기준으로 온도 data를 trend로 표현하였다. RDT 값은 각 Pass별 온도 값이 측정된다.

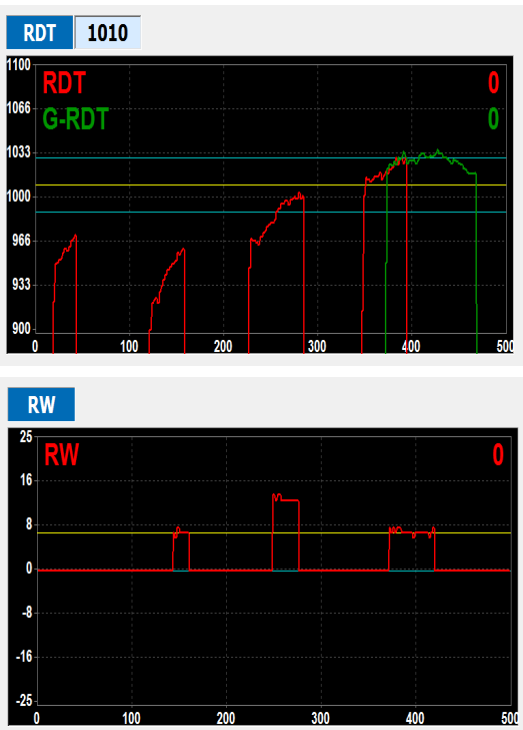


그림 4. 조압연의 폭, 온도 측정 data

Fig. 4 Width and temperature measured data of RM

조압연의 Last pass 시 압연된 strip를 사상압연기에 투입시킨다. 조압연의 RDT 온도가 900℃ 이하로 측정되면 설비에 무리가 갈 수 있기 때문에 조압연을 중단하고 작업 중인 소재를 제외하고 후 공정에서 작업되어진 소재를 작업한다. RDT의 목표 온도는 소재마다 다르지만 목표 온도에서 ±20℃까지 오차를 허용한다.

G-RDT(: Grand RDT)값은 사상압연기에 Strip을 투입하기 전 사상압연기의 목표 온도 값을 설정하기

위한 중요한 온도 값이다.

사상압연기에 투입되는 FDT 온도는 800~900℃ 정도, 두께는 1.2~20mm정도, 폭은 760~1900mm 정도로 주문에 따라 다양하다. 사상압연(Finishing Mill)에서 두께, 폭, FDT(사상압연 후면 온도 : Finishing mill Delivery Temperature)값을 측정하여 정해진 목표 값으로 조절하고 7번 stand를 통과하여 FDT의 온도가 700℃ 이상일 때 두께계, 폭계, 온도계에서 data를 측정하여 오차가 얼마나 발생하는지를 trend로 표현하였다. 그림 5를 보면 폭 측정값이 목표 범위 안에서 변화하고 있는 것을 확인 할 수 있다. 마지막에 변화가 발생하는데 이것은 Strip의 Tail 부분이 사상압연기를 통과하여 발생하는 값이다. FW(사상압연기 폭: Finishing Mill Width), CW(권취 폭: Coiling Width)를 나타낸다. FW와 CW 측정값을 같이 표현한 것은 권취에서 사상압연 한 폭 변화가 얼마나 있었는지를 보기위해서다. 그림 5를 보면 미세하게 FW와 CW의 차이를 확인 할 수 있다.

열연 process computer 시스템에서 목표 값과 min, max값을 전송받아서 측정하고 있는 값들에 적용되고 화면에 표시한다.



그림 5. 사상압연 및 권취기의 폭 측정 Data

Fig. 5 Width measured data of FM and DC

On-line에서 측정하고 있는 FDT값이 전송받은 목표 값 범위 안에서 측정되고 있다. 두께 편차 값도 마찬가지로 전송받은 범위 안에서 측정되고 있는 것을 확인 할 수 있다.

그림 6은 측정한 FDT와 두께 편차 값을 trend로 표현한 것이다.

만약 측정되고 있는 두께 편차, 폭 편차, 온도 값들

이 목표 값을 크게 벗어나게 되면 제품에 문제가 발생 할 수 있고, 특히 온도가 급격히 낮아 질 경우에는 연신율, 경도 등의 기계적 성질에 따라 혼입조직이 발생 할 수 있기 때문에 조업자가 압연을 중단시킨다.

FDT 온도가 기준 값(700℃) 미만일 때 사상압연의 모든 측정을 종료한다.

권취에서는 사상압연에서 압연된 strip이 ROT(Run Out Table)를 통과하여 냉각되어지고 코일 형태로 감는 작업을 하는데 마지막으로 온도를 조절하여 제품이 완성될 수 있게 CT(: Coiling Temperature) 값을 측정하여 trend로 표현한다.

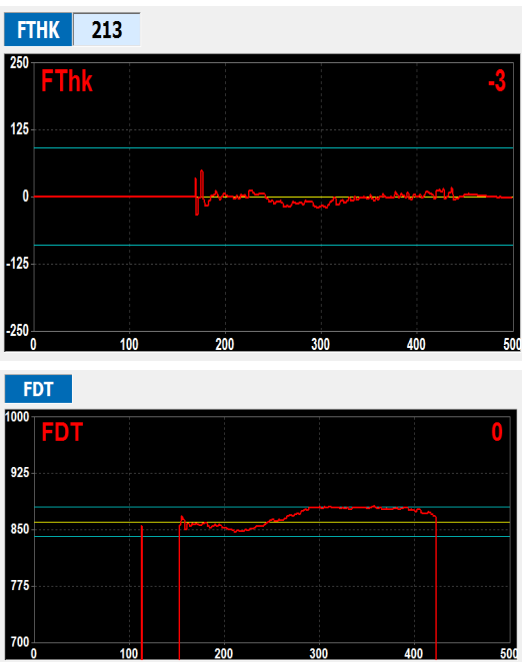


그림 6. 사상압연기의 두께, FDT 측정 data

Fig. 6 Thickness and FDT measured data of FM

CT 값은 고온과 저온으로 두 가지로 표현이 된다. 사상압연 값들을 측정시점에 CT 측정을 시작한다. 제품에 따라 CT는 고온인 경우 550℃~650℃정도, 저온인 경우 400℃~450℃정도에서 권취가 되어 제품이 된다. 권취 시 온도가 목표 값보다 높거나 낮아지게 되면 strip에 변화가 생겨 문제가 발생하게 된다. 특히 저온보다는 고온 온도에 영향을 크게 받는다.

그림 7은 CT온도를 측정된 화면이다. CT값은 통상적으로 목표 값의 ±20℃의 오차 범위를 허용한다.

고온이 중요하기 때문에 CT 고온 값이 목표 값 범위 안에서 측정이 되고 있는지 확인이 필요하다. 그림 7은 CT고온 값이 목표 값 범위 안에서 측정되고 있는 것을 확인 할 수 있다. CT 온도가 300℃ 미만일 때 측정을 종료한다.

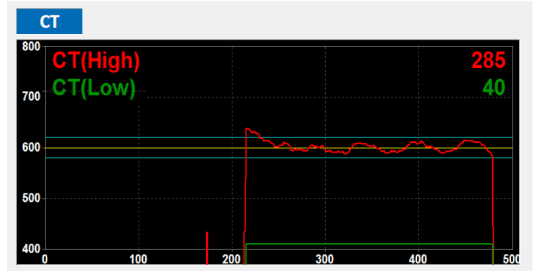


그림 7. 권취기의 CT 측정 data

Fig. 7 CT measured data of DC

마지막으로 이전 제품들의 사상압연기의 두께 편차, 폭 편차, FDT, 권취 폭 편차 값들을 확인 할 수 있는 history 화면이다. 이전 제품들의 측정값이 필요한 이유는 측정값들을 비교하여 동일 제품에 대한 각각의 목표 값을 설정하거나 조업 pattern을 변경할 수 있다.

그림 8은 사상압연기의 이전 제품들의 측정값을 표현한 화면이다. 이전 제품의 측정 값 표현은 3개의 제품을 표현 할 수 있다. 오른쪽부터 가장 최근에 측정한 값이다.

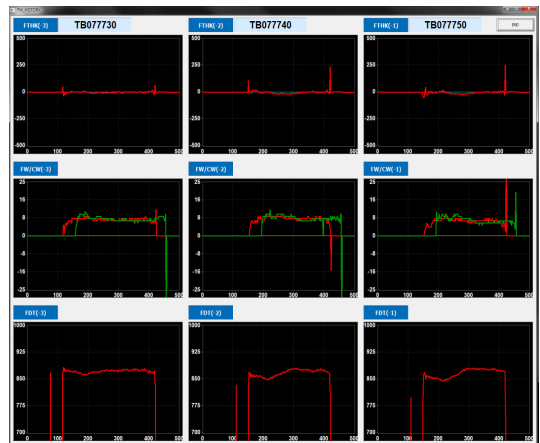


그림 8. 사상압연기의 history 화면 구성도

Fig. 8 History configuration screen of FM

그림 9는 위와 같이 개발한 HRQMS 시스템의 프로그래밍 순서도를 나타낸 것이다.

IV. 결론

현재 운영되는 대부분의 생산 설비들은 인력감축에 목표를 두고 있다. 이는 설비의 자동화 및 작업 환경의 변화를 요구하는데 독립된 시스템의 모니터링을 통합하는 과정도 중요한 요소이다.

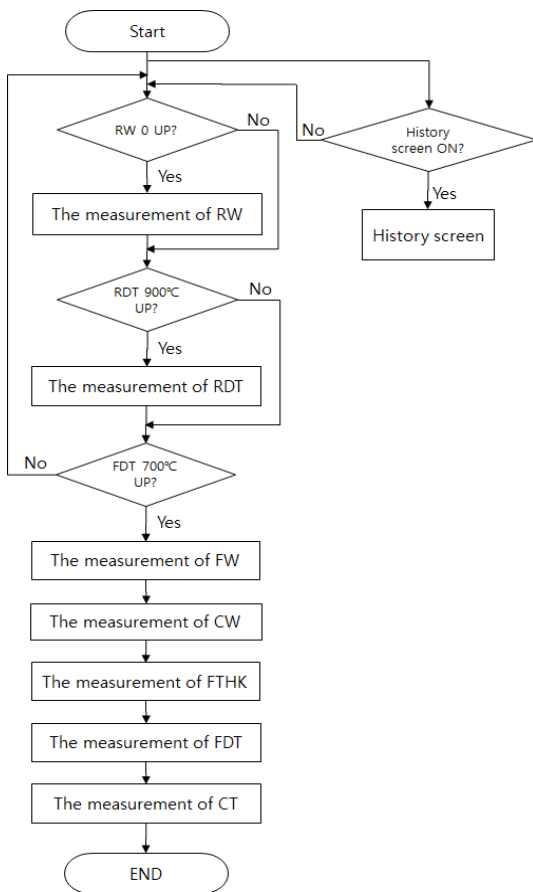


그림 9. HRQMS 시스템 순서도
Fig. 9 HRQMS system flowchart

본 논문에서는 열연 공정의 두께계, 폭계, 온도계 등의 독립적인 시스템에 의한 운전모니터링의 문제점들을 해결하기 위하여 단일 시스템의 품질모니터링

시스템을 제안하였고 개발된 시스템은 광양 열연 공장에 온라인 적용하였다. 작업측면에서 1대의 두께계와 3대의 폭계 및 5대의 온도계를 통합하여 하나의 시스템에서 전체를 표시하였고 각각의 tracking timing에 맞춰서 관련된 정보를 동시에 표현하여 작업의 효율화를 극대화하였다.

References

- [1] Y. Park, "A study of Water Level Control System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 5, 2010, pp. 504-508.
- [2] Y. Bae, "Development of Monitoring System for Safety Operation of Crane," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 11, 2014, pp. 1305-1310.
- [3] H. Kim, "Internal communication as CCTV Automatic Climate Control System Development," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 4, 2015, pp. 433-439.
- [4] G. Yeom and C. Jeong, "A Design of Policy-Based Composite Web Services QoS Monitoring System," *J. of the Korea Society of Computer and Information*, vol. 14, no. 10, 2009, pp. 189-197.
- [5] M. Chun, J. Cheong, I. An, and Y. Moon, "Finite Element Analysis of Slab Deformation under the Width Reduction in Hot Strip Mill," *Trans. of Materials Processing*, vol. 12, no. 7, 2003, pp. 668-674.
- [6] J. Jeong, K. Lee, S. Lee, I. Lee, S. Lee, H. Kim, K. Lee, and B. Kim, "Prediction of Plastic Deformation Behavior of the Side Surface of Slab during Hot Rough Rolling," *Trans. of Materials Processing*, vol. 23, no. 7, 2014, pp. 425-430.
- [7] B. Koo, W. Gon, and S. Won, "Fault detection observer and fault tolerant control for steering control system in hot rolling finishing mill," *2015 30th Institute of Control, Robotics and Systems Annual Conference*, Daejeon, Korea, May, 2015, pp. 277-278.
- [8] H. Park, H. Kim, and G. Song, "Introduction of Heat Transfer in Hot-rolling Process," *Proc.*

of the The Korean Federation of Mechanical Engineers Socitis 2002 Joint Symposium, Seoul, Korea, Nov, 2002, pp. 1459-1464.

- [9] C. Park and K. Yoon, "LBCC of Transient State for High Strength Steel in Hot Strip Mills," *J. of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 17, no. 4, 2011, pp. 382-387.
- [10] S. Lee, H. Park, and C. Park, "Design of LTBC Controller for Tension Control in Down Coiler Process of Hot Strip Mills," *J. of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 21, no. 4, 2015, pp. 301-308.

저자 소개



주종율(Jong-Yul Joo)

1999년 한국방송통신대학교 컴퓨터과학과 졸업(이학사)

2001년 순천대학교 정보과학대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학석사)

2015년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사(수료)

2004년 ~ 현재 ㈜지에스씨 대표이사

※ 관심분야 : 공장자동화시스템, 사물인터넷, 임베디드시스템, 센서네트워크



오재철(Jae-Chul Oh)

1978년 전북대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1982년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

1988년 전북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1984년~1986년 기전대학교 전자계산학과 전임강사

1986년~현재 순천대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 임베디드시스템, USN, 네트워크 설계 및 분석

