

# 염색공장의 흡진율 계측을 위한 복합센서 흡진율 계측 모델 개발

## Development of a complex sensor software for measuring the exhaustion rate of dyeing factories

이 정 인<sup>\*,\*\*</sup>, 박 완 기<sup>\*</sup>, 김 상 하<sup>\*\*★</sup>

Jeong-in Lee<sup>\*,\*\*</sup>, Wan-Ki Park<sup>\*</sup>, Sang-Ha Kim<sup>\*\*★</sup>

### Abstract

The textile industry in Korea, the dyeing sector is an energy-intensive sector and has low per-unit productivity due to its labor-intensive nature. If the defective rate of dyed fabrics is high, additional costs are incurred due to an increase in production cost due to re-dyeing. Therefore, the goal of the dyeing factory was to minimize the defect rate rather than to save energy. It was difficult to check the dyeing state of the fabric in real time due to the risk of accidents due to burns or pressure when dyeing in a high-temperature and high-pressure environment. In this paper, a complex sensor that can measure the exhaustion rate of dye solution in the dyeing machine using turbidity, pH, and conductivity sensors was proposed, and the experimental method and experimental results were analyzed.

### 요 약

우리나라의 섬유산업 중 염색가공 분야는 에너지 다소비 업종으로, 노동 집약적 특성에 따라 원단위 생산성이 낮고, 대부분 중소·영세기업 특징이 있다. 염색 원단의 불량률이 높아지면 재염색으로 인한 생산단가 상승과 초과 에너지 투입으로 비용이 증가하기 때문에, 불량률을 최소를 통한 생산량 향상이 초점이었다. 또한 고온고압의 환경에서 이루어지는 염색공정은 사고 위험으로 염색기 원단 투입구를 실시간으로 개방할 수 없기 때문에 실시간으로 원단의 염색상태 확인이 어려웠다. 최근에는 염액을 실시간으로 모니터링하는 연구가 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 탁도, pH, 전도도 센서를 이용하여 염액의 흡진율을 계측할 수 있는 복합센서 흡진율 모델 및 구성시스템을 제안하였으며, 실험방법소개와 실험결과 분석을 실시하였다.

*Key words : Dyeing factory, Exhaustion rate, Multiple Regression, hydrogen ion concentration, Turbidity, Conductivity*

\* Energy ICT Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute

\*\* Dept. of Computer Engineering, Chugnam National University

★ Corresponding author

E-mail : shkim@cnu.ac.kr Tel : +82-42-821-7451

※ Acknowledgment

This work was supported by the KETEP and the Ministry of Trade, Industry and Energy of the Republic of Korea (No. 20202000000010)

Manuscript received Jun. 3, 2022; revised Jun. 14, 2022; accepted Jun. 18, 2022.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

우리나라의 섬유산업은 원사, 원단 및 염색 등 균형 있는 제조 기반을 보유하고 있으나, 원자재 가격 하락 및 후발국의 해외시장 잠식 등의 영향으로 감소세가 지속되었다.

하지만 최근 우리나라 섬유산업이 고부가 가치가 있는 스포츠, 레저용 의류의 폭발적인 수요 증대와 국제 경쟁력 개선 등으로 생산 및 수출이 증가하였다[1]. 섬유산업 중 염색가공 분야는 에너지 다소비 업종으로, 노동 집약적 특성에 따라 원단위 생산성이 낮고, 대부분 중소·영세기업인 특징이 있다[2].

섬유산업의 단계별 에너지 소비량 중 염색가공업의 에너지 소비량이 총 에너지 소비량의 42%로 가장 많은 에너지를 소비하고 있지만[3], 에너지 절약보다는 불량률 감소에 관심을 두었다[4]. 이는 염색 원단의 불량률이 높아지면 재염색으로 인한 생산단가 상승과 에너지 재투입으로 생산비용이 증가하여 수입이 줄어들 수 있다. 그러므로 염색공장의 작업자는 원단 염색 불량률을 낮추기 위하여 염색에 필요한 전력, 스팀 등의 에너지를 염색기에 과학계 투입하였고, 작업자의 염색기 제어 및 에너지 조절 능력이 현장의 염색 불량률과 직접적인 영향이 있다.

고온고압의 환경에서 이루어지는 염색공정은 화재 또는 압력에 의한 사고 위험으로 염색기 원단 투입구를 실시간으로 개방할 수 없기 때문에 실시간으로 원단의 염색상태 확인이 어려웠다. 그러므로 실험실에서 소규모 원단을 이용하여 염료 배합 및 염색 색상 확인 후 현장에서 염색을 진행한다.

최근에는 실시간 원단 염색상태를 확인하기 위하여, 염색기에 구멍을 내어 배관을 추가하고, 배관으로 염액을 흘려 분광분석기를 이용하여 염색 흡진율, pH농도, 색도 변화를 실시간으로 모니터링하는 연구가 활발히 진행 중이다[5]. 분광분석기는 빛의 투과율 및 반사율 등을 이용하여 염색 흡진 및 색도를 정확하게 계측을 가능하게 해주는 장비이다. 비용이 고가이고, 색을 계측하기 위하여 외부 빛 차단, 전자 노이즈 제거 및 외부 오염물질 제거 등의 다양한 환경변수 조정이 필요하다. 본 논문에서는 분광분석기로 계측할 수 있는 흡진율을 대체할 수 있는 염색 복합센서 시스템 개발 방법론을 제안하고 과실험 분석을 하였다.

본 연구는 다음과 같이 구성된다. 제2절은 염색공장의 공정 개요에 대하여 설명하고, 제3절에서는 복합센서 흡진율 계측 모델 도출 및 검증에 위한 실험방법론을 설명

한 후, 제4절에서 복합센서 실험 결과 데이터 분석결과를 제시한다. 마지막 5절은 연구 결과를 요약하고 시사점을 도출할 것이다.

## II. 염색공장개요

염색공장은 염료의 종류, 염액 조제 방법, 원단의 종류, 염색기, 가공방법 등에 따라서 다양한 공정으로 구성될 수 있다. 일반적으로 염색과정은 전처리, 염색, 후처리 공정으로 크게 나눌 수 있다[6].

전처리 공정은 준비된 원단을 작업 진행하도록 수량에 맞게 연폭하는 과정과, 준비된 원단을 연속 또는 비연속 장비를 이용하여 호제 및 불순물을 제거하는 과정이다[7]. 염색 공정은 원단을 염액에 넣은 후 염액을 가열하게 되면, 원단 소재에 따라 물리적·화학적 결합을 통하여 원단 내부에 염료가 염착(흡진)되는 과정이다[8]. 염색공정은 염액이 원단에 염착되기 위한 염착곡선이 중요하며, 승온시간(temperature rising time), 유지시간(maintaining time), 감온시간(temperature falling time)으로 구성이 되어 있다. 후처리 공정은 텐터공정, 마무리 열처리공정, 제품검사 및 제품 출하 과정으로 구성된다.

염색 공정에서 염료가 녹아있는 염액이 승온되는 시점에서 염액이 원단으로 염료가 비례적으로 흡착(흡진)되기 시작한다. 또한, 염액을 승온시키기 위하여 가스, 전기 등의 에너지가 투입된다. 염액의 흡진율을 실시간으로 계측할 수 있으면 염색공정에 소요되는 에너지 절약과 시간을 단축할 수 있다. 그러므로 다음 절에서는 저가의 센서들을 사용하여 염액을 실시간으로 계측할 수 있는 복합센서 실험방법에 대하여 소개하도록 한다.

## III. 복합센서 흡진율 계측 모델 실험 방법론 염색공장개요

본 절에서는 실제 미지의 시료의 흡진율 측정하는 분광분석기를 대체 하기 위하여 전도도, 탁도, pH센서를 염색기와 연결하여 흡진율과의 상관관계를 분석하여, 3개의 센서값을 이용하여 흡진율을 계산할 수 있는 흡진율 계산모델을 갖는 염색 복합센서 실험 방법에 대하여 논의 한다.

그림 1은 본 논문에서 제안한 염액 흡진율을 실시간 모니터링을 위한 염색 복합센서 시스템 구성을 나타낸다.

염색공장은 염색기, 텐터 설비, 염색제어기가 주요 설

비이며, 에너지설비와 계량기, 모니터링 시스템으로 구성된다. 3개의 센서값을 입력으로 받아, 복합센서의 흡진율 계산 모델에서 도출된 흡진율 값이 염색제어기로 입력되는 형태이다.

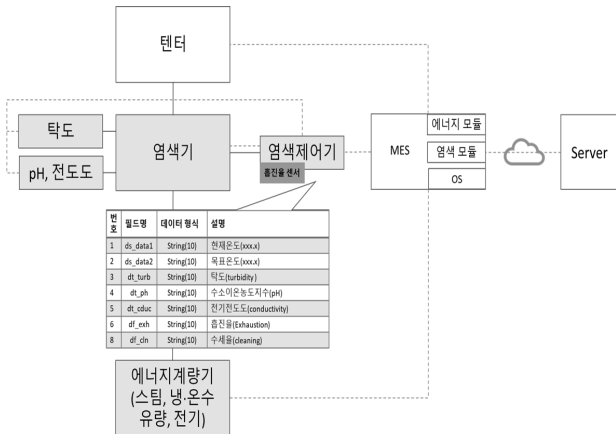


Fig. 1. Composition of dye complex sensor system.  
그림 1. 염색 복합센서 시스템 구성

그림 2는 염색 복합센서 실험단계를 나타내며, 실험실 테스트, 파일럿테스트, 필드테스트로 구성이 된다. 실험실테스트에서는 분광분석기로 흡진율값을 측정하여, 복합센서의 흡진율 계산값과 비교 검증 데이터로 활용한다. 파일럿테스트에서는 흡진율과 3개의 센서값을 측정하여, 상관관계를 분석하고 복합센서 흡진율 계산모델을 도출한다. 필드테스트에서는 앞서 도출된 복합센서 흡진율 계산모델을 파일럿테스트 설비에 적용하여 검증하는 실험으로, 본 논문에서는 복합센서 흡진율 계산모델을 만들어 프로그램으로 검증하는 실험까지만 진행을 하였고, 현장 테스트는 추후 진행 예정이다.

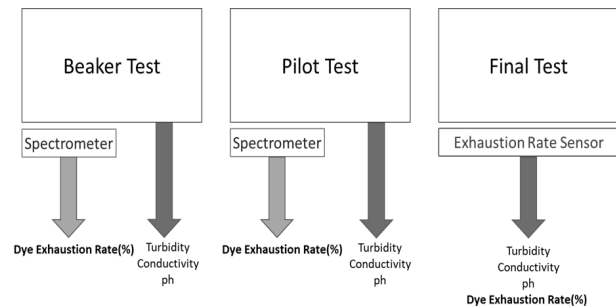


Fig. 2. Experimental steps of the dye complex sensor.  
그림 2. 염색 복합센서 실험 단계

1. 실험실테스트(B/T)

실험실테스트는 염색공장의 실험실에서 비커 규모의 극소량 시료를 이용한 염색 실험을 뜻한다[7]. 실험실테

스트는 소량으로 원단 염색을 진행하고 결과를 확인한 후 대량생산에 동일한 데이터를 적용하여, 대량생산에서 발생할 수 있는 색의 오차를 줄이기 위한 사전 실험이다.

표 1은 실험실테스트에 사용되는 원단 및 염료 개수 등의 기본 정보를 나타낸 표이다. 원단과 염료 특성을 고려하여 비커 64개를 사용하였다. 원단은 조직과 밀도로 구분한 4종으로 구분하였고, 염료 레시피는 염료타입 2종과 컬러 8종으로 구분하여 16종을 사용하였다. 원단 및 염료 특성을 고려한 64개 비커를 승온온도 10°C씩 6구간(80~130°C)으로 나눠서 총 384회 실험을 진행하였다.

Table 1. Information of beaker test.

표 1. 실험실테스트 투입 기본 정보

No	Fabric		Sort of recipe	B/T	
	Textile	Thread count		Beaker number	Number of beakers for dyeing machine
1~64	Plain / Twill	high / low	16	64EA	6 POT
Number of K/S measurements = 384 (64EA × 6 Pot)					

그림 3은 염색 승온곡선의 흡진율 측정구간을 나타내었다. 염색 승온곡선을 10°C씩 6구간(80~130°C)으로 구분하여, 구간별로 분광분석기를 이용하여 흡진율의 기초 데이터가 되는 K/S값을 측정하고 색차(ΔE)를 측정하여 원단의 균염성도 확인을 하였다.

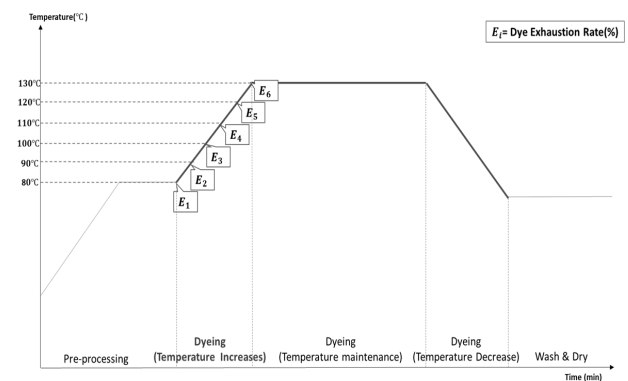


Fig. 3. Exhaustion rate of dyeing temperature rise curve.  
그림 3. 염색 승온곡선 흡진율 측정 구간

2. 파일럿테스트(P/T)

실험실테스트는 소량의 원단 염색에 대한 흡진율 측정 실험이었으면, 파일럿테스트는 현장에서 사용하는 염색기에 1회당 20~40yd의 원단을 적용한 대량생산 전의

실험이다. 실험실테스트 64개 시험 중에서 16개를 선별하여 동일한 조건으로 실험을 진행하였다. 실험실테스트와 동일한 센서들을 염색기에 설치하여, 승온곡선 10℃씩 6구간으로 나누어 흡진율과 전도도, pH, 탁도값의 상관관계를 분석하고, 복합센서 흡진율 계산식 모델을 도출한다.

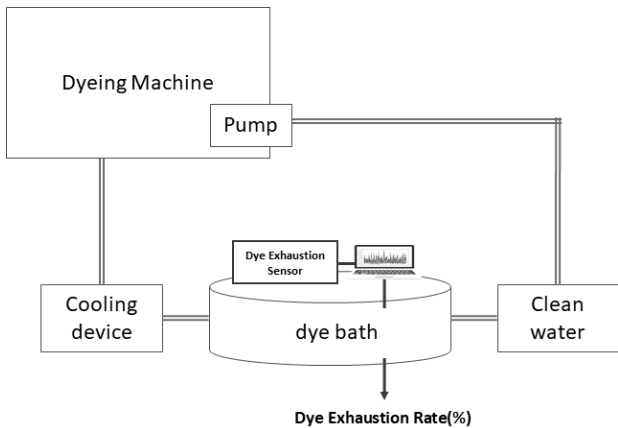


Fig. 4. Composition of the pilot test.  
그림 4. 파일럿테스트 구성

그림 4는 파일럿테스트 구성도이다. 염색기에 배관을 연결하여 고온 상태의 염액을 냉각장치에 통과시킨다. 염액의 온도가 흡진율 계산을 위해 추가로 설치한 센서의 계측가능 온도 범위보다 높은 온도 상태이기 때문에 냉각장치를 통과하여 염액의 온도를 낮추는 과정이 필요하다.

이후 염색조(bath)에서 염액의 pH, 전도, 탁도값을 계측하고, 분광분석기로 원단의 흡진율을 계측하여 센서값과 흡진율의 상관관계를 분석한다. 센서 계측이 끝난 염색 용액을 다시 염색기 안으로 투입하기 위한 펌프를 작동시키고, 이후 추가 실험하기 위한 세척 과정도 진행한다.

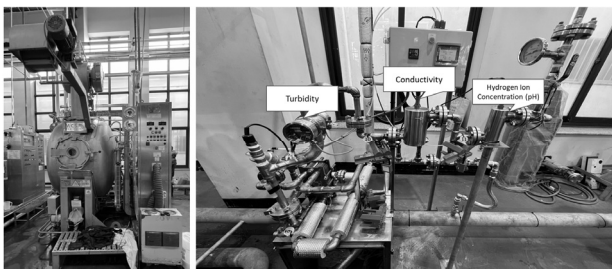


Fig. 5. Dyeing equipment of pilot test.  
그림 5. 파일럿테스트 염색기 및 복합센서

그림 5는 파일럿테스트 현장 모습이며, 왼쪽 그림은 Rapid 염색기이며, 오른쪽 그림은 염색기 뒤쪽에 배관에 연결된 3개의 센서이다.

### 3. 필드테스트

파일럿테스트에서 도출된 복합센서 흡진율 계산 모델에 대하여 파일럿테스트와 동일한 현장에 적용 및 검증한다. 본 논문에서는 복합센서 흡진율 계산 모델에 대한 데이터 검증까지 진행하고, 필드테스트는 추후 진행 예정이다.

## IV. 복합센서 흡진율 계측 모델실험 데이터 분석

본 절에서 앞에서 언급한 실험방법에 따라 실험실테스트, 파일럿테스트를 진행하였고, 그 결과에 대한 데이터 분석을 수행하였다.

### 1. 복합센서와 흡진율 상관관계 분석

그림 6은 파일럿테스트에서 계측한 전도도, 탁도, pH 센서값과 흡진율을 나타낸다. 염색 원단의 특성 및 염료량에 따라 흡진율값이 달라짐을 알 수 있으며, 각 센서와 흡진율과의 상관관계도 시각적으로 확인할 수 있었다.

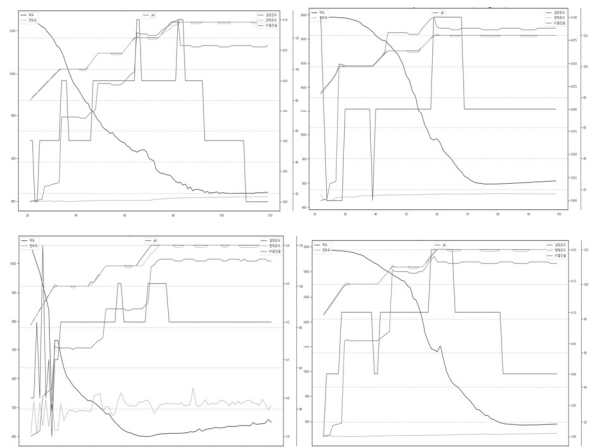


Fig. 6. Result of Exhaustion rate and sensor value measurement.

그림 6. 파일럿테스트 흡진율과 센서값 계측 결과

그림 7은 파일럿테스트를 진행한 16종류의 원단 및 염료 특성도 포함하여 데이터의 상관행렬을 시각화 한 것이다. 중량, 조직, 밀도, 염료타입, 염료량, 용수량, 수량, 작업시간, 설정온도, 현재온도, 센서온도, 탁도, 전도도, pH, 흡진율, 파일럿K/S값을 변수로 적용하였다. 흡진율

은 원단 특성인 밀도, 조직과 염료 특성인 염료타입과, 농도와 상관관계가 있음을 확인하였다. 또한 흡진율 모델은 원단 및 염료의 특성을 반영하여야 하므로, 각각의 흡진율 모델이 만들어져야 함을 확인하였다.

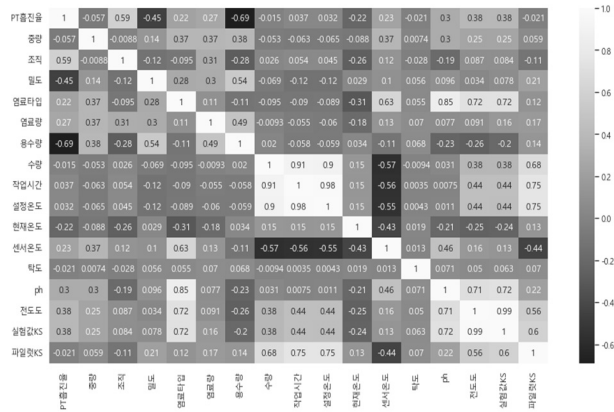


Fig. 7. Correlation of dyeing process factors.  
그림 7. 파일럿테스트 염색공정 요소의 상관관계

그림 8은 파일럿테스트 복합센서의 산점도 그래프이다. (a)는 전체 파일럿테스트의 센서값의 산점도 관계이며, (b)파일럿테스트 1의 센서값의 산점도 그래프이다. 각각의 파일럿테스트마다 산점도 분포는 달랐지만, pH, 전도도는 양의 상관관계가 있으며, 탁도는 흡진율과 음의 상관관계가 있음을 가시적으로 확인할 수 있다.

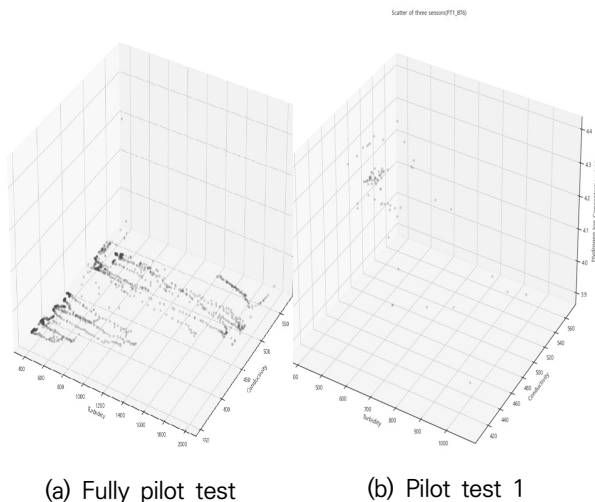


Fig. 8. Scatter of sensor values.  
그림 8. 파일럿테스트 복합센서 산점도

2. 복합센서 다중회귀분석 모델

본 논문에서는 탁도, 전도도, pH값과의 흡진율과의 관계를 나타내기 위하여 다중선형회귀식을 사용하였고, 수식 (1)과 같다. β는 모집단의 회귀계수를 나타내며, x는

설명변수를 나타내었으며, 최소제곱법을 이용하여 잔차의 제곱합을 최소화하여 회귀식 계수값을 도출하였다.

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n \tag{1}$$

파일럿테스트 16개중에서 1개를 선택하여 센서값과 흡진율과의 상관관계를 분석하였고, 종속변수가 흡진율이고, 독립변수가 pH, 전도도, 탁도인 다중회귀분석모델을 python statsmodels 라이브러리의 OLS(Ordinary Least Squares)클래스를 사용하여 모델링을 하였다. 표 2는 파일럿테스트 1의 OLS 결과를 나타내었고, 최소제곱법으로 구한 회귀계수 추정량을 이용하여 적합값 벡터를 다음과 같이 표현하였고, 수식(2)와 같다.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y = \begin{bmatrix} 0.3058 \\ -0.0012 \\ -7.5e-05 \\ 0.2956 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Table 2. The results(PT1) of ordinary least squares.  
표 2. 파일럿테스트 1의 OLS 결과

OLS Regression Results						
Dep.Variable: Pilot Exhaustion	R-squared: 0.738					
Model: OLS	Adj.R-squared: 0.728					
Method: Least Squares	F-statistic: 72.40					
No.Observations: 81	Prob(F-statistic): 2.36e-22					
Df Residuals: 77	Log-Likelihood: 55.413					
Df Model: 3	AIC: -102.8					
Covariance Type: nonrobust	BIC: -93.25					
Omnibus: 16.536	Durbin-Watson: 0.339					
Prob(Omnibus): 0.000	Jarque-Bera(JB): 8.598					
Skew: -0.614	Prob(JB): 0.0136					
Kurtosis: 1.982	Cond.No. 6.07e+04					
	Coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Const	0.3058	1.151	0.266	0.791	-1.985	2.597
Turbidity	-0.0012	0.000	-9.524	0.000	-0.001	-0.001
Conductivity	-7.535e-05	0.001	-0.123	0.902	-0.001	0.001
ph	0.2956	0.235	1.258	0.212	-0.172	0.763

R-squared는 결정 계수(coefficient of determination)를 나타내며 0.738로 추정된 복합센서 독립변수들과 종속변수인 흡진율과의 상관관계와 다중회귀분석 모델의 유용성이 높음을 확인하였다. 하지만, 독립변수들 간 상관관계가 높은 다중공선성이 발생하였으며, 이는 예측값의 신뢰구간이 넓게 형성될 수 있으므로 독립변수들을 정규화하여 OLS를 다시 분석하였다.

Table 3. Normalize independent variables in OLS regression.

표 3. 일릿테스트 1의 독립변수 정규화한 OLS 결과

OLS Regression Results						
Dep.Variable: Pilot Exhaustion		R-squared: 0.738				
Model: OLS		Adj.R-squared: 0.728				
Method: Least Squares		F-statistic: 72.40				
No.Observations: 81		Prob(F-statistic): 2.36e-22				
Df Residuals: 77		Log-Likelihood: 55.413				
Df Model: 3		AIC: -102.8				
Convvariance Type: nonrobust		BIC: -93.25				
Omnibus: 16.536		Durbin-Watson: 0.339				
Prob(Omnibus): 0.000		Jarque-Bera(JB): 8.598				
Skew: -0.614		Prob(JB): 0.0136				
Kurtosis: 1.982		<b>Cond.No. 2.55</b>				
	Coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Const	0.8876	0.014	63.798	0.000	0.860	0.915
scaled Turbidity	-0.1949	0.020	-9.524	0.000	-0.236	-0.154
scaled Conductivity	-0.0022	0.018	-0.123	0.902	-0.038	0.033
scaled ph	0.0210	0.017	1.258	0.212	-0.012	0.054

Table 4. Addition of Independent Variables in OLS.

표 4. 파일럿테스트 1의 독립변수 추가 및 정규화한 OLS 결과

OLS Regression Results						
Dep.Variable: Pilot Exhaustion		R-squared: 0.986				
Model: OLS		Adj.R-squared: 0.985				
Method: Least Squares		F-statistic: 1347.				
No.Observations: 81		Prob(F-statistic): 1.07e-69				
Df Residuals: 76		Log-Likelihood: 174.28				
Df Model: 4		AIC: -338.6				
Convvariance Type: nonrobust		BIC: -326.6				
Omnibus: 24.305		Durbin-Watson: 0.997				
Prob(Omnibus): 0.000		Jarque-Bera(JB): 38.592				
Skew: -1.212		Prob(JB): 4.17e-09				
Kurtosis: 5.358		<b>Cond.No. 4.43</b>				
	Coef	std err	t	P> t	[0.025	0.975]
Const	0.8876	0.003	274.973	0.000	0.881	0.894
scaled Temperature	0.2339	0.006	36.802	0.000	0.221	0.247
scaled Turbidity	-0.0054	0.007	-0.772	0.442	-0.019	0.009
scaled Conductivity	-0.0117	0.004	-2.825	0.006	-0.020	-0.003
scaled ph	0.0088	0.004	2.258	0.027	0.001	0.017

표 3은 독립변수를 정규화한 OLS 분석 결과이며, 수식 (3)과 같다. 다중공선성은 독립변수들의 정규화를 통하여 해결되었음을 확인하였으며, VIF(Variance Inflation

Factors)도 3 미만임을 확인하였다. 또한 독립변수 ph와 전도도의 p-value값이 0.05보다 높아 독립변수의 유의성을 재검정이 필요함을 알 수 있다.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y = \begin{bmatrix} 0.8876 \\ -0.1949 \\ -0.0022 \\ 0.0210 \end{bmatrix} \quad (3)$$

표 4는 결정계수와 수정 결정계수값을 향상하기 위하여, 염색 승온곡선과 흡진율과의 비례관계도 고려하여 염색의 현재온도를 독립변수로 추가하여 회귀분석을 진행한 결과이다. 결정계수는 98.6%로 회귀분석 모델의 성능이 향상되었음을 확인하였으며, 회귀계수의 유의미성도 확인하였다. 최고제곱법으로 구한 회귀계수 추정량은 수식 (4)와 같다.

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y = \begin{bmatrix} 0.8876 \\ 0.2339 \\ -0.0054 \\ -0.0117 \\ 0.0088 \end{bmatrix} \quad (4)$$

그림 9는 앞서 도출된 흡진율 회귀분석 모델에 대하여 파일럿테스트 1의 데이터를 기반으로 학습 및 검증을 진행한 결과를 나타내었다. x축은 실제 파일럿테스트 1의 분광분석으로 측정한 K/S값 기반의 흡진율이며, y축은 회귀분석 모델로 예측한 흡진율이며, 흡진율의 값이 선형적으로 일치하는 것을 확인할 수 있다.

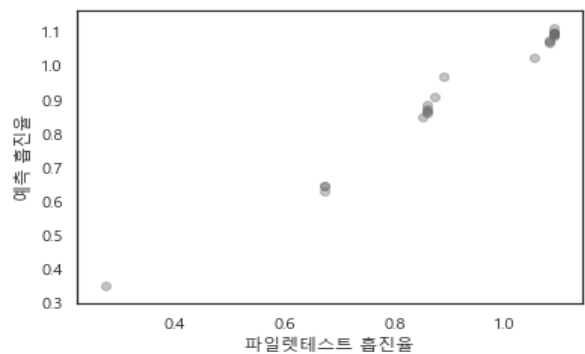


Fig. 9. Comparison of predicted values and true values for validation data.

그림 9. 검증데이터에 대한 흡진율 예측값과 실제값 비교

### V. 결론

본 논문에서는 분광분석기로 측정할 수 있는 흡진율을 저가의 센서로 간접적으로 측정할 수 있는 흡진율 복합 센서 개발 방법론 및 실험 구성에 대하여 소개하였다. 3

개의 센서와 흡진율의 상관관계를 확인하였다. 각각의 원단 특성을 반영한 흡진율 계산 모델을 만들 수 있음을 확인하였다.

하지만 실험실테스트에서는 소량의 생지(제직이 된 상태에서 가공을 하지 않은) 원단을 전처리한 후 실험을 하였지만, 파일럿테스트에서는 전처리를 하지 않은 생지 원단으로 실험을 하여서, 실험실테스트와 파일럿테스트의 원단의 흡진율 차이가 발생하였다. 이는 생지원단의 전처리 작업에 따른 원단의 중량 손실[9]에 영향이 있을 것으로 판단이 되며, 추가 분석이 필요함을 알 수 있었다.

향후 논문에서는 복합센서 흡진율 모델의 필드테스트와, 실험실테스트와 파일럿테스트의 흡진율 계측 오차 보정 관련 모형 구현 관련하여 논의 할 예정이다.

## References

- [1] "2Textile Fashion Industry Trend in 2021," *KOREA FEDERATION OF TEXTILE INDUSTRIE*, 2021.
- [2] Park Young-Hwan, "Dyeing and processing equipment and environment," *Fiber Technology and Industry*, Vol.3, No.3, pp.158-176, 1999.
- [3] Kyu Tae Park, Sung Ju Im, Kang Yong-Shin NOH, SANG DO, Yang gon, Yong Tae Kang, Dong Hyun Kim, Su Young Choi, "The Configuration and Utilization of Digital Twin for the Energy Efficiency Improvement of the Dyeing and Finishing Shop," *Society for Computational Design and Engineering*, Vol.23, No.4, pp.329-341, 2018.  
DOI: 10.7315/CDE.2018.329
- [4] Lee Jeong-in, "Data analysis for energy saving in dyeing and processing plants," *IEIE conference*, pp.976-977, 2021.
- [5] "Development of real time integrated monitoring technologies of dyeing information to establish a smart dyeing factory," *Korea Institute of Industrial Technology*, pp.19-31, 2017.  
DOI: 10.23000/TRKO201800036533
- [6] "Preparation of management manuals for each type of odor emission facility(2)," *Ministry of Environment*, pp.210-391, 2009.
- [7] "Dyeing processing test," *Ministry of Education, ncs learning module*, 3-11, 2018.

[8] Seok-Gon Yang, Hwa-Jeong Lee, Byeong-Gyu Seo and Seok-Bok Kang. "Development of dyeing curve prediction model of dyeing process using midlinear regression analysis," *Journal of the Korean Data and Information Science Society*, Vol.29, No.3, pp.705-715, 2018.

[9] Information Field, "Cellulose Fiber Biorefining and Bleaching, Dytech Research Center," pp.4-11, 2009.

## BIOGRAPHY

### Jeong-in Lee (Member)



2007 : BS degree in Electrical Engineering, Hongik University.  
2009 : MS degree in Electrical Engineering, Hongik University.  
2015 : PhD candidate in Computer Science Engineering, Chungnam National University.

2010~present : Senior Research, Electronics and Telecommunications Research Institute.

### Wan-ki Park (Member)



1991 : BS degree in Electronics Engineering, Chungnam National University  
1993 : MS degree in Electronics Engineering, Chungnam National University.

2006 : PhD degree in Information and Communication Engineering, Chungnam National University.

2000~present : Principle Research, Electronics and Telecommunications Research Institute

2019~present : Director of Energy ICT Research Section, ETRI

### Sang-Ha Kim (Member)



1980 : BS degree, Seoul National University.

1984 : MS degree, University of Houston

1989: PhD degree, University of Houston

1992~present : Professor, Dept. of Computer Engineering, Chugnam National University