

알루미늄 빌렛 생산공정 데이터 관리 플랫폼 구현 및 불량원인 분석

강수성*¹, 김현석*², 이충엽*³, 김성렬**

Implementation of Data Management Platform for Aluminum Billet Production Process and Cause Analysis of Defect

Su-Sung Kang*¹, Hyeon-Seok Kim*², Choong-Youp Lee*³, and Sung-Ryul Kim**

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(202001560001)

요 약

알루미늄 합금 제조는 기온이나 습도와 같은 외부 환경에 영향을 받으므로 작업 표준서를 준수하여 공정을 진행하더라도 불량이 발생할 수 있다. 따라서 불량원인을 분석하고 공정을 개선하기 위해서는 공정 중 발생하는 다양한 종류의 데이터를 수집해야 한다. 이에 본 연구에서는 알루미늄 합금 빌렛 제조 현장에서 발생하는 공정 데이터 및 환경 데이터를 통합 관리하는 플랫폼을 구축하였다. 또한, 과거에 기록된 용해공정 일지와 주조공정 일지 및 기상청에서 제공하는 공공데이터를 활용하여 불량 발생의 통계 정보를 추출하였다. 개발된 시스템을 통해 체계적인 데이터 관리가 가능하며 작업자에게 올바른 공정을 지도할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract

Defects in the manufacturing of aluminum alloy may occur even if the process is performed under the standard specification because it is affected by external factors such as temperature and humidity. In order to analyze the cause of defects and improve the process, various types of data occurred on the process should be collected. In this paper, we implemented an integrated platform that manages data generated in the manufacturing site. In addition, we yield statistical information on defect occurrence by utilizing the melting/casting records, and the public data released by Korea Meteorological Administration. The developed system manages manufacturing data systemically and provide correct process guidance to operators. Furthermore it is expected that our system can be flexibly applicable to the similar manufacturing industries that require data collection, storage, analysis, and visualization.

Keywords

smart factory, billet manufacturing, integrated platform, statistical analysis

* 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 학사과정
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0008-7672-7501>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0004-4279-6729>
- ORCID³: <https://orcid.org/0009-0009-5848-4777>
** 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 조교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5218-1477>

• Received: Feb. 23, 2023, Revised: Mar. 22, 2023, Accepted: Mar. 25, 2023
• Corresponding Author: Sung-Ryul Kim
Dept. of Computer Software Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea
Tel.: +82-54-458-7549, Email: sungryul@kumoh.ac.kr

I. 서 론

4차 산업혁명과 함께 많은 제조업은 구조 고도화 및 경쟁력 제고를 위해 다양한 ICT 기술을 활용하고 있다. 특히 데이터 기반 의사결정이 중요해짐에 따라 제조 공정에서 발생하는 데이터를 효율적으로 저장·관리·분석하는 시스템 도입은 선택이 아닌 필수로 자리 잡았다[1]-[3].

다양한 제조 산업 중 알루미늄 사업은 코로나로부터의 일상 회복에 기인한 포장재 수요 증가와 전기차 생산 수요가 상승함에 따라 점차 회복되는 추세다[4]. 순수 알루미늄은 부드러운 금속이므로 구리나 마그네슘과 같은 부속물과 합금하여 그 목적에 맞는 성질로 변형한 후 빌렛(Billet)이라 불리는 원통 형태로 압축된다.

빌렛은 원자재에 해당하는 ingot, scrap, 모합금 등을 가열하여 용탕을 만드는 용해, 용탕에 존재하는 기포와 불순물을 제거하는 탈가스 및 필터 과정, 균질화를 위한 열처리 과정을 거쳐 생산된다[5].

빌렛 제작에는 용탕이 공기 중에 노출되는 공정이 포함되어 있으므로 대기질, 기온, 습도 등 환경요인이 공정에 영향을 미칠 수 있다[6]. 따라서 작업 표준서를 준수하여 같은 공정 조건에서 생산되는 빌렛일지라도 품질의 차이가 발생하게 된다. 아쉽게도 많은 제조 현장은 이러한 문제 해결을 작업자의 경험에 의존한다는 한계를 지닌다. 물론 용해일지나 주조일지와 같이 공정 데이터를 수기로 작성하지만, 이것이 유의미한 분석까지 이르는 경우는 드물다.

이에 본 연구에서는 경북 구미시 소재 알루미늄 합금 제조업체인 미래금속에서 수집되고 있는 제조 환경 데이터와 수기로 작성되는 공정 일지를 통합 관리하는 웹 기반 플랫폼을 개발하였다. 개발한 플랫폼은 파일로 관리되는 환경 데이터를 데이터베이스로 주기적으로 이관(Migration)하는 기능을 포함한다.

또한, 수기로 작성되는 용해일지와 주조일지를 대신해 웹 브라우저로 일지를 기록하고 데이터베이스로 관리하는 전산 체계를 구축하였으며 이를 통해 환경 데이터와 일지 데이터를 결합하여 통계 정보를 추출할 수 있는 기반을 마련했다. 더불어 제조

환경 데이터를 수집하기 전인 2022년 12월 이전 기상 데이터는 공공데이터를 활용하여 기온과 습도가 빌렛 제조에 미치는 영향을 분석하였다.

본 논문의 구성을 다음과 같다. 2장은 빌렛 제조 공정을 설명하고 제조 환경에 설치된 센서 및 수집되는 데이터의 종류를 기술한다. 3장에서는 본 연구에서 개발한 웹 기반 통합 플랫폼을 소개한다. 4장에서는 기존 데이터를 기반으로 불량공정에 대한 다양한 통계 정보를 보인다. 마지막으로 결론에 및 향후 연구를 제시하여 본 논문을 마무리한다.

II. 제조 환경

2.1 공정

해당 기업은 규격 6, 7, 8인치의 알루미늄 6000 계열 합금 빌렛 생산을 주력으로 하고 있다. 부재료로 Si, Mg, Cu, Mn, Cr, Zr, Fe를 사용하며 이를 납품처의 요청에 따라 적절한 비율로 첨가한다. 현장에는 두 개의 용해로를 가동하여 용탕을 만든다.

여기서 표준적인 알루미늄의 최고온도는 약 750도 정도이며, 처리 중이나 유지 중의 용탕 온도는 700~730도 정도가 바람직하다. 다만 유지 시간이 길어질수록 불순물 증가 및 용탕 중으로 수소 흡수가 늘어나는 문제가 야기된다. 또한 악화된 용해효율은 응고 금속 중에 가스 구멍을 만들 수 있으므로 용해 공정의 시간 단축은 중요한 해결 과제 중 하나다[7].

용탕에 존재하는 가스 구멍을 제거하기 위해 GBF(Gas Bubble Filtration) 처리가 수반되며 GBF 용탕의 적정 온도를 유지가 필요하므로 미래금속에서는 두 개의 GBF 히터를 상시 가동하고 있다. GBF 처리를 거친 용탕은 성분 보정을 거쳐 주조기로 이동되고 주조된 빌렛은 불균일성을 제거하기 위해 균질화 처리를 거친다.

최종적으로 하나의 원통형 빌렛을 일정 크기로 절단하면 제품이 생산이 완료된다. 생산된 빌렛은 성분 검사 및 육안 검사를 통해 양품과 불량품으로 분류되며 불량률의 종류와 원인은 주조일지에 기록된다.

2.2 데이터

통합 플랫폼에서 관리되는 데이터는 크게 작업환경 데이터와 용해/주조 일지로 분류된다. 미래금속의 제조 현장에는 예열로, GBF 설비, 주조기, 균질로 등 총 38개의 위치에 센서가 부착되어 있으며 이들은 기온, 유량, 수위 압력 등 다양한 종류의 데이터를 중앙 서버로 전송한다.

다만 서버에 저장된 데이터는 엑셀 파일 형태로 관리되고 있으므로 용해/주조 일지 데이터와 연관 관계를 맺어 유의미한 분석을 도출하는 데 한계가 있다. 다시 말해, 수집된 환경 데이터는 불량 발생한 용해/주조일지와 결합해야 유의미한 해석이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 해당 데이터를 관리하는 데이터베이스를 구축하고 파일로 기록되는 환경 데이터를 특정 시각마다 데이터베이스로 이관하는 기능을 추가하였다.

용해와 주조일지는 하나의 엑셀 파일로 관리되고 있으며 여기에는 불량률의 수량, 중량, 원인도 포함되어 있다. 한편, 2022년 일지에는 작업 현장의 기온과 습도 정보가 누락되어 있으므로 제조 환경이 제품 생산에 미치는 영향을 분석하는 데 어려움이 있었고 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 기상청에서 제공하는 공공데이터를 활용하였다[8].

해당 정보를 수집한 관측소는 경북 구미시 남동(위도: 36.13055, 경도: 128.32055)으로 미래금속과

직선거리로 약 5km 떨어져 있으나 온습도와 불량 발생의 상관관계 및 추이를 분석에 용도로는 충분하다고 판단하였다.

III. 통합관리 시스템 구현

스마트팩토리 분야에서 데이터 플랫폼의 필요성, 요구사항, 시스템 구조 등은 오랫동안 연구되었다. 그러나 대부분의 연구들은 보편적인 시스템 아키텍처 제시에서 끝나고 있다[9][10]. 또한, 데이터 플랫폼을 실제로 구현한 연구들도 수집된 데이터를 오픈소스 기반 분석 플랫폼에 적용한 결과를 제시할 뿐 웹 서비스를 통한 업무 개선에 초점을 맞춘 경우는 드물다[11][12].

본 연구에서 통합 관리 시스템의 개발 목적은 1) 수기로 작성되는 용해/주조일지를 웹 기반으로 관리하고 2) 파일로 적재되는 환경 데이터를 데이터베이스 시스템으로 이관하여 3) 불량 요인 분석 및 통계 정보 추출과 시각화를 수행하는 것이다.

개발 플랫폼은 미래금속에서 운영 중인 windows 운영체제 기반 TCP 서버에 배포하였다. 서버는 3GHz의 Intel Core i5-8500 CPU와 8GB 램을 탑재하고 있으므로 본 연구에서 개발한 플랫폼을 운영하는 데는 무리가 없다. 통합 플랫폼 아키텍처는 그림 1과 같다.

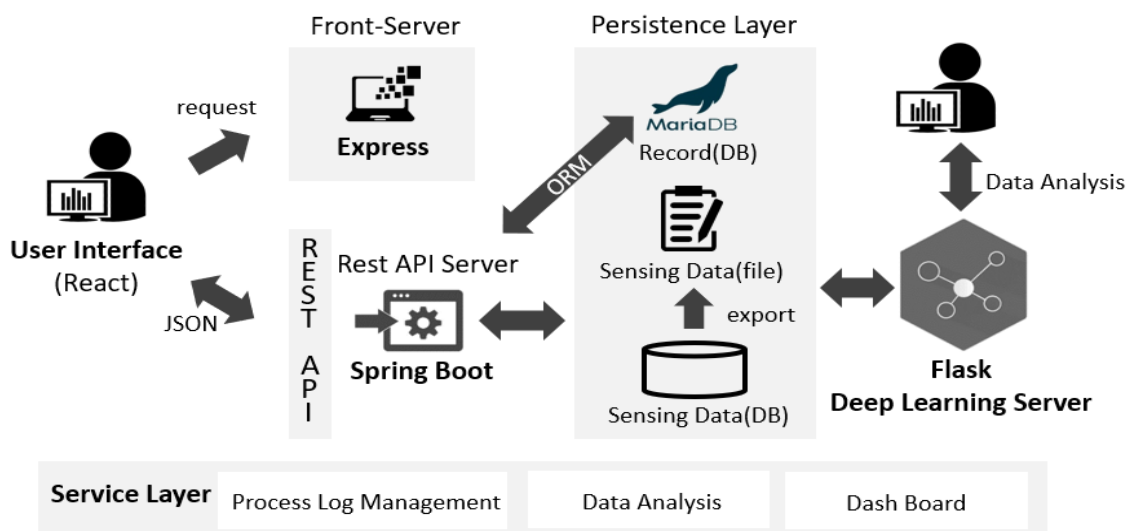


그림 1. 데이터 통합 관리를 위한 플랫폼 구조
Fig. 1. Platform architecture for integrated data management

기존에 설치된 센서가 TCP 서버로 1분 주기로 데이터를 전송하면 서버는 매일 오전 1시에 전날 측정된 모든 데이터를 지정된 파일 시스템 경로에 엑셀 파일로 저장한다. 본 연구에서는 매일 오전 2시에 해당 파일을 읽어 결측치 확인, 데이터 타입 체크 등 유효성 검사를 수행한 후 이를 데이터베이스로 이관한다.

한편 대상 기업이 전통적으로 사용하던 엑셀 파일 기반 용해/주조일지 관리 방식은 데이터 정합성 결여, 공정 데이터와의 결합(Join) 불가능, 구성원의 낮은 접근성 등 많은 한계점을 가진다. 이에 React 기반 단일 페이지 애플리케이션을 개발하여 웹페이지를 통해 일지를 작성하도록 한다.

특히 먼저 작성되는 용해일지 필드 중 주조 일지에도 동일하게 사용되는 필드는 주조 일지에 자동으로 채워 작업자의 일지 작성 피로도를 감소하였으며 데이터 검증을 통해 휴먼에러(Human error)로 발생하는 데이터 오기입 문제를 완화하였다.

관리자가 작성한 용해/주조일지는 RestAPI (Representational State Transfer Application Programming Interface) 서버로 전달된다. API 서버는 이를 관계형 데이터베이스인 MariaDB에 저장하며 이때 JPA(Java Persistence API)를 이용하여 데이터베

이스 프로그래밍의 효율성을 높이고 있다.

세션 관리는 JWT(JSON Web Token)을 통해 이루어지며 JWT의 RefreshToken 저장을 위해 Redis를 도입했다. 분석 서버의 경우 파이썬 기반 백엔드 개발 프레임워크인 Flask로 구현했으며 데이터베이스에서 조회한 데이터는 Pandas 패키지에서 제공하는 Dataframe으로 관리된다. Dataframe를 이용할 경우 다양한 통계 정보를 손쉽게 추출할 수 있으며 특히 Describe 메소드를 통해 기본적인 통계 정보를 한번에 확인할 수 있는 장점이 있다.

그림 2는 용해일지 작성을 위한 웹 기반 사용자 화면을 보이며 주조일지도 이와 유사한 형태로 구성되어 있다. 일지에서 추출된 다양한 통계 정보는 JavaScript 기반의 시각화 도구인 Chart.js 를 이용하여 시각화했다. 각 기능 구현을 위해 활용된 프레임워크는 표 1과 같다.

한 가지 주목할 것은 도커를 사용하여 기존에 구축된 TCP 서버 프로그램에 영향을 주지 않는 독립된 배포환경을 구축했다는 점이다. 이를 통해 기존 시스템과 분리된 공간에서 본 연구에서 개발한 프론트 서버, RestAPI 서버, 분석 서버를 자유롭게 배포하였으며 이러한 컨테이너 기술 도입으로 유지보수의 편의성을 가질 것으로 기대한다.

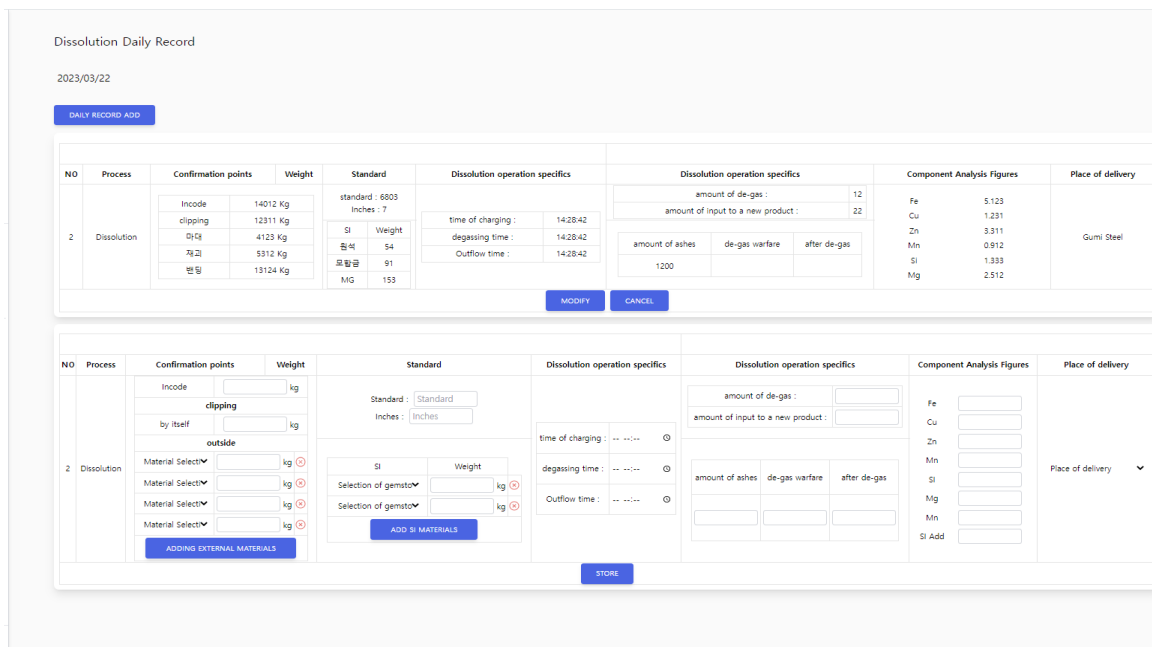


그림 2. 용해일지 작성을 위한 사용자 인터페이스
Fig. 2. User Interface to record dissolution logs

표 1. 플랫폼 구현에 사용된 기술 스택

Table 1. Technologies used for the platform development

Component	Software(Version)
Front server	Express(4.18.1)
User interface	React(18.2)
Visualization	Chart.js(3.9.1)
REST API server	Spring boot(2.79)
Authorization	Spring security(5.7.5)
Authentication	JWT(4.0.0)
Database	MariaDB(10.8.3)
Object relational mapping	JPA(2.7.5)
Deep learning server	Flask(2.2.1)
Container	Docker desktop(4.12.0)

IV. 불량발생 통계

불량 공정의 현황을 파악하기 위해 2022년 1월 3일부터 12월 13일까지 기록된 용해/주조 일지에서 다양한 통계를 추출하였다. 해당 파일에는 총 2067개의 제조공정 데이터가 기록되어 있으며 여기에는 불량 수량 및 원인을 포함하고 있다. 표 2는 분석에 사용된 데이터의 종류를 설명하고 있다.

4.1 전처리

일지는 작업자의 수기로 작성된 특성으로 인해 형태/타입 불일치, 결측값, 등이 다수 포함되어 있었다. 본 연구에서는 데이터 무결성을 위해 다양한 전처리 과정을 수행하였다.

먼저 판다스 패키지로 해당 파일을 읽어 DataFrame 자료형에 저장한다. 생산 일이 서로 다른 데이터 사이에는 상호 구분을 위한 행이 추가되어 있으므로 이를 제거한다. 특정 행에 결측치가 포함될 경우 DataFrame에서 제공하는 함수가 제대로 동작하지 않으므로 산술연산을 수행하지 않는 열은 fillna 함수를 통해 0으로 값을 채운다.

한편, 분석에 직접적으로 사용되는 탈가스 시간 셀에 1) 값이 없거나 2) 시간이 아닌 날짜가 포함되어 거나(타입 불일치) 3) “미실시”라는 문자열이 있으면 이와 동일한 값인 “용해 완료 시간” 셀의 값으로 대체한다.

표 2. 주조/용해 일지 컬럼 설명

Table 2. Description of columns in dissolution/casting logs

Section	Column name	Description
Metadata	Date	Date of manufacture
	Melting furnace	No. of melting furnace
	Alloy name, size	Alloy name and size
	Charging, degassing, complete, total	Times in each process of melting
	Start of casting, end of casting	Times in each process of casting
	Total time	Elapsed time for manufacture
Dissolution log	Outer 1, 2, 3, 4	External materials included in the melt
	Sub-material usage(Si, Mg, Cu, Mn, Cr, Zr, Fe)	Sub-material usage
	Total of charge	Total melting amount
	Ingot amount, Ingot weight,	Amount and weight of used ingot
Casting log	Amount, weight, content	Description of bad process
	Fe, Cu, Zn, Mn, Si, Mg, Cr, Zr, Ti	ingredient ratio extracted in sample

원본 데이터는 1월 1일 20시에 시작하여 다음 날 1월 2일 06시에 마치는 공정과 같이 시작일과 종료일이 다르더라도 동일한 제조 일자를 갖고 있었다. 이는 일지 데이터와 기상청 공공데이터 결합 시 정합성(Consistency)을 떨어뜨리는 문제를 야기하므로 공정 시작 시각과 총 작업시간의 합이 24시간을 넘기는 공정에 대해 제조 일자를 보정한다.

4.2 불량통계

불량은 기온과 습도와 같은 환경적 요인과 더불어 정비 불량, 설비의 노후화, 작업자의 숙련도와 같은 복합적인 요소가 결합하여 발생한다. 따라서 정확한 분석을 위해서는 다년간 축적된 양질의 데이터가 필요하다. 현재는 일지를 통해 불량이 발생한 공정의 통계 정보를 추출하여 제품 생산에 미치는 요인을 분석하고 있으며 분석은 총 네 가지 관

점에서 진행하였다.

[분석 1 합금 규격] 해당 기간에는 합금 번호가 6063이고 직경이 7인치인 빌렛이 920회, 6인치인 빌렛이 432회 생산된 것을 확인할 수 있다. 반면 불량이 발생한 횟수를 살펴보면 6인치 빌렛 생산에서 발생한 불량 횟수가 7인치에 비해 약 2.6배 더 높다.(참고로 여기서 말하는 불량은 하나의 공정에서 대략 36개에서 64개 사이의 빌렛 조각이 생산되는데 그중 하나라도 불량이 발생하면 이를 불량 발생 공정으로 간주한다)

이를 통해 빌렛의 직경이 작을수록 불량률이 높음을 알 수 있으며 직경 6인치 빌렛 제조공정에 대한 점검이 필요함을 확인하였다.

[분석 2 재료] 원료 용해 시 투입되는 부재료와 불량률의 관계를 파악하기 위해 각 공정에 투입된 부재료의 평균 총합을 산출하였다.

불량이 발생한 공정과 그렇지 않은 공정에서 부재료의 평균 투입량은 각각 170kg, 144kg이었으며 이는 부재료가 많이 투입될수록 불량 발생률이 높아짐을 시사한다. 부재료 투입량에 따라 유동성, 수축성, 균열 강도 등 그 화학적 성질이 변형될 수 있으므로 부재료 사용량에 따른 차별적인 공정 제어가 필요하다.

[분석 3 작업시간] 빌렛 생산라인은 월요일부터 토요일까지 24시간 가동된다. 본 연구에서는 요일별, 용해 장입 시작 시각별, 월별 불량 발생 비율을 파악하여 작업시간이나 계절이 불량에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

먼저 그림 3과 같이 요일별 불량 발생 비율은 금요일이 다른 날보다 다소 높게 나타났다. 이는 해당 일의 작업 담당자, 작업자의 수, 교대시간 등이 빌렛 생산에 영향을 줄 수도 있음을 의미하여 향후 축적된 데이터에서 그 양상이 더욱 뚜렷할 경우 추가적인 분석이 필요할 것으로 추측된다.

반면 빌렛 생산의 첫 시작점인 용해 장입 시작 시각에 따른 불량 발생 비율을 파악한 결과 그림 4와 같이 다소 차이는 있으나 불량이 집중되는 특정 구간이나 추이는 발견하지 못했다. 시간별 발생 건수가 희소하여 그 특징이 드러나지 않을 수 있으므로 향후 데이터 축적을 수반한 지속적인 분석

이 필요하다.

그림 5는 상당수의 불량이 8월과 9월에 집중되는 것을 보여준다. 이를 통해 여름이 다른 계절에 비해 불량률이 높다는 것으로 확인되며 더 나아가 높은 기온과 습도가 공정에 영향을 미칠 수 있음을 추론할 수 있다.

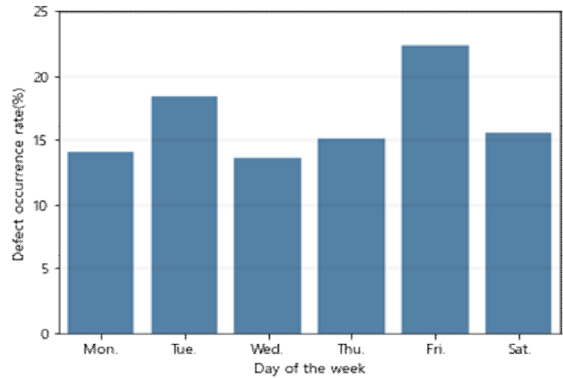


그림 3. 요일별 불량 발생 비율
Fig. 3. Defect occurrence rate by day of the week

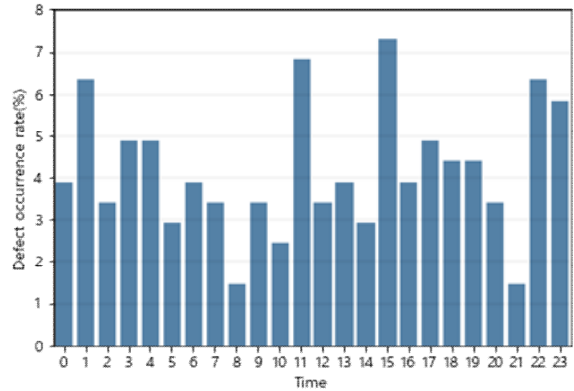


그림 4. 장입 시작 시간별 불량 발생 비율
Fig. 4. Defect occurrence rate by charging start time

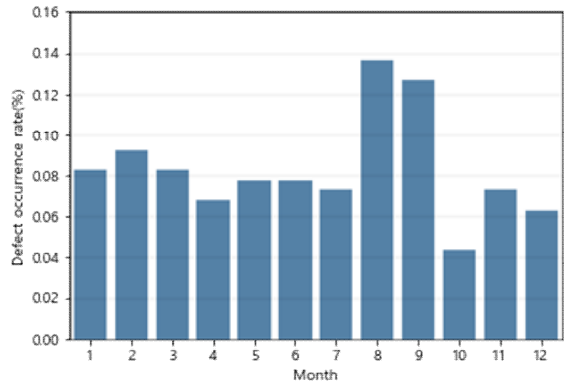


그림 5. 월별 불량 발생 비율
Fig. 5. Defect occurrence rate by charging start time

구체적인 분석을 위해선 불량이 발생한 공정에서의 기온과 습도가 필요하지만 일지에는 해당 데이터가 없으므로 본 연구에서는 기상청에서 제공하는 공공데이터를 차선책으로 활용하였다. 공공데이터는 2022년 구미시 남통동에서 관측한 날씨 정보를 1시간 단위로 기록하고 있다.

[분석 4 기온과 습도의 영향] 표 3은 양품과 불량률 구분을 하고 각각의 경우에서 공공데이터로부터 확인된 기온, 강수량, 습도를 정리하고 있다. 특히 공정을 장입 시작 시각, 탈가스 시작 시각, 주조 시작 시각으로 세분화하여 각 공정에서 중요한 환경요인을 파악하고자 했다.

표 3에 나타난 바와 같이 양품과 불량 제조 공정에서 관측된 기온은 큰 차이가 없으나 습도는 상대적으로 다소 높은 차이가 있는 것을 확인할 수 있다. 강수량 또한 불량 발생에서 높게 관측되는 데 이는 습도가 높을수록 불량 발생확률이 올라간다는 앞선 분석과 그 맥락을 같이한다. 특히 습도는 탈가스와 주조 등 용탕이 공기 중에 노출되는 공정에서 그 차이가 더 크므로 향후 습도가 공정에 미치는 영향에 대한 분석이 필요할 것으로 보인다.

앞서 언급한 분석 결과 및 생산 관리 데이터는 사용자 웹 페이지에 모두 반영하였으며 그림 6은 다양한 분석 결과 중 온습도가 공정에 미치는 영향

을 시각화한 예시이다. 이를 확장하여 추후 대시보드 구현에 활용할 예정이다.

표 3. 공정 시작 시각에 관측된 평균 기온, 강수량, 습도
Table 3. Average temperature, precipitation and humidity observed at the start of the process

Process	good/error	Temperature	Precipitation	Humidity
Charging	good	14.54	0.09	59.77
	error	15.24	0.13	62.76
	difference	0.7	0.04	2.99
Degassing	good	14.50	0.09	60.01
	error	15.02	0.17	63.78
	difference	0.52	0.08	3.77
Casting	good	14.50	0.09	60.04
	error	14.95	0.27	64.06
	difference	0.45	0.18	4.02

V. 결론 및 향후 과제

작업 표준서를 준수한 제조 공정에서도 외부 환경, 작업자의 미숙, 설비의 노후화 등 다양한 원인으로 인해 불량이 발생할 수 있다. 그러나 수기 데이터나 작업자의 경험에 의존한 생산공정 관리체계에서는 정확한 불량 원인 판별이 어렵고 불량에 대응도 사후 처리에 만족해야 한다.

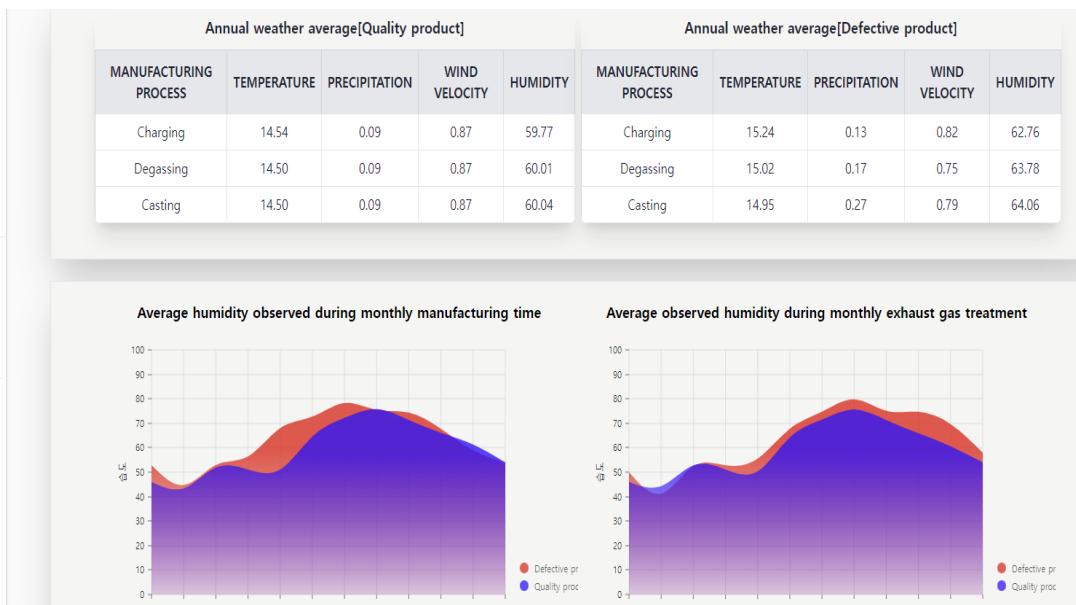


그림 6. 기상 이 불량 발생에 미치는 영향 시각화
Fig. 6. Visualization of the impact of weather on defect occurrence

또한, 인수인계가 제대로 이루어지지 않으면 작업자의 노하우가 승계되지 못하는 단점도 존재한다. 따라서 데이터 기반 생산공정 관리체계 구축은 기업 성장에 있어 중요한 요소이다.

본 연구에서는 알루미늄 합금 빌렛 제조업체인 미래금속에서 파일로 관리되는 제조 환경 모니터링 데이터와 수기로 작성된 일지를 통합적으로 관리하는 플랫폼을 구축하였다. 또한, 축적된 공정 일지를 분석하여 다양한 통계 정보를 추출하였으며 기상청 공공데이터를 결합하여 기온과 습도가 공정에 미치는 영향을 파악하고자 노력하였다. 본 연구에서 제시한 기온과 습도가 제품 생산에 미치는 영향 분석 결과는 제조 환경에서 관측된 환경 정보가 아닌 공공데이터를 활용한 것이므로 향후 도입된 모니터링 시스템을 통해 정확한 분석이 필요하다. 또한 수집된 데이터에 다양한 인공지능 기술을 사용하여 불량 생산 요인을 파악하고 공정 최적화를 수행하여 불량률을 감소시키는 연구가 요구된다.

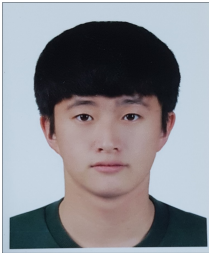
References

- [1] B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee, and B. Yin, "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges", *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 6505-6519, Dec. 2017. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>.
- [2] W. Yu, Y. Liu, T. Dillon, W. Rahayu, and F. Mostafa, "An Integrated Framework for Health State Monitoring in a Smart Factory Employing IoT and Big Data Techniques", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 9, No. 3, pp. 2443-2454, Feb. 2022. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3096637>.
- [3] S. W. Jung, D. H. Kim, and N. N. Shin, "Success Factors of the Adoption of Smart Factory Transformation: An Examination of Korean Manufacturing SMEs", *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 2239-2249, Jan. 2023. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3233811>.
- [4] B. H. Kim, S. K. Kim, Y. I. Jung, and T. G. Park, "Demand for Manufacturing Infrastructure of High Value-Added Wrought Aluminum Alloys", *Journal of Korea Foundry Society*, Vol. 42, No. 6, pp. 163-174, Jun. 2022.
- [5] J. H. Bae, Y. M. Kim, and B. S. You, "Grain refinement process for Al-containing magnesium alloys", *Korean Journal of Metals and Materials*, Vol. 52, No. 12, pp. 975-981, Jun. 2022. <https://doi.org/10.3365/kjmm.2014.52.12.975>.
- [6] S. Y. Lee, "The Effect of Die Cooling on the Surface Defects of the Aluminum 7075 Extrudates", *Journal of the Korean Society for Heat Treatment*, Vol. 35, No. 6, pp. 319-326, Nov. 2022. <https://doi.org/10.12656/jksht.2022.35.6.319>.
- [7] J. Yi, J. Bai, W. Zhou, H. He, and L. Yao, "Operating Parameters Optimization for the Aluminum Electrolysis Process Using an Improved Quantum-Behaved Particle Swarm Algorithm", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 14, No. 8, pp. 3405-3415, Dec. 2017. <https://doi.org/10.1109/TII.2017.2780884>.
- [8] Open MET Data Portal, <https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do> [accessed: Dec. 05, 2022]
- [9] C. K. Tsung, H. Y. Hsieh, and C. T. Yang, "An Implementation of Scalable High Throughput Data Platform for Logging Semiconductor Testing Results", *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 26497-26506, Feb. 2019. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2901115>.
- [10] N. Zhang, "A Cloud-Based Platform for Big Data-Driven CPS Modeling of Robots: proposes an improved cyber-physical systems(CPS) architecture", *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 34667-34680, Feb. 2021. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3061477>.
- [11] W. Sagong, Y. H. Jang, Y. W. Son, and C. H. Park, "Analytics Platform based on Big Data for Smart Factory", *KIISE Transactions on Computing Practices(KTCP)*, Vol. 24, No. 11, pp. 603-613, Nov. 2018. <https://doi.org/10.5626/ktcp.2018.24.11.603>.

- [12] S. H. Nam and J. Y. Lee, "Developing a Semantic-based IoT Mashup Platform", Journal of Korean Institute of Information Technology (JKIIT), Vol. 18, No. 6, pp. 117-127, May 2020. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2020.18.6.117>.

저자소개

강 수 성 (Su-Sung Kang)



2018년 ~ 현재 : 금오공과대학교
컴퓨터소프트웨어공학과
학사과정
관심분야 : 웹 사이언스,
스마트팩토리

김 현 석 (Hyeon-Seok Kim)



2018년 ~ 현재 : 금오공과대학교
컴퓨터소프트웨어공학과
학사과정
관심분야 : 빅데이터, 분산처리

이 충 엽 (Choong-Youp Lee)



2018년 ~ 현재 : 금오공과대학교
컴퓨터소프트웨어공학과
학사과정
관심분야 : 웹3.0, 시멘틱웹

김 성 렬 (Sung-Ryul Kim)



2010년 2월 : 부산대학교
컴퓨터공학과(공학사)
2017년 8월 : 부산대학교 대학원
컴퓨터공학과(공학박사)
2019년 3월 ~ 현재
금오공과대학교
컴퓨터소프트웨어공학과 조교수

관심분야 : 빅데이터, 머신러닝