JKSCI

한국컴퓨터정보학회논문지
Journal of The Korea Society of Computer and Information
Vol. 28 No. 2, pp. 209-216, February 2023
https://doi.org/10.9708/jksci.2023.28.02.209

A Simple Paint Thickness Estimation Model in Shipyard Spray Painting

Geun-Wan Kim*, Seung-Hun Lee*, Yung-Keun Kwon*

*Student, Dept. of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea
*Student, Dept. of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea
*Professor, Dept. of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan, Ulsan, Korea

[Abstract]

This paper aims to develop a model to estimate the paint thickness in a shipyard spray painting according to changes of spraying distance and speed. We acquired the experimental datasets of five different conditions with respect to the spraying distance and speed using a painting robot. In addition, we applied a preprocessing step to handle noises which might be caused by various reasons such as a nozzle damage. Our method is to transform a thickness function of a specified spraying distance and speed into another function of an unknown spraying and speed. We observed that the proposed method shows more stable and more accurate predictions compared with an artificial neural network-based approach.

▸ **Key words**: Shipyard spray paint, Paint thickness estimation, Data pre-processing, Machine learning

[요 약]

본 논문에서는 조선소 페인트 분사작업에서 분사 거리와 속도의 변화에 따라 페인트 두께를 추정할 수 있는 모델을 개발하고자 한다. 이를 위해 도장로봇을 이용하여 다섯가지 서로 다른 분사 거리와 속도값에 대한 실험 데이터를 취득하였다. 또한 노즐의 훼손 등으로 인해 노이즈가 발생하는데 이를 처리하기 위해 적절한 전처리과정을 적용하였다. 제안하는 방법은 주어진 데이터로부터 분사 거리와 속도에 대한 페인트 두께 추정 함수를 새로운 분사 거리와 속도에 대한 페인트 두께 추정 함수로 변형하는 계산을 한다. 인공신경망기반 예측 모델과 비교한 결과 제안하는 방법이 더욱 안정적이고 정확하게 예측할 수 있음을 확인할 수 있었다.

▸ **주제어**: 조선소 스프레이 페인트, 페인트 두께 추정, 데이터 전처리, 기계학습

• First Author: Geun-Wan Kim, Corresponding Author: Yung-Keun Kwon
*Geun-Wan Kim (kgm0817@gmail.com), Dept. of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan
*Seung-Hun Lee (wjdgns716@naver.com), Dept. of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan
*Yung-Keun Kwon (kwonyk@ulsan.ac.kr), Dept. of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan
• Received: 2022. 11. 30, Revised: 2023. 01. 30, Accepted: 2023. 01. 31.

Copyright © 2023 The Korea Society of Computer and Information
http://www.ksci.re.kr pISSN:1598-849X | eISSN:2383-9945
www.kci.go.kr

I. Introduction

선박 건조과정 중 필수적인 과정 중 하나인 도장 공정은 오랫동안 관리하기에 많은 어려운 점들이 제기되어 왔다. 이는 도장 공정이 선박 제작 전체 공정에 관여되고 있고 많은 숙련자 기반의 수작업에 의존하고 있기 때문이다. 또한 도료의 부재나 특성에 따라 인건비와 재료비에 대한 추가비용도 발생한다. 실제로 도장 비용이 전체 선박건조 비용의 12% 이상을 차지한다는 점에서 원가 우위 및 지속적인 생산능력을 확보해야 하는 국내 조선사들에게는 지속적인 문제점으로 대두되어왔다. 도장 공정을 다른 공정작업과 비교해보면 작업환경이 더욱 열악해서 전문인력 확보가 어려운 실정이며 '스마트야드' 사업을 통해 조선업 현장에 정보통신기술 기반 인프라를 구축하고 있는 현시점에서도 가장 자동화 수준이 낮은 상황이다. 따라서 도장 공정을 자동화하는 데 필요한 다양한 기술개발이 시급하다.

2008년 경제적인 불황으로 인해 조선업에서도 많은 변화가 도래했다. 기존 인력규모에 대해서 대대적인 인원감축이 이루어졌고, 각 분야의 전문인력들을 떠나 보내야했다. 이 과정에서 남아있는 적은 인원으로도 원가, 기술, 수주에 대한 경쟁력을 위해 ‘스마트야드’ 사업을 통해 변화를 시도했다. 기존의 작업자의 기량과, 경험에 대한 부분들을 빅데이터와 지능화를 통해 생산 환경 변동성에 최적의 대응을 목표로 한다. 두 번째로는 생산성, 고품질 및 작업자의 안전 확보를 위해 로봇 작업 중심의 자동화를 통한 품질 및 생산성을 극대화한다. 마지막으로 어디서나 필요한 정보를 생성하고 연결하기 위해 고속무선 통신과 Iot 시스템을 통한 연결화로 변화 대응을 통해 신속성을 확보한다. 이와 같은 흐름에 따라 도장분야에 대해서도 작업방식에 대한 변화는 필연적이었다. 숙련공 중심으로 이뤄졌던 작업은 무인비행체를 이용한 선박 외판 도장작업과 선체블록 자동 도막측정, 작업방식에 대하여 점차 자동화된 모습을 구축해 나가고 있다.

도장작업의 무인화에 있어서 핵심 요인은 숙련공이 없어도 얼마나 페인트의 양이 필요한지 알아내어 최적화된 궤적과 두께 값 계산으로 하여금 무인 기술로 작업을 해내는 것이다. 그래서 도장작업의 무인화에 있어서 핵심 요인 중 하나는 적절한 두께 값을 계산해내는 것이다.

본 논문에서는 그러한 필요 기술 중 하나로서 스프레이가 분사되어 시편에 뿌려질 때 발생하는 해당 조건들을 통해 두께예측이 가능한 모델을 만드는 것을 목적으로 한다. 특히 다양한 거리와 속도에 따른 두께 변화에 관한 실제 데이터를 구축하고 이로부터 두께를 추정하는 모형 식을 제안하였다. 구축된 실제 데이터를 통해 해당 모형 식의 정확성을 검증하였다. 이와 관련된 연구에서는 분사된 스프레이의 모양을 기하학적인 모델을 구성하고 공식화하였지만 본 논문에서는 같은 변수에 대한 조건이라도 회귀모델에 대해서도 두께예측이 가능한 모델을 도출해낼 수 있는 것을 목적으로 한다.

II. Preliminaries

1. Related works

선박 건조과정에서 관한 도장에 관한 연구는 오랫동안 다방면으로 활발히 진행되어왔다. 숙련공 중심으로 이뤄졌던 작업방식을 어떻게 무인화로 잘 대체할 수 있는지에 대한 방법론들과 그동안 작업방식에 대해 고질적으로 발생하였던 문제점들을 보완해 나갈 수 있는 방법, 그리고 부족한 도장인력에 대해서 빠르게 훈련할 수 있도록 교육용 시뮬레이션 분야에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다.

노즐에서 발사된 값들을 각기 수학적 모델 및 물리적 모델로 구성하고, 개별적인 값들에 대한 분무 유량을 시뮬레이션을 통해 각각의 방법에 대한 접근으로 다각화된 방식을 도출해내었다.

도장 무인화에 대한 시도로 로봇도장 작업에서 최적화된 궤적에 대한 방법론을 제시하고[11], 노즐 자체에 대해 초점을 맞춰서 최적의 값을 찾기 위한 연구가 진행되었다.[12] 또한 적합한 로봇 자체에 대해서 초점을 맞추고, 조건마다 합당한 도장로봇에 대한 선택과 선택에 대한 평가방법에 대해서 연구가 진행되었다.[13]

이처럼 도장이라는 범위 내에서 부수적인 다른 주제를 선정하고 각각의 분야에 대해서 모델을 구성하고 연구를 진행하고 있다. 스프레이 도구 자체에 대한 접근법으로 시작한 연구부터, 도장로봇에 대한 궤적, 또한 분사 시뮬레이션이라는 세부적으로 다른 연구에 있어서 모두 공통적으로 최종적인 두께값으로 하여금 얼마나 분사되는지 계산해내었다. 시편에 분사되는 것에 대한 각각의 수학, 물리적 관점의 모델을 구축하는 것을 목표로 하여. 다각화된 방법으로 도장 작업시 두께예측을 하는 부분은 도장 관련 연구에 있어서 필수적인 부분이라는 것을 시사한다. 그래서 도장작업에 있어서 페인트가 분사되고 이의 두께값을 예측하려는 연구는 예전부터 다양한 방식으로 시도되어왔으며 크게 2가지 방법으로 분류할 수 있다.

www.kci.go.kr

1.1 A Cumulative Model of Paint Using Gaussian Distribution

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-u}{\sigma})^2}$$

기존의 가우시안 분포 방정식을 이용하여 페인트 누적 모델 방정식을 도출한 경우이다. $F(x,y,z)$는 분사구가 정점에 위치하고 z축을 향해 페인트를 분사할 때, 계산되는 페인트 누적모델이다. 변수 a,b는 페인트가 분사할 때, 스프레이의 퍼짐을 결정한다. 변수 s는 페인트 도막 두께의 평평한 정도를 나타내며 s값이 작을수록 가운데가 볼록한 형태이고 값이 클수록 평평함을 나타낸다. c는 전체 유량을 결정하는 파라미터이다.[3]

1.2 Calculation of paint thickness using geometric properties

$$\vec{j}(p_x, p_y, p_z) = \alpha Q(\frac{p_z}{\sqrt{\vec{p^*} \cdot \vec{p^*}}}) \frac{1}{\sqrt{\vec{p^*} \cdot \vec{p^*}}} \frac{\vec{p}}{\sqrt{\vec{p^*} \cdot \vec{p^*}}}$$

페인트가 분사된 모양이 원뿔 형태이고, 그 형상을 좌우에서 눌러 타원형으로 바꾸는 것을 노즐에서 분화되어 날아간 특정 위치에서 페인트 입자의 양과 방향을 Flux라고 정의하고, 페인트 입자들이 형상하는 Flux들을 Flux Field라고 한다. Q는 flux 분포함수로서 노즐의 중심축과 페인팅 위치벡터 $\vec{p^*}$에 대한 사이 각의 함수를 의미한다. $\vec{p^*}$는 위치벡터 $\vec{p}$의 y값을 α배 한 위치벡터로서 타원뿔 형상의 Flux Field를 원뿔 형상이 되도록 좌표계를 치환하여 노즐 중심축에서 동일한 사이각(ϕ)을 가진 위치에 대하여 동일한 Flux 분포값을 가질 수 있도록 하기 위한 좌표계 상에서의 위치벡터이다. 위의 식의 분포함수를 적분식으로 유도한다.

$$Q_{j-1}(\rho) = q_{j-1} + \frac{\triangle q_j}{\triangle \rho_j}(\rho - \rho_{j-1})$$

ρ_0는 Flux Field의 장축 방향 최외각 Flux에 해당하는 ϕ값의 코사인 값이다. ρ_N은 노즐 중심 방향의 Flux에 해당하는 ϕ값의 코사인 값이다. 이때 ρ_0는 페인트 실험을 통하여 노즐의 중심에서 도포된 최외각까지의 거리를 측정하여 구분할 수 있다. ϕ값이 0일 때, ϕ의 코사인 값은 1이므로 ρ_N값은 1이다. 따라서 등분 간격 N을 결정하면 각각 ρ_i값도 결정된다. 이 Flux 분포함수 모델을 바탕으로 ρ_i에 해당하는 q_i값과 페인트 실험을 통하여 얻어지는 두께 값과 관계식을 평판에 도포하는 경우로 가정하여 유도하고 q_i값을 수치해석적인 방법으로 예측한다.[6]

이러한 기존 연구들에서는 관련 연구에서 알 수 있듯이, 공통적으로 스프레이가 분사될 때 발생하는 모양에 대해 수학적 모델을 세우고 두께를 추정하는 실험을 시행하였다. 그러나 가우시안 분포 기반의 이전 연구에서는 속도 요소를 고려하지 않았고, 원뿔형태 모형 기반의 이전 연구에서도 도출한 모델 내 일정한 속도만을 가정해서 계산하였다는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 속도에 대해서 두께를 추정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 특히 본 연구는 스프레이가 분사된 모양에 대한 모델을 가정하지 않고 관측 데이터로부터 두께 예측을 할 수 있으며 속도뿐만 아니라 분사 거리에 대해서도 변화에 따라 두께 추정이 가능하도록 시도한다. 이러한 점에서 기존 연구들과 차별성을 가진다고 할 수 있다.

III. The Proposed Scheme

1. Data Acquisition

1.1 Configuring Conditions

도장로봇을 통해 시편에 일정한 다양한 조건들을 구성했고, 다른 조건값들에 대한 내용으로 시편에 분사함으로서 직접 조건에 따라 분사된 신뢰 가능한 도막의 두께를 취득한 실험 데이터를 구성했다.

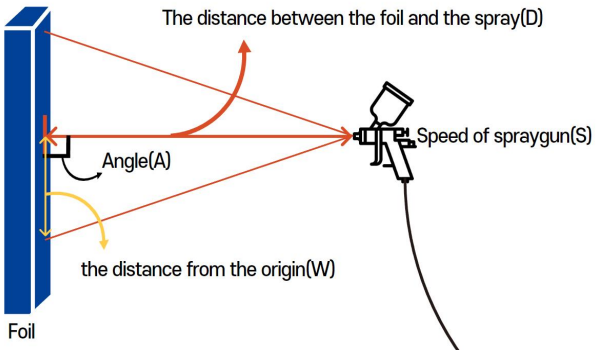


Fig. 1. Representation of Spray Conditions

이를 위해 서론에서 소개한 대로 거리와 속도에 대한 공식을 적용한 모델을 위해 Fig.1과 같이 조건들을 구성했다. Fig.1에서 나타나듯이 시편과 스프레이 노즐 사이의 내각을 기준으로 각도(A), 스프레이건의 이동 속도(S), 시편과 스프레이 노즐 사이의 거리(D), 시편으로 스프레이가 분사되는 범위의 중점으로부터 뿌려지는 영역 사이의

www.kci.go.kr

너비(W)에 대해 총 4가지 조건을 구성하였다. 페인트 두께값($T(D, S, W)$)은 조건 D, S가 지정될 때, 해당하는 W의 두께값 이며, 단위는 마이크로미터다. 또한 본 연구에서는 각도(A)를 90도로 고정하였다. 그렇게 다음 Table1과 같이 고형분, 팁 크기, 각도, 속도, 거리, 중첩 여부에 따른 데이터를 구성하였다.

Table 1. Foil Test configure Table

No	Soluble solid (%)	Tip size	S (cm/s)	D (cm)	Overlap
1	72	521	40	50	x
2	72	521	40	30	x
3	72	521	40	40	x
4	72	521	50	40	x
5	72	521	30	40	x
6	72	523	40	50	x
7	72	523	40	30	x
8	72	523	40	40	x
9	72	523	50	40	x
10	72	523	30	40	x
11	60	521	40	50	o
12	60	521	40	30	o
13	60	521	40	40	o
14	60	521	50	40	o
15	60	521	30	40	o
16	60	523	40	50	o
17	60	523	40	30	o
18	60	523	40	40	o
19	60	523	50	40	o
20	60	523	30	40	o

1.2 Foil Conditon

시편 조건은 Fig.2에 보여진 여러 종류의 시편 중, 가장 좌측에 위치한 가로가 1000mm이고 세로가 500mm 크기로 구성된 평면 시편으로 구성하였다.

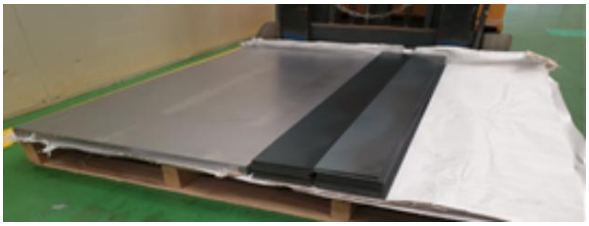


Fig. 2. Test Foil

1.3 Spraying Method

Fig.3에 나타난 이미지는 시편 테스트에 대한 방법을 나타낸 것이다. 그림은 시편의 원점으로부터 어떻게 분사하는 것에 대해 나타낸 것이다. 시편의 왼쪽 세로축을 시편 원점으로 구성하였다. 또한 시편 세로의 중간지점이 스프레이 원점이고, 시편 좌측으로부터 오른쪽으로 분사한다는 것을 나타내었다. 분사 방법은 위에 구성한 조건으로 하여금 맨 좌측에서 오른쪽으로 한 번 분사한다. 그리고 중첩인 경우에 한하여 다시 시편의 원점에서 시편의 중간지점까지 두 번째로 분사한다.

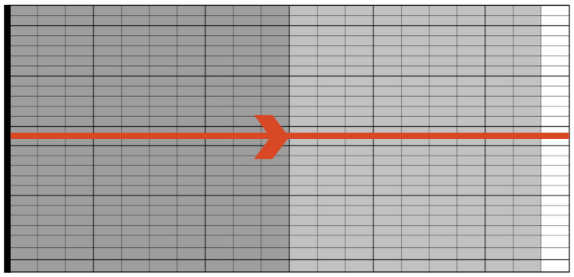


Fig. 3. Test Method

시편에 뿌려진 페인트에 대한 데이터를 취득하기 위해서 Fig.3에 나타낸 대로 공간을 일정 범위로 테이블 형태의 간격으로 구분하여 지정하였다. 구분된 간격은 스프레이 원점을 기준으로 세로 간격을 위아래로 각각 20mm, 시편 원점 기준으로 가로 간격을 좌우로 각각 50mm로 구성하였다. 그래서 위아래와 좌우를 원점을 기준으로 한쪽을 양수단위로 다른 한쪽을 음수 단위로 해서 범위에 대한 구성을 하였다. 그래서 가로 1000mm 와 세로 500mm 시편을 기준으로 세로축 기준 24개와 가로축 기준 19개 측정이 되며 시편 하나당 456개의 데이터를 취득할 수 있다.

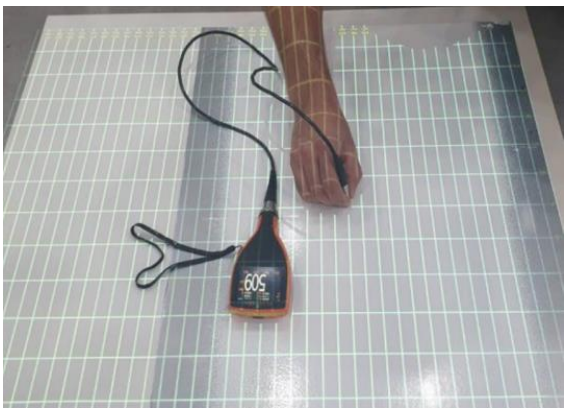


Fig. 4. Measurement of coating thickness using Elcometer 456

1.4 Measurement Method

스프레이가 뿌려진 시편에 대해 건조과정을 거친 후, 분사 방법에서 서술된 대로 시편으로 하여금 각각 구분되어진 영역에 대해 Fig.4 이미지에 나타난 대로 접촉식 도막 두께 측정기를 통해 각 영역에 해당하는 도막 두께에 대한 데이터를 수집하였다.

www.kci.go.kr

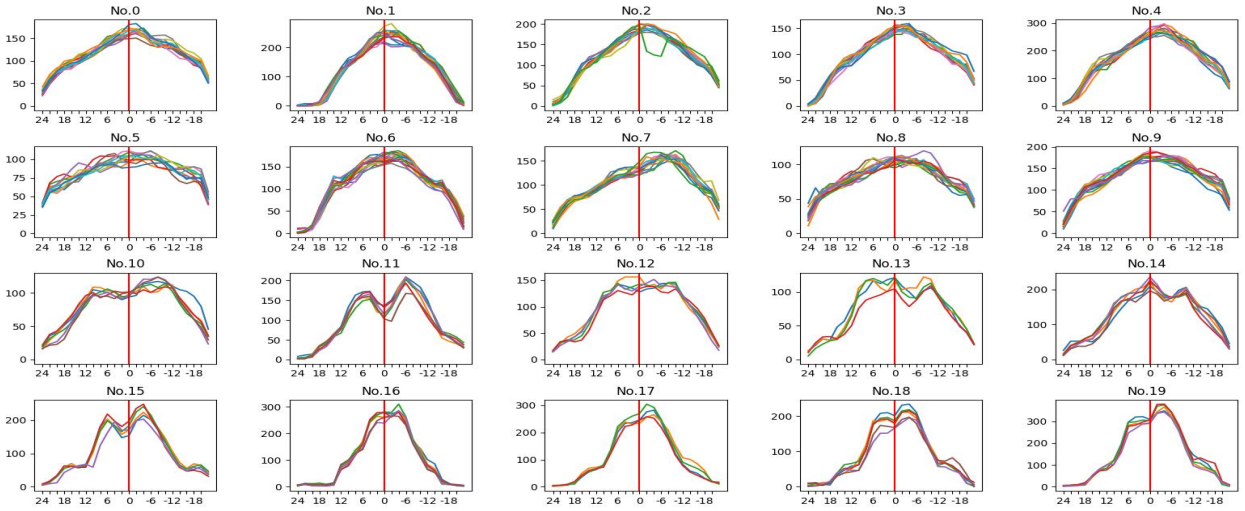


Fig. 6. Data Pre-processing Visualization

2. Data Preprocessing

스프레이건이 가로 방향으로 움직이기 때문에, 세로축 기준으로 데이터는 세로축 한 줄의 데이터들을 보면 이상치가 존재한다. 이상치에 대해서는 z-score가 2 이상이면 해당 이상치의 좌우 두께값의 평균으로 대체하여 이상치 제거 작업을 진행하였다.

두 번째로 데이터에 대해 측정할 때, 매끄럽게 나타나지 못하고 변곡되어 분포되는 영역에 대해서도 전처리 과정을 진행했다. 선형 컨볼루션을 이용하여 데이터가 평활화된 모양으로 나타나도록 필터링을 하였다. 그래서 데이터의 형태가 가우시안 분포에 가까운 모양이 되도록 전처리 작업을 시행했다.

Fig.5와 Fig.6를 통해 뾰족하게 튀어 나와 있는 이상치 데이터와 변곡되어 나타난 데이터들에 대해 평활화 과정을 거쳐서 나타난 전처리 과정에 대한 전후결과를 나타내었다. x축은 W이며, Y축은 $T(D, S, W)$이다.

평활화한 데이터를 시편 조건과 같이 히트맵(Fig.7)으로 나타냈을 때 중복이 없는 시편(고형분이 60인 경우)은 2개의 색으로 구분되어지고 중복이 있는 시편(고형분이 72인 경우)에서 크게 3개의 색으로 구분된다. 구분 되어지는 개수에 따라 중첩된 부분, 중첩이 안 된 부분, 칠해지지 않은 부분으로 구분 가능하다. 중첩을 다루는 모델이 아니기 중첩이 안 된 부분의 데이터를 취득하기 위해 세로축 각 한 줄 두께값 합의 집합에서 중복이 없는 시편의 구간은 상위 90% 이상의 데이터를, 또한 중복이 있는 시편은 상위 40%~60%에 포함되는 데이터만을 선별하였다.

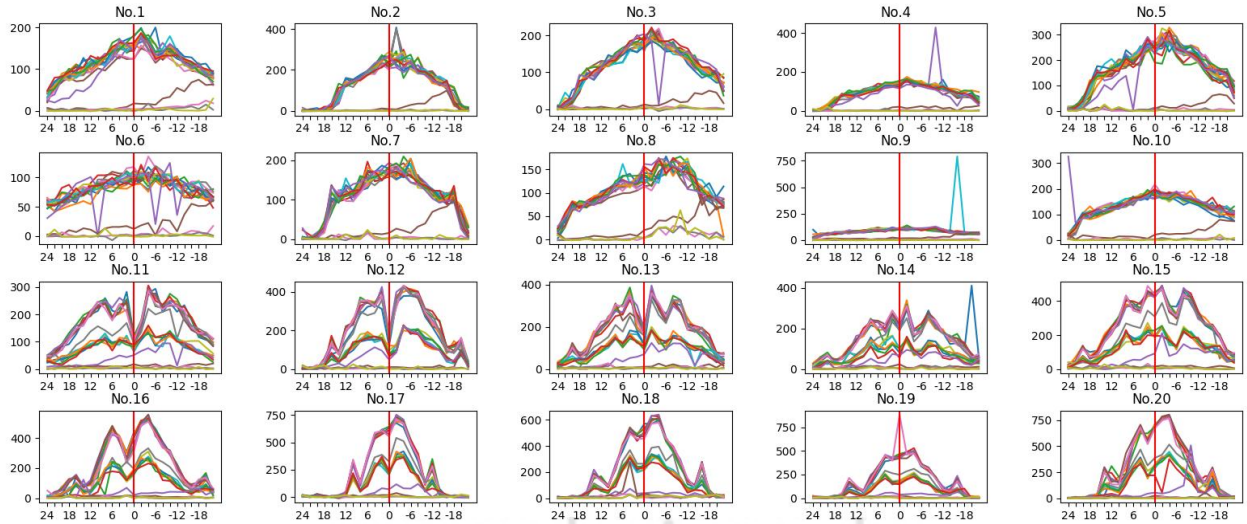


Fig. 5. Data Visualization

www.kci.go.kr

3. Estimation Model

기존의 알려진 D와 S와 다른 새로운 D'과 S'이 주어질 때 이에 대한 두께값 $T(D', S', W)$ 을 추정하기 위해 다음과 같이 식을 변형할 수 있다.

먼저 D가 D'으로 바뀌었을 때 D에 대한 D'의 비율 α를 이용하여 다음과 같이 T식을 변형할 수 있다.

$$\alpha = D' / D$$
$$T(D', S, W) = T(D, S, W/\alpha) \qquad (1)$$

비슷한 방식으로 S 가 S'으로 바뀌었을 때 S에 대한 S'의 비율 β를 이용하여 다음과 같이 T식을 변형할 수 있다.

$$\beta = S' / S$$
$$T(D, S', W) = T(D, S, W) * \beta$$

이를 종합하여 D와 S가 D'과 S'으로 바뀌었을 때 최종적으로 다음과 같이 T식을 변형할 수 있다.

$$T(D', S', W) = T(D, S, W/\alpha) * \beta$$

4. Experiment Result

본 논문에서 제안하는 방법과 비교하기 위해 MLP(Multi-Layer Perceptron) 모델을 사용하였다. 오차값은 $T(D', S', W)$에 대한 MAE이다. 본 논문의 추정 모델을 적용하기 위해서 D와 S값에 대한 기준값 설정이 필요하다 (본 논문에서 보여주는 경우 이외의 다른 값으로 설정하여도 결과에는 큰 차이가 없다). 먼저 D의 변화에 대한 추정 검증을 위해 D=30 및 S=40을 기준값으로 설정하였으며 D'=40, 50인 경우에 대해 테스트하였다. 또한 S의 변화에 대한 추정 검증을 위해 D=40 및 S=30을 기준값으로 설정하였으며 S'=40, 50인 경우에 대해 테스트하였다. 마지막으로 D와 S가 동시에 변하는 경우에 대한 추정 검증을 위해 D=30 및 S=40을 기준값으로 설정하여 D'=40 및 S'=30인 경우에 대한 테스트와 역으로 D=40 및 S=30을 기준값으로 설정하여 D'=30 및 S'=40인 경우에 대한 테스트를 하였다. MLP모델은 추정 모델과 비교하기 위해 각 추정 모델별로 데이터 구성을 달리하면서 학습을 하였다. 즉, D=30, S=40인 경우를 테스트하기 위해 D=40 또는 D=50, S=40인 경우를 훈련데이터로 구성하였다. 반면 D=40, S=30인 경우를 테스트하기 위해 D=40, S=40 또는 S=50인 경우를 훈련데이터로 구성하였다. 마지막으로 D와 S과 모두 변하는 경우에 대한 실험에서 D=30, S=40인 경우를 테스트하기 위해 나머지 경우를 모두 학습 데이터로 사용하였고 D=40, S=30인 경우를 테스트할 때에는 그 외 나머지 경우를 모두 학습 데이터로 사용하였다. 한편 W는 정수값이어야 하므로 식 (1)에서 W가 실수값으로 계산되는 경우 가까운 정수값 W를 이용하여 선형보간법을 통해 두께를 추정하였다.

Table 2는 거리 변화에 따른 두께 예측(Table. 2A), 속도 변화에 따른 두께 예측(Table 2B), 거리 및 속도 변화에 따른 두께 예측(Table 2C) 결과를 설명한다.

Table 2A에서 보듯이 우리 방법 MLP보다 처음 4가지 실험 조건(고형분이 72인 경우)에서는 더 좋은 결과를 보였으나, 나머지 4가지 실험 조건(고형분이 60인 경우에)서

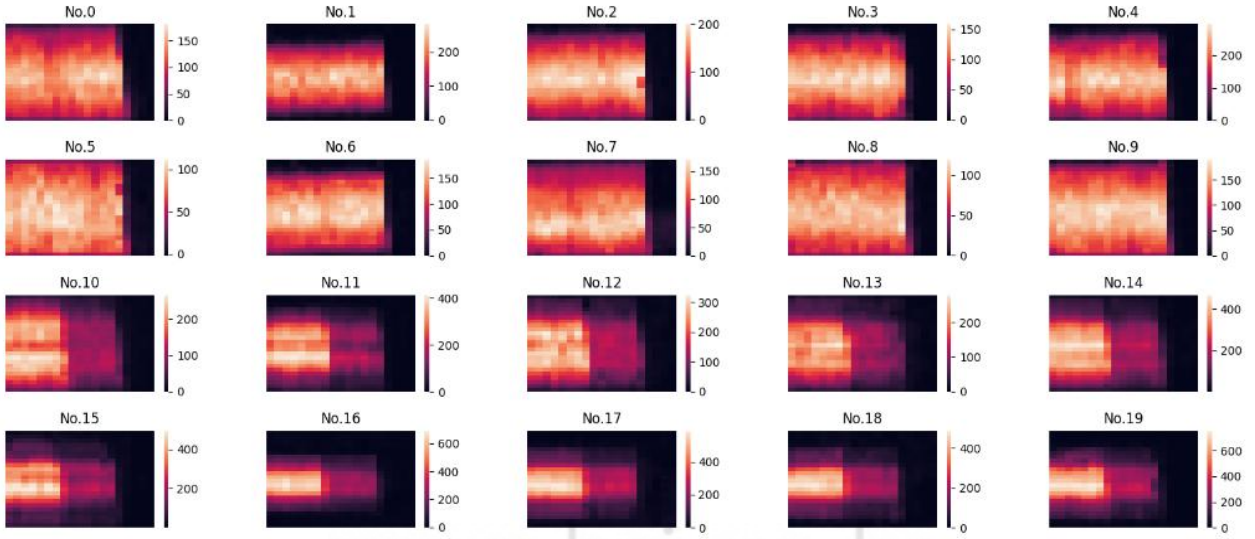


Fig. 7. Data Pre-processing Heatmap Visualization

www.kci.go.kr

Table 2. Experimental Results

(A) Results against change of spraying distance

Soluble solid	72		72		60		60	
Tip size	521		523		521		523	
D′	40	50	40	50	40	50	40	50
MLP	14.92	13.70	15.33	17.16	14.97	13.40	17.87	25.32
Our	7.18	7.30	12.20	5.42	15.58	14.37	20.72	21.13

(B) Results against change of speed

Soluble solid	72		72		60		60	
Tip size	521		523		521		523	
S′	40	50	40	50	40	50	40	50
MLP	19.10	13.08	10.63	16.91	14.13	26.12	14.12	13.90
Our	6.45	6.47	9.85	3.45	5.00	6.22	7.77	3.99

(C) Results against change of spraying distance and speed

Soluble solid	72		72		60		60	
Tip size	521		523		521		523	
D′,S′	(30,40)	(40,30)	(30,40)	(40,30)	(30,40)	(40,30)	(30,40)	(40,30)
MLP	89.45	62.31	70.14	55.70	77.58	42.00	62.75	47.16
Our	12.80	10.19	10.17	6.10	19.16	22.17	46.82	23.66

는 비슷하거나 조금 더 나쁜 결과를 보였다. 이는 Fig.5에서 보듯이 후반 4가지 실험 데이터는 비교적 많은 노이즈가 관측되었기 때문이다.

Table 2B에서는 모든 실험조건에서 우리 방법이 MLP보다 압도적으로 좋은 결과를 보여주었다. 이는 속도에 대한 변환 공식이 거리에 대한 변환 식보다 더욱 정확하게 데이터를 설명함을 암시한다.

Table 2C에서도 모든 실험조건에서 우리 방법이 MLP보다 더 좋은 결과를 보였다. 특히 처음 4가지 실험조건에서는 성능향상이 매우 컸고, 후반 4가지 실험조건에서는 비교적 작았다. 이는 앞의 Table 2A, B의 결과가 합쳐진 상황이기 때문이다.

IV. Conclusions

도장작업에 있어서 도막 두께에 가장 많이 주는 요인을 이용하여 영향요인과 변수계산이 가능한 페인트 두께 결정 모델 개발은 차기 도장 공정에 있어서 많은 긍정적인 점을 시사할 수 있다. 최소화된 페인트를 사용하여 비용절감을 야기하고, 최적의 작업조건과 작업방식, 작업 도구를 사전에 예측할 수 있는 모델은 다양한 조건변화에 따른 결과값을 예측해낼 수 있다. 이를 이용해 추후 무인도장 시스템에 규모와 활용범주를 늘려나가는 것에 있어서 예측된 결과값을 대입하여 로봇도장 시스템에 대해 효율적인 모니터링과 생산력 확보를 감안해낼 수 있는 부분이고, 부족한 도장 인력과 향상된 인력을 위해 교육용 VR 시뮬레이션 시스템 내에서도 예측된 최적의 두께값이 계산되어서 이 결과값에 근사할 때까지 작업자가 훈련할 수 있는 교육적인 용도로서도 적용될 수 있다.

이번 연구와 실험에 대해서 속도와 거리에 대해서만 모델이 적용되었다는 한계점이 있다. 추후 앞으로의 연구에서 여러가지 각도에 대해서도 적용한다면, 현재보다 좀 더 보완된 형태의 모델을 개발할 수 있다는 점을 시사한다. 또한 장기적으로 모델을 개발하는 데 있어서 적용할 수 있는 변수에 대한 데이터를 넣을 수 있다면 야외에서 진행되는 다변적인 도장작업의 조건 속에서도 다양한 값이 적용된 형태의 예측값이 나올 수 있다는 점을 이번 회귀 모델을 적용한 도막 두께예측 모델에 대한 연구의 방향성을 의미할 수 있다.

REFERENCES

[1] Ji-heon Yoo, Rae-Soo Im, Ho-Kyung Kim, "Technical Report : Digitalization of Shipbuilding Industry" Journal of the Korean Society of Shipbuilding, Vol. 48, No. 4, pp. 40-43, Dec. 2011.

[2] Dae-seok Kim, Jinah Park, "Real-time Spray Painting using Rays and Texture Map" Journal of the Society of Information ScienceReal and Letters of Computing, Vol. 14, No. 8, pp. 818-822, Nov. 2008.

[3] Seung-Chan Lee, In-Ho Song and Jin-Hwan Borm, "An Accurate and Efficient Method of the Spray Paint Simulation for Robot OLP" Korean CAD/CAM Society Paper Collection, Vol. 13, No.4, pp. 296-304 2008.

[4] E. Freund, D. Rokossa and J. Rossmann, "Process oriented approach to an efficient off-line programming of industrial robots" IEEE Industrial Electronics Society Conference, pp. 208-213, Aug

www.kci.go.kr

1998. DOI: 10.1109/IECON.1998.723992

[5] Paul Adams, Douglas Dommermuth,. "Visualization of Steep Breaking Waves and Thin Spray Sheets around a Ship" IEEE Visualization, pp. 555-559, Oct 2003 DOI: 10.1109/VISUAL.2003.1250419

[6] Daniel Gleeson, Stefan Jakobsson, Radd Salman, Fredrik Ekstedt, Niklas Sandgren, Fredrik Edelvik, Johan S. Carlson, and Bengt Lennartson "Generating Optimized Trajectories for Robotic Spray Painting" IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol. 19, No.3 pp. 1380-1391, 2022. DOI: 10.1109/TASE.2022.3156803

[7] Alex Pang, Kyle Smith, "Spray Rendering: Visualization Using Smart Particles" IEEE Visualization, pp. 283-290, 1993. DOI: 10.1109/VISUAL.1993.398880

[8] Pat Hanrahan and Paul Haeberlit, "Direct WYSIWYG Painting and Texturing on 3D Shapes" ACM SIGGRAPH, pp. 215-233, Aug 1990. DOI: 10.1145/97880.97903

[9] Takeo Igarashi, Dennis Cosgrove, "Adaptive unwrapping for interactive texture painting" ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 209-216, 2001. DOI: 10.1145/364338.3644 04

[10] Maneesh Agrawala, Andrew C. Beers, Marc Levoy, "3D Painting on Scanned Surfaces" Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 145-150, 1995. DOI: 10.1145/199404.1994 29

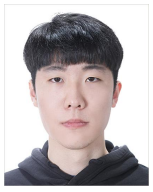
[11] Jun Wang, Mingquan Yang, Fei Liang, Kangrui Feng, Kai Zhang and Quan Wang. "An Algorithm for Painting Large Objects Based on Nine-Axis UR5 Robotic Manipulator" Appl. Sci. 2022, 12, 7219. DOI: 10.3390/app12147219

[12] Zhengyao Yi, Siyao Mi, Tianqi Tong, Kai Li, Bingxing Feng, Bing Li, and Yan Lin. "Simulation Analysis on the Jet Flow Field of Single Nozzle Spraying for a Large Ship Outer Panel Coating Robot" Coatings2022, 12, 369 DOI: 10.3390/coatings12030369

[13] Vidyapati KUMAR, Kanak KALITA, Prasenjit CHATTERJEE, Edmundas Kazimieras ZAVADSKAS, Shankar CHAKRABORTY. "A SWARA-CoCoSo-Based Approach for Spray Painting Robot Spray Painting Robot Selection" IMFORMATICA, 2022, Vol, 33, No. 1, 35-54 12, 369 DOI: 10.15388/21-INFOR466

Authors

Geun-Wan Kim received the B.S. degree in Computer Science and Engineering from University of Ulsan, Korea, in 2021. He is currently a M.S student in Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan. He is interested in optimization and AutoML



Seung-Hun Lee received the A.S. degree in Computer Contents Design from College of Ulsan, Korea, and B.S. degree in Clothes and Textile from University of Ulsan in 2020, 2022 respectively. He is currently a M.S student in Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan. He is interested in genetic algorithm.

Yung-Keun Kwon received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Seoul National University, Korea, in 1999, 2001and 2006, respectively. He is currently a Professor in Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Ulsan. He is interested in genetic algorithm and optimization.

www.kci.go.kr