

영상장치 센서 데이터 QC에 관한 연구

윤동민¹ · 이재영² · 박성식² · 전용한[†]

상지대학교 소방공학과^{1,†} · 상지대학교 도시계획부동산학과²
· (사)한국기술사업진흥협회 기술품질연구센터²

A study on imaging device sensor data QC

Dong-Min Yun¹ · Jae-Yeong Lee² · Sung-Sik Park² · Yong-Han Jeon[†]

Department of Fire Protection Engineering, Sangji University^{1,†}
Department of Urban Planning and Real Estate, Sangji University²
Korea Technology Commercialization Association
Technology Quality Research Center²

(Received December 09, 2022 / Revised December 28, 2022 / Accepted December 31, 2022)

Abstract: Currently, Korea is an aging society and is expected to become a super-aged society in about four years. X-ray devices are widely used for early diagnosis in hospitals, and many X-ray technologies are being developed. The development of X-ray device technology is important, but it is also important to increase the reliability of the device through accurate data management. Sensor nodes such as temperature, voltage, and current of the diagnosis device may malfunction or transmit inaccurate data due to various causes such as failure or power outage. Therefore, in this study, the temperature, tube voltage, and tube current data related to each sensor and detection circuit of the diagnostic X-ray imaging device were measured and analyzed. Based on QC data, device failure prediction and diagnosis algorithms were designed and performed. The fault diagnosis algorithm can configure a simulator capable of setting user parameter values, displaying sensor output graphs, and displaying signs of sensor abnormalities, and can check the detection results when each sensor is operating normally and when the sensor is abnormal. It is judged that efficient device management and diagnosis is possible because it monitors abnormal data values (temperature, voltage, current) in real time and automatically diagnoses failures by feeding back the abnormal values detected at each stage. Although this algorithm cannot predict all failures related to temperature, voltage, and current of diagnostic X-ray imaging devices, it can detect temperature rise, bouncing values, device physical limits, input/output values, and radiation-related anomalies. exposure. If a value exceeding the maximum variation value of each data occurs, it is judged that it will be possible to check and respond in preparation for device failure. If a device's sensor fails, unexpected accidents may occur, increasing costs and risks, and regular maintenance cannot cope with all errors or failures. Therefore, since real-time maintenance through continuous data monitoring is possible, reliability improvement, maintenance cost reduction, and efficient management of equipment are expected to be possible.

Key Words: Algorithm, Quality Control, X-ray Tube

1. 서론

현재 우리나라는 고령화 사회로 약 4년 후 초고령화 사회에 진입할 것으로 추산되고 있다. 이에 의

료산업은 지속적인 의료기술의 발달을 하고 있으며, 건강한 노후를 위해선 주기적인 건강검진을 받음으로써 건강상태를 미리 확인하고 질병을 조기진단할 수 있다. 그 가운데 X-ray 기기는 병원에서 조기진단에 많이 사용되고 있으며 X-ray 기술 또한 많은 개발이 진행되고 있다.

X-ray 기기 기술개발도 중요하지만, 정확한 데이터 관리를 함으로써 기기의 신뢰성을 높이는 것 또

^{1,†} 교신저자: 상지대학교 소방공학과
E-mail: kev76@sangji.ac.kr

한 중요하다. 진단기기의 온도, 전압, 전류 등의 센서 노드는 고장이나 전력손실 등 다양한 원인으로 오작동 및 부정확한 데이터 전송의 가능성이 있으며 이러한 센서 노드의 오류는 기기의 신뢰성 및 진료에 지장을 줄 수도 있기 때문이다.

Shim et al¹⁾은 흉부 X-ray 검사 시 방사선사가 디지털 환경에서 선량의 과도함과 부족함을 직관적으로 알 수 있게 설정해놓은 EI를 고려함과 동시에 유효선량을 계산하여 적절한 관전압 범위를 제안하였다. Han et al²⁾은 데이터 품질관리의 개념을 소개하고 데이터 통합 방법론의 체계를 제시하였고, Kim et al³⁾은 IoT 센서를 이용하여 수집된 기상 데이터를 물리 한계 등의 검사하는 기본 QC하며, 기상 요소의 기본 QC의 결과를 바탕으로 데이터 보간을 진행하고 기계학습 기법을 사용하여 기상데이터 QC하고 값을 추정하는 방법을 제안하였다. Lee et al⁴⁾은 품질코스트 기법일 이용하여 데이터 품질관리 활동을 품질코스트로 분류하고, 데이터 품질관리를 위한 효율적인 자원할당 모형을 개발하였으며, Choi et al⁵⁾은 의료기관 빅데이터 품질관리의 필요성과 사례를 분석하였다. 또한 Lee et al⁶⁾은 사출성형공정에서 CAE 기반 품질 데이터와 실험 데이터의 통합 학습을 통한 인공지능 품질 예측 모델을 구축하는 연구를 하였다.

따라서, 본 연구에서는 진단용 엑스선 영상장치의 각 센서 및 감지회로와 관련된 온도, 관전압, 관전류 데이터를 측정 및 분석하여 QC 데이터를 기반으로 장치의 고장예측 및 진단 알고리즘을 설계 및 수행하였다.

2. 실험 데이터 수집

2.1. 진단용 엑스선 영상장치 데이터 분석

진단용 엑스선 영상장치의 각 센서 및 감지회로와 관련된 온도, 관전압, 관전류 데이터 측정 및 분석을 위하여 각 데이터를 측정할 수 있는 시스템을 구축하였다. 시스템 구축 후 Labview DAQ 데이터 수집 장치를 구축하였으며 모니터링 프로그램을 자체 개발하고 사전 테스트를 수행한 뒤 데이터 수집 및 분석하였다.

우선 센서로부터 측정된 데이터를 활용하여, 각 센서에 맞는 관전압, 관전류 변환식을 개발하여 적용하고, 데이터를 분석하였다. 변환식과 상관관계 그래프는 다음 Fig. 1, 2, 3과 같다.

관전압 변환식 : $Y(kV) = 52.24x^{1.0217}$

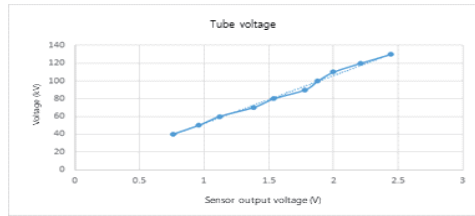


Fig. 1 Sensor output and tube voltage correlation graph

관전류 변환식(80mA 이하)

: $Y(mA) = pow(x, 0.9597372705) \times 183.579155$

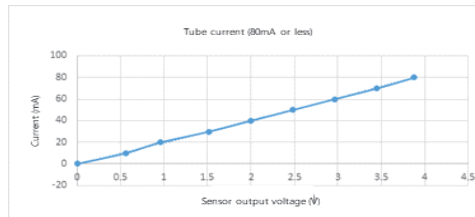


Fig. 2 Sensor output and tube current correlation graph (80mA or less)

관전류 변환식(100mA 이상)

: $Y(mA) = pow(x, 0.9597372705) \times 183.579155$

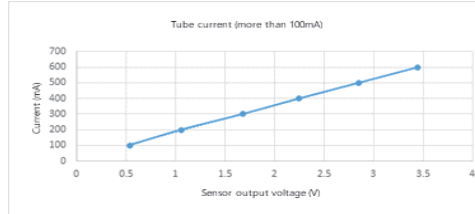


Fig. 3 Sensor output and tube current correlation graph (more than 100mA)

2.2. 통계분석을 통한 기준값 도출

영상장치 센서 데이터 QC 알고리즘 개발을 위한 기준값을 도출하기 위하여 구축된 데이터 수집 시스템을 통하여 수집된 데이터들의 통계분석 하였다. Table 1과 같이 온도, 관전압, 관전류 등 총 3가지의 파라미터를 기준으로 실시하였으며, 물리 한계검사, 지속성 검사, 단계검사, 중앙값 필터 검사, 주파수 분포 검사 등 개발될 알고리즘의 기준값을 도출하였다.

온도, 관전압, 관전류 센서 데이터의 통계분석을 하였으며 값이 데이터에 따라 실시간으로 변하는

시계열 분석의 경우(중앙값 필터 검사, 주파수 분포 검사) 관련 수식을 알고리즘 S/W 직접 삽입하여 실시간으로 계산되게 하였다. 센서 데이터 통계분석 결과는 Table 4, 5, 6와 같다.

Table 1 Based on statistical analysis parameters

Sensor parameters	List of reference values
Temperature [°C]	Maximum physical limit, Minimum physical limit, Duration, Minimum amount of change, Maximum amount of change, 3σ, IQR
Voltage [kV]	
Electric current [mA]	

2.3. QC 알고리즘 설계

Table 2와 같이 진단용 엑스선 영상장치의 온도, 관전압, 관전류 센서 데이터 QC 알고리즘 설계를 위하여 적용 가능한 12개의 알고리즘을 검토하였으며 Table 3과 같이 12개의 알고리즘을 한 지점의 포인트, 시계열, 논리적 관계 등을 기준으로 알고리즘을 그룹핑 하였다. 12개의 알고리즘 중 가장 많이 쓰이는 물리한계 검사, 지속성 검사, 단계 검사, 중앙값 필터 검사를 설정하였으며 전압과 전류에 적용 가능한 주파수 분포 검사 알고리즘을 설정하였다. QC 알고리즘은 다음 Fig. 4, 5와 같다.

Table 2 Algorithms applicable to diagnostic X-ray imaging devices

Algorithm name	Algorithm name	Algorithm name
Physical limit test	Redundancy test 1, 2, 3	Double sensor difference value time continuity
Frequency Distribution Inspection	Frequency test	Static Consistency Test
Sum test	Internal consistency check	Median filter test
Persistence check	Step inspection	Dual sensor difference value detection

2.4. 실시간 QC 알고리즘 적용

영상장치의 온도, 관전압, 관전류 센서 데이터의 실시간 QC를 위하여 Labview를 이용하여 소스코드를 설정하였다. 물리한계 검사, 지속성 검사, 단계 검사, 중앙값 필터 검사, 주파수 분포 검사 알고리즘을 수식화하였다. 물리한계 검사, 지속성 검사, 단계 검사, 중앙값 필터 검사, 주파수 분포 검사 등 각각의 QC 단계를 통과한 데이터의 정상, 에러 현황

을 확인할 수 있게 프로그램을 코딩하였다.

Table 3 Algorithmic grouping

Point value at a point	Time series value at one point	Discussive relationship values between variables
Pphysical limit test	Step inspection	Dual sensor difference value inspection
Persistence check	Median filter test	Dual sensor difference value time continuity test
Sum test	Frequency check	Internal consistency test
Redundancy check 1		Frequency distribution test
Redundancy check 2		
Redundancy Check 3		
Static Consistency Test		

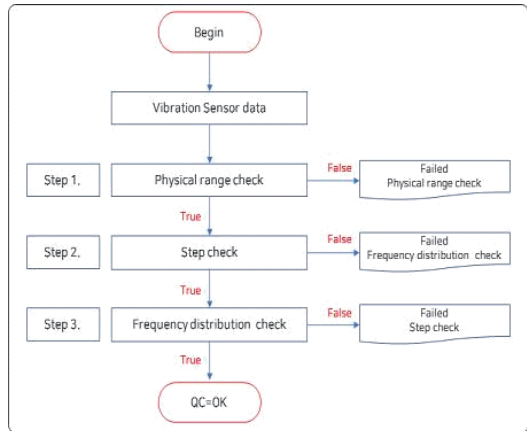


Fig. 4 Sensor output and tube current correlation graph (more than 100mA)

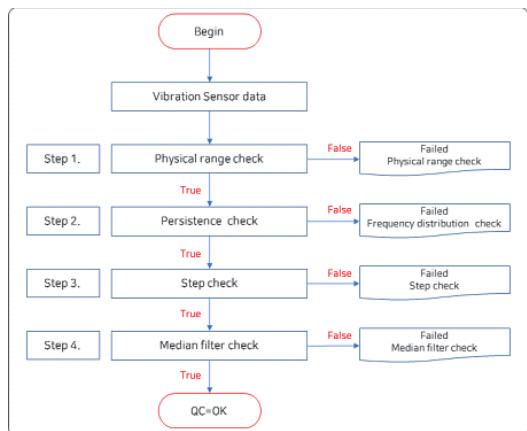


Fig. 5 Tube voltage and tube current QC algorithm

Table 4 Statistical analysis result of temperature sensor data

Step		Temperature [°C]	Note
1 Step (Physical range check)	Maximum physical limit	70	-
	Minimum physical limit	0	-
2 Step (Time consistency check)	Duration (min)	600	-
	Minimum amount of change	0.00	-
3 Step (Step check)	Maximum amount of change	10	-
4 Step (Median filter check)	Median	$\mu = \int_{-\infty}^x f(t)dt = \frac{1}{2}$	Real time median value check
	Variance	$V = \frac{\sum(x-m)^2}{N}$	Real time variance value check
	3σ	$3\sigma = 3 \times \sqrt{V(x)}$	Real time 3σ value check

Table 5 Statistical analysis result of tube voltage sensor data

Step		Current [mA]	Note
1 Step (Physical range check)	Maximum physical limit	80(80 or less), 400(Over 100)	-
	Minimum physical limit	0	-
2 Step (Step check)	Maximum amount of change	80(80 or less), 400(Over 100)	-
3 Step (Frequency distribution check)	First quartile	$Q_1 = [(TF-1) \times 0.25] + 1$	Real time first quartile value check TF=Total Frequency value
	Third quartile	$Q_3 = [(TF-1) \times 0.75] + 1$	Real time third quartile value check TF=Total Frequency value
	IQR(Interquartile Range)	$IQR = Q_3 - Q_1$	Real time IQR quartile value check

Table 6 Statistical analysis result of tube current sensor data

Step		Voltage [kV]	Note
1 Step (Physical range check)	Maximum physical limit	150	-
	Minimum physical limit	0	-
2 Step (Step check)	Maximum amount of change	100	-
3 Step (Frequency distribution check)	First quartile	$Q_1 = [(TF-1) \times 0.25] + 1$	Real time first quartile value check TF=Total Frequency value
	Third quartile	$Q_3 = [(TF-1) \times 0.75] + 1$	Real time third quartile value check TF=Total Frequency value
	IQR(Interquartile Range)	$IQR = Q_3 - Q_1$	Real time IQR quartile value check

3. QC 데이터 기반 장치 고장진단 데이터 분석 및 설계

3.1. QC 데이터 기반 데이터 분석 및 알고리즘 설계세별 손잡이 형태에 따른 MVC

데이터 자체의 신뢰성 확보를 위해 개발된 센서의 QC 알고리즘을 적용하여 각 센서별 오류 데이터 변동량 기준을 5단계로 구분하였다. 진단용 엑스선

영상장치의 온도, 관전압, 관전류 QC 데이터와 실제 촬영 시 사용되는 관전압, 관전류 출력을 기준으로 고장진단 및 예측을 위한 데이터 분석하였다. Table 7은 온도의 경우 QC 알고리즘의 물리한계 검사, 지속성 검사, 단계검사를 기준으로 분석하였으며 Table 8,9은 관전압, 관전류의 경우 QC 알고리즘의 물리한계 검사 및 단계 검사와 실제 촬영 시 전압 전류 범위를 고려하였다.

Table 7 QC-based temperature data analysis and fault diagnosis level

Step	Fault diagnosis level	QC Based data criteria	Note
1Step	Normal level	All QC OK data	-
2Step	Abnormal level	Step check QC When the QC error data variation exceeds 7℃	A temperature rise of more than 70% of the maximum fluctuation occurred, requiring intensive observation
3Step	Attention level	Step check QC When the QC error data variation exceeds 10℃	A temperature rise exceeding the maximum variation occurs, requiring confirmation and maintenance
4Step	Risk level	Physical range check QC If QC error data exceeds 70℃	Statistical analysis of the device exceeds the physical limit, immediately stop operation and check
5Step	broken	Persistence check QC When QC error data occurs Physical range check QC If QC error data exceeds 150℃	Broken (Exceeding device limits)

Table 8 Voltage and current range when taking an X-ray imaging device for actual diagnosis

Classification of shooting	Voltage	electric current
Hand	~50	~25
Foot	~55	~32
Body (chest)/head	~80	~200
Knee	~55	~40
Due to the amount of radiation exposure, X-ray photography is prohibited with a current of 200mA or more (Device error when data over 200mA is detected)		

Table 9 QC-based voltage data analysis and fault diagnosis level

Step	Fault diagnosis level	QC Based data criteria	Note
1Step	Normal level	All QC OK data	-
2Step	Abnormal level	If voltage is generated in a non-shooting situation When voltage does not occur in the shooting situation When there is a difference between input voltage data and output voltage data	Since the input/output voltage data is not the same, confirmation and intensive observation are required.
3Step	Attention level	Step check QC error data fluctuation exceeds 80kV	Exceeding the radiation exposure limit voltage, immediate confirmation and maintenance required
4Step	Risk level	If Step check QC error data is over 100kV	If a voltage rise that exceeds the maximum variation of the device occurs, stop operation immediately and check.
5Step	broken	Physical range check QC error data over 150kV	Broken (Exceeding device limits)

3.2. QC 기반 고장예측 및 진단 알고리즘 Flowchart 설계 및 개발

Fig 6, 7, 8는 QC 기반 고장예측 알고리즘이다. 온도, 전압, 전류 센서 데이터의 QC 적용 데이터에 기반한 고장예측 및 진단 알고리즘 수행하였다. 온도의 경우 온도상승을 주요 인자로 설정하여 물리 한계 검사, 지속성 검사, 단계 검사를 기반으로 통계분석 결과의 한계값, 기기의 한계값, 최대변동량,

최대변동량, 온도상승 기준값들을 적용하여 알고리즘을 수행하였다. 전압과 전류의 경우 실제 엑스선 영상장치 촬영 시의 입력 전압, 전류값과 출력 전압, 전류값, 방사능 피폭 제한 값 등을 주요 인자로 설정하였으며, 기기의 한계값, 입력과 출력 비교, 피폭 제한 규정, 최대변동량 등을 고려하여 알고리즘을 수행하였다.

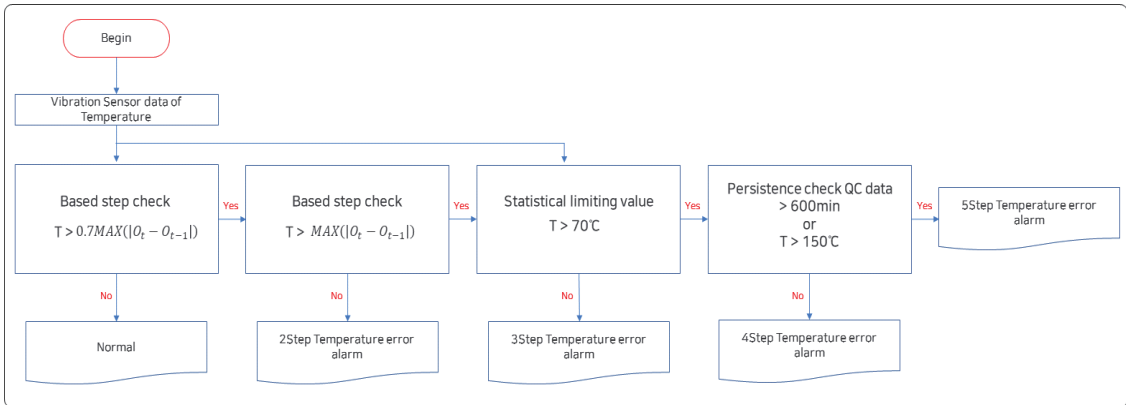


Fig. 6 QC-based temperature failure prediction algorithm

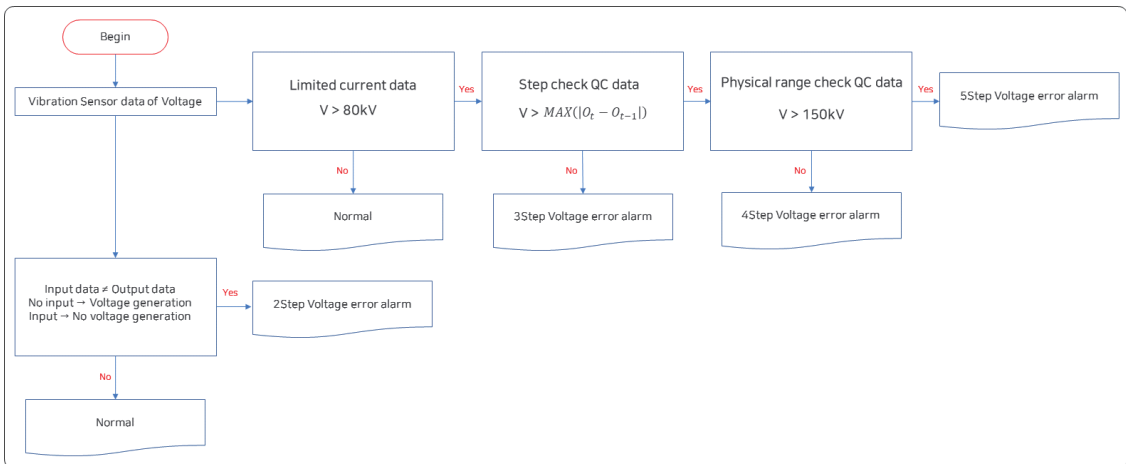


Fig. 7 QC-based voltage failure prediction algorithm

4. 결론

본 연구에서는 진단용 엑스선 영상장치의 각 센서 및 감지회로와 관련된 온도, 관전압, 관전류 데이터를 측정 및 분석하여 QC 데이터를 기반으로 장치의 고장예측 및 진단 알고리즘을 설계 및 수행하였다. 연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 고장진단 알고리즘을 위해 사용자 파라미터값 설정 및 센서 출력 그래프, 센서 이상 디스플레이 등이 가능한 시뮬레이터를 구성하고 각각의 센서에 대한 정상 동작 및 센서 오류 시의 검출결과를 확인할 수 있다.

2) 정상에서 벗어난 데이터값(온도, 전압, 전류)을 실시간으로 모니터링 및 단계별로 감지되는 이상값을 피드백함으로써 자동으로 고장진단이 이루어지게 됨에 따라 효율적인 기기 관리 및 진단을 할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 본 알고리즘을 통하여, 진단용 엑스선 영상장치의 온도, 전압, 전류와 관련된 모든 고장을 예측할 수는 없으나, 온도상승과 관련된 이상값 및 튀는 값, 기기 물리한계값, 입/출력값, 방사능 피폭을 고려한 규정값, 각 데이터의 최대변동량을 초과하는 값 등이 발생하는 경우 기기 고장에 대비한 확인 및 대응을 할 수 있을 것으로 판단된다.

4) 기기의 센서가 고장이 났을 경우 예기치 못한 사고 발생으로 많은 비용 발생과 위험이 따르며 정기적인 유지보수의 경우 모든 오류 또는 고장에 대한 대처가 미흡할 수 있다. 그러므로 지속적인 데이터 모니터링을 통해 실시간 유지보수가 가능하므로 신뢰성 향상 및 유지보수 비용의 절감, 기기의 효율적인 관리가 가능하다고 판단된다.

후기

이 논문은 2020년도 상지대학교 교내 연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

1) Shin, J.N., Lee, Y.J. “Investigation of Tube Voltage Range using Dose Comparison based on Effective Detector Exposure Index in Chest Radiography”,

The Korea Society of Radiology, Vol. 15, No. 2, pp. 139-145, 2021

2) Han, S.T., Kang, H.C., Kim, D.H. “A Study of Data Quality Management and Data Integration”, The Korean Data Analysis Society, 2004, Vol. 6, No. 5, pp. 1225-1240, 2004
Department of Labor, “Bureau of Labor Statistics”, pp. 117-120, 1997.

3) Kim, H.J., Lee, H.S., Choi, B.J., Kim, Y.H. “Machine Learning-based Quality Control and Error Correction Using Homogeneous Temporal Data Collected by IoT Sensors”, Korea Convergence Society, Vol. 10, No. 4, pp. 17-23, 2019

4) Lee, S.C., Shin, W.S. “A Resource Allocation Model for Data QC Activities Using Cost of Quality”, Korean Institute Of Industrial Engineers, Vol. 24, No. 2, pp. 128-138, 2011

5) Choi, H.R., Lee, S.W., Kim, Y.A., Lee, J.O., Ko, H., Kim, H.C. “The Necessity and Case Analysis of Bigdata Quality Control in Medical Institution”, KOREA BIGDATA SOCIETY, Vol. 2, No. 2, pp. 67-74, 2017

6) Lee, J.H., Kim, J.S. “A study on the construction of the quality prediction model by artificial neural intelligence through integrated learning of CAE-based data and experimental data in the injection molding process”, J. Korea Society of Die & Mold Engineering, Vol. 15, No. 4, pp. 24-31, 2021

저 자 소 개

전 용 한(Yong-Han Jeon)

[정회원]



- 2008년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2009년 4월~현재 : 상지대학교 소방공학과 정교수 재직

< 관심분야 >
열전달 유동해석

이 재 영(Jae-Yeong Lee)



- 2011년 2월 : 중앙대학교 건축학과 (박사)
- 2020년 2월~현재 : 상지대학교 도시계획부동산학과 부교수 재직

< 관심분야 >

건축계획 및 설계, 건설 안전, 건축 환경

박 성 식(Sung-Seek Park)



- 2014년 2월 : 제주대학교 에너지화학공학과(공학박사)
- 2020년 2월~현재 : (사)한국기술사업회진흥협회 기술품질연구센터 수석연구원 재직

< 관심분야 >

QC 데이터

윤 동 민(Dong-Min Yun)

[정회원]



- 2020년 2월 : 상지대학교 소방공학과 (학사)
- 2021년 8월~현재 : 상지대학교 산학협력지원부 연구원
- 2021년 9월~현재 : 상지대학교 소방방재과 (석사과정)

< 관심분야 >

열전달 유동해석
