



Research Paper

Multivariate Statistical Analysis of Dyeing Wastewater Organic Matter Indicators

Youngbeom Cho¹ · June-shu Ahn² · Chae ho kim² · Dong chul Shin^{2*}

¹LEOTEK Co., Ltd.

²Department of Smart Construction and Environment Engineering, Daejin University, Republic of Korea

(Received December 12, 2023; Revised February 13, 2024; Accepted February 14, 2024)

Objectives: Since 2016, TOC (Total Organic Carbon) has replaced COD (Chemical Oxygen Demand) as an organic indicator for effluent wastewater quality standards. However, the distribution of organic substances by process in wastewater treatment facilities is not properly identified, making it difficult to secure stable treated wastewater quality. Therefore, in this study, we identified the correlation between TOC and existing organic matter indicators in raw wastewater, primary treated, secondary treated, and effluent wastewater for dyeing wastewater.

Methods: Samples for each process were collected twice a week, a total of 24 times, from a dyeing wastewater treatment plant located in Y-city, Gyeonggi-do, and organic pollutant indicators (TOC, COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅) were analyzed. TOC was analyzed by the NPOC (non-purgeable organic carbon) method using TOC-VCHP (Shimadzu, Japan). Using the analysis results, the characteristics of organic pollutants in dyeing wastewater were analyzed. In addition, multivariate statistical analysis was performed using SPSS to analyze correlations between organic pollutant indicators and principal component analysis.

Results and Discussion: As a result of multivariate statistical analysis, TOC was inflow at an average of 574.9 mg/L and treated at 58.2 mg/L. In the case of COD_{Cr}, COD_{Mn}, and BOD₅, the inflow was 1,644, 448.9, and 440.7 mg/L and was treated at 98.2, 39.7, and 10.8 mg/L. When evaluated based on effluent water quality standards, all of them satisfied the Region III standards, but were discharged at a relatively high level compared to the TOC concentration of sewage treatment plants effluent. As a result of comparing correlations between organic matter indicators through Pearson correlation analysis, the inflow raw water shows a high positive correlation with TOC:TCOD_{Cr} ($r=0.720$), TOC:TCOD_{Mn} ($r=0.636$), and TOC:TBOD₅ ($r=0.302$) showed low correlation. This is reason to be due to the fact that most organic substances in dyeing wastewater are non-degradable substances and have low biodegradability. As a result of principal component analysis of influent, primary treated, and final treated, three main components each (two for final treated) were extracted, with cumulative contribution rates of 80.1%, 83.2%, and 95.6%.

Conclusion: Because the properties of wastewater differ greatly depending on the type of leather and chemicals handled at the dyeing factory, the correlation between influent water was low, but the correlation between treated water and treated water was relatively high. The correlation between processes in wastewater treatment facilities also tended to increase toward later processes. It is believed that the above statistical analysis can be used as basic data for effective organic matter management.

Keywords: Dyeing wastewater, organic matter indicators, TOC, multivariate analysis

The Korean text of this paper can be translated into multiple languages on the website of <http://jksee.or.kr> through Google Translator.

† Corresponding author

E-mail: dcshin@daejin.ac.kr

Tel: 031-539-1956 Fax: 031-539-1630

© 2024, Korean Society of Environmental Engineers



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

연구논문

염색폐수 유기물 지표의 다변량 통계분석

조영범¹ · 안준수² · 김채호² · 신동철²

¹레오테크

²대전대학교 스마트건설환경공학부

목적: 2016년부터 방류수 수질기준의 유기물 지표로써 TOC(Total Organic Carbon)가 COD(Chemical Oxygen Demand)를 대체하여 관리하고 있다. 그러나 폐수처리시설의 공정별 유기물질 분포의 파악이 제대로 이루어지지 않아 안정적인 처리수질 확보에 어려움을 느끼고 있다. 따라서 본 연구에서는 염색폐수를 대상으로 원수와 1차 처리수, 2차처리수, 방류수의 TOC와 기존 유기물질 지표와의 상관관계를 파악하였다.

방법: 경기도 Y시에 위치한 염색폐수처리시설을 대상으로 각 공정별 시료를 주 2회, 총 24회를 채취하여 유기오염물 지표(TOC, COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅)를 분석하였다. TOC는 TOC-VCHP (Shimadzu, Japan)을 이용하여 NPOC(non-purgeable organic carbon)법으로 분석하였다. 분석 결과를 이용하여 염색폐수의 유기오염물질 특성을 분석하였다. 또한 SPSS를 이용하여 다변량 통계분석을 실시하여 유기오염물 지표간의 상관관계, 주성분 분석을 하였다.

결과 및 토의: 다변량 통계분석 분석결과, TOC는 평균 574.9 mg/L로 유입되어 58.2 mg/L로 처리되었다. COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅의 경우 1,644, 448.9, 440.7 mg/L로 유입되어 98.2, 39.7, 10.8 mg/L로 처리되었다. 방류수 수질 기준으로 평가하였을 때, 모두 III지역 기준을 만족시키고 있었으나 하수처리시설 방류수의 TOC 농도에 비해 상대적으로 높은 수준으로 방류되고 있다. Pearson correlation analysis를 통하여 유기물 지표간 단순상관성을 비교한 결과, 유입 원수는 TOC:TCOD_{Cr} ($r=0.720$), TOC:TCOD_{Mn} ($r=0.636$)으로 높은 양의 상관관계를 보이고 있으며 TOC:TBOD₅ ($r=0.302$)은 낮은 상관성을 보였으며 염색폐수내 유기물질이 대부분 난분해성 물질로 생분해성이 낮음에서 기인한 것으로 판단된다. 유입수와 1차 처리수, 최종처리수의 주성분 분석 결과, 각 3개(최종처리수는 2개)의 주성분이 추출되었으며, 누적 기여율은 80.1%, 83.2%, 95.6%를 차지했다.

결론: 염색 공장에서 취급하는 가죽의 종류와 약품 등에 따라 폐수 성상 차이가 심하기 때문에 유입수의 상관성은 낮게 나타났으나 처리수는 비교적 높은 상관관계를 보였다. 폐수처리시설의 공정별 상관성도 후단 공정으로 갈수록 높아지는 경향을 보였다. 위의 통계 분석은 효과적인 유기물질 관리를 위한 기초자료로써 활용이 가능할 것으로 판단된다.

주제어: 염색폐수, 유기물 지표, TOC, 다변량 분석

1. 서론

경기 북부 지역은 기업의 경제활동이 집중지역, 개발제한구역 등의 이유로 경기 남부 지역과 비교하여 상대적으로 발전 상태 낮은 상태이다. 입지 제한적 요소 때문에 대체로 제조업이 상당수를 차지하고 있는데 높은 부가가치를 가지는 섬유산업이 주를 이룬다.¹⁾ 경기 북부 지역 하천에서 지속적인 섬유 산업 발전에 따라 수질 오염, 토양오염 등 생태계 자체 자정 능력의 한계를 넘으며 환경오염 문제가 발생하고 있다.

한탄강은 임진강의 제1지류로 임진강 수계 중 오염도가 가장 높은 유역이다. 한탄강 유역의 수질에 가장 큰 영향을 미치는 유입 지류로는 신천과 포천천이 있으며, 대부분의 오염원

은 생활계와 산업계로부터 발생하는 것으로 나타났다. 최근 들어 수질 오염에 대한 관심이 증대되어 수질 저감 대책이 활발히 진행되고 있는 대상 유역으로 2021년을 기준, 한탄강에 유입되는 일일 폐수발생량이 144,981 m³로 직접방류 사업장 788개소, 공공처리시설 유입 376개소이다. 한탄강의 색도와 관련하여 관심이 증대되어 2020년부터 수질 조사 사업 등을 추진하고 있으며 이와 관련하여 색도 및 COD 제거 등 다양한 연구가 진행 중이다.^{2,3)}

한탄강 색도에 영향을 주는 섬유 염색 업종 수는 343개로 전체의 29.5%를 차지하며, 전체 방류량의 70.1%를 차지한다.⁴⁾ 염색공장 폐수는 다양한 염료 등과 계면활성제 등이 보조제로 사용되며 미염착 염료로 인하여 착색도가 높은 폐수가

발생한다.⁵⁾ 이러한 염색공장 폐수는 폐수 성상이 다양하며 난분해성 물질이고 용해성 물질이며 중금속을 포함하여 독성을 가진 방향족 아민을 형성할 수 있는 잠재적 가능성 및 생물학적 처리의 제거효율이 낮다. 따라서 대부분 펜톤산화법을 이용하여 처리하고 있다.⁶⁾ 처리수의 COD농도가 60~70% 제거되는 비교적 안정적인 처리공법⁷⁾이지만 약품비가 많이 소모되고 슬러지를 과다 생산한다는 단점이 있다.^{8,9)}

난분해성 유기물질이 함유된 염색폐수는 고농도의 COD가 나타난다.¹⁰⁾ 또한 난분해성 유기물 전환과정에서 특정한 경우에 COD는 감소하고 BOD는 증가하는 등의 경우가 존재하여 유기물질의 농도는 펜톤산화 공정의 영향을 준다.¹¹⁾ 또한 2016년부터 폐수처리시설 방류수 수질기준을 COD에서 TOC로 대체하여 관리하고 있어 TOC와 다른 유기물 지표와의 연관성을 검토할 필요가 있다. 기존의 연구들은 처리기술에 초점을 맞추어 처리효율을 검증하는 연구가 대부분이었으며 유기물의 거동, 상관관계를 분석하는 연구가 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 염색폐수로 인한 한탄강의 효율적인 색도 및 오염물질 제거를 위해서 다변량 통계분석을 통하여 유기물질 발생 현황 및 특징, 지표간 상관관계를 분석하였다.

2. 실험방법

2.1. 염색폐수처리시설 현황 및 시료

본 연구에 사용된 시료는 경기도 Y시에 위치한 염색폐수처리시설을 대상으로 채취하여 진행하였다. 처리시설 용량은 2,000 m³/일, 처리공정은 응집침전 → 생물학적처리(A/O 공정) → 화학적처리(펜톤산화)로 이루어져 있다(Fig. 1).

유기오염물질 및 TOC의 분포 및 상관관계를 분석하기 위하여 유입수, 1차 처리수, 2차 처리수, 방류수를 대상으로 선행장우가 없는 시점에서 주 2회, 총 24회 채취하여 분석하였다.

2.2. 분석항목 및 실험방법

채취한 시료는 TOC, DOC, POC, COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅를

분석하였다. COD_{Cr}은 Standard method 5220B(K₂Cr₂O₇ closed reflux method)로 분석하였으며 TOC는 TOC-VCHP (Shimadzu, Japan)을 이용하여 NPOC(non-purgeable organic carbon)법으로 분석하였다. 이외의 항목은 수질오염공정시험법을 기준으로 실시하였다. 입자성 유기탄소(POC)는 TOC에서 용존성 유기탄소를 제하여 산정하였다.

2.3. 유기오염 지표간 다변량 통계분석

유입수와 최종 처리수의 유기오염물질 간 다변량 분석을 위하여 SPSS Statistics 21을 사용하여 통계분석을 하였다. 차원이 다른 데이터를 변환하였으며 Shapiro-Wilk 기준으로 정규성 검정을 실시하여 데이터의 정규성 여부를 판단하였다. 정규성 검정을 통하여 유의확률을 분석하고 정규분포로 판단하였다. 유기오염 지표간 단순상관성을 파악하기 위하여 각 수질 분석 항목에 대하여 Pearson correlation analysis를 실시하였다. 또한 항목별 수질에 미치는 영향을 파악하기 위하여 유입수와 방류수의 수질 항목간 주성분 분석을 하였다. 본 연구에서는 다양한 주성분 분석 방법 중에서 고유값(eigenvalue)을 기준으로 판단하였으며, 고유값 1.0을 기준으로 하여 새로운 요인을 추출하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 염색폐수의 유기오염물질 특성

3.1.1. 유기오염물질 분포

유기오염물질의 분석결과, Fig. 2와 같이 나타났다. 유입수의 TOC 농도는 414.3~754.5 mg/L, 평균 574.9 mg/L로 나타났다. 물리·화학적 처리 공정에서 34%가 제거되어 평균 381.3 mg/L, 생물학적처리 공정에서 42.5% 제거되어 210.6 mg/L, 펜톤 산화공정에서 71% 제거되어 58.2 mg/L로 처리되었다.

유입수의 COD_{Cr}, COD_{Mn}, BOD₅의 평균 농도는 각각 1,644, 448.9, 440.7 mg/L이며 방류수는 98.2, 39.7, 8.8 mg/L로 나타났다. 제거율을 비교하면 94.0, 91.3, 98.0%가 제거되었다. 모

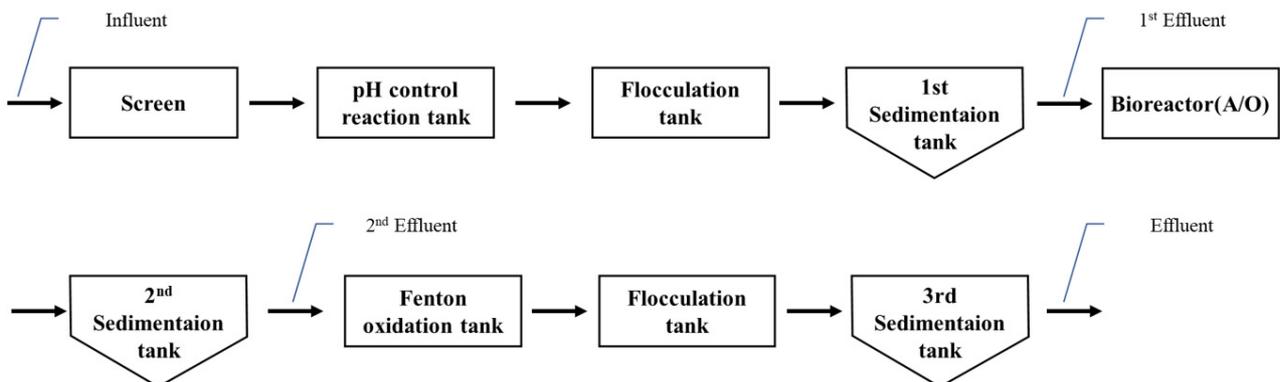


Fig. 1. Schematic diagram of dyeing wastewater treatment process.

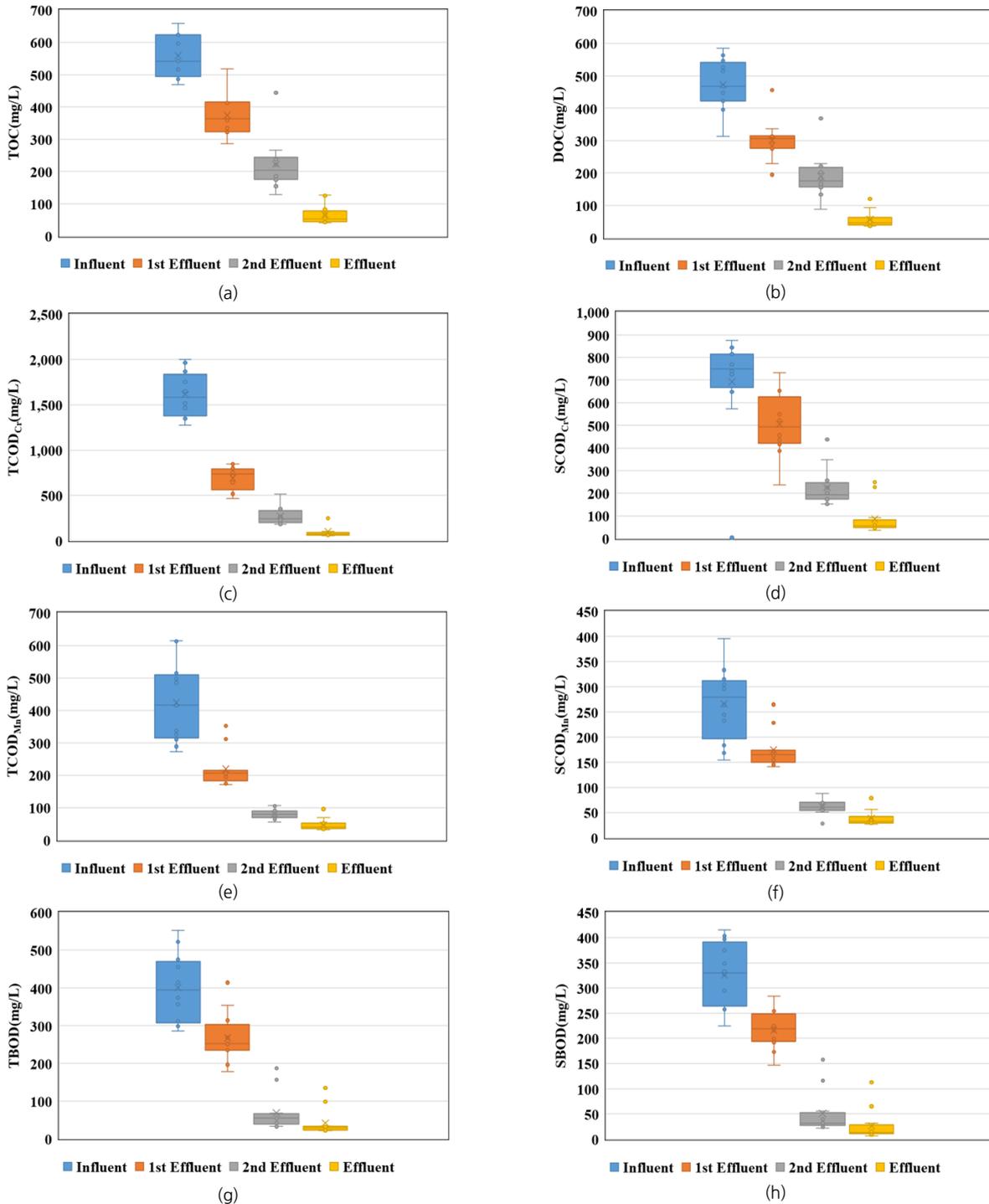


Fig. 2. variation in organic matter concentration by process (a) TOC, (b) DOC, (c) TCOD_{cr}, (d) SCOD_{cr}, (e) TCOD_{Mn}, (f) SCOD_{Mn}, (g) TBOD₅, (h) SBOD₅.

든 유기오염물질은 배출수 나지역 기준(1일 폐수배출량 2,000 m³/일 미만)을 만족시키고 있었으며 TOC 농도는 하수처리시설 방류수에 비해 상대적으로 높은 수준임을 보였다.

3.1.2. 공정별 TOC 분포

각 공정별 TOC 농도 분포를 분석한 결과, 유입수의 TOC,

DOC, POC 농도는 각각 574.9 mg/L(414.3~754.5 mg/L), 469.8 mg/L(275.5~584.6 mg/L), 105.1 mg/L(34.4~218.3 mg/L)로 나타났다. 최종 처리수의 TOC, DOC, POC 농도는 각각 58.2 mg/L(39.5~125.4 mg/L), 49.7 mg/L(35.4~92.5 mg/L), 9.5 mg/L(0.6~32.9 mg/L)로 나타났으며 유입수의 TOC는 농도변화가 크지만 최종 처리수의 TOC 농도는 변화폭이 크지 않은

Table 1. Correlation coefficients between water quality index of influent.

	TOC	DOC	POC	TCOD _{Cr}	SCOD _{Cr}	TCOD _{Mn}	SCOD _{Mn}	TBOD ₅	SBOD ₅
TOC	1								
DOC	.803**	1							
POC	.182	-.418*	1						
TCOD _{Cr}	.720**	.588**	.213	1					
SCOD _{Cr}	.407*	.167	.383	.782**	1				
TCOD _{Mn}	.636**	.618**	-.046	.530**	.410*	1			
SCOD _{Mn}	.576**	.594**	-.051	.605**	.408*	.769**	1		
TBOD ₅	.302	.257	.085	.150	.077	.527**	.276	1	
SBOD ₅	.176	.352	-.294	.075	.002	.211	.115	.387	1

*: p<0.05, **: p<0.01, p: significance level

것으로 나타났다. 다만 처리시설에서 약품 주입 오류로 인한 처리효율이 낮게 나타나는 경우가 두 번 측정되었다.

3.1.3. 용존성 유기오염물질의 비율

화학적 처리(펜톤산화) 공정의 효율을 파악하기 위하여 유기오염물질 중 용존성 물질의 비율을 분석하였다. 평균 비율을 분석한 결과, 유입수의 DOC/TOC는 0.82, POC/TOC는 0.18, DOC/POC는 0.24의 값을 나타냈다. 또한, 최종 처리수에서는 평균적으로 DOC/TOC는 0.86, POC/TOC는 0.14, POC/DOC는 0.17였으며 입자성 물질보다 용존성 물질의 비율이 높은 것으로 나타났다. 유입수내 용존성 물질의 비율이 높아 처리공정을 거친 후에도 용존성 물질의 비율이 크게 증가하지 않았다.

최종처리수 내 SCOD_{Cr}/TCOD_{Cr}, SCOD_{Mn}/TCOD_{Mn}, SBOD₅/TBOD₅의 값은 각각 0.80, 0.81, 0.59로 DOC/TOC와 비슷한 비율을 나타냈다. 그러나 다른 유기물질에 비해 DOC/TOC 비해 변동 폭은 더 큰 것으로 나타나 최종 처리수 내 유기물의 특성에 따라 발생하는 산화율의 차이가 총 유기물의 농도에 영향을 주는 것으로 판단된다.

3.2. 다변량 통계분석 결과

Shapiro-Wilk 기준으로 정규성 검정을 실시하고 그 결과, 유의확률(p)이 0.05이상이면 정규성 분포로 판단한다.^{12,13)} 상관관계 및 주성분분석을 위하여 변환된 변수값을 Z-score로 표준화(평균 0, 표준편차 1)를 실시하였다.

3.2.1. 상관관계 분석

유입수의 상관관계 분석결과, TOC와의 상관계수가 TCOD_{Cr} (r=0.720), TCOD_{Mn} (r=0.636)와 높은 상관관계를 보였으며 유입수 내 유기물질이 대부분 난분해성 물질로 생분해도가 낮기 때문에 TBOD₅ (r=0.302)는 COD에 비해 상대적으로 낮은 상관관계를 보였다.

처리수의 경우, TOC와 TCOD_{Cr} (r=0.452), TCOD_{Mn} (r=0.645) 뿐만 아니라 TBOD₅ (r=0.567)와 양의 상관관계를 나타내고 있다. 처리수의 유기물질 농도는 대부분 비슷한 농도 편차를 보여 항목간 양의 상관관계로 표현된 것으로 보인다. 또한 처리공정을 통하여 난분해성 유기물질이 감소되고 유기물질의 생분해도가 증가된 결과로 사료된다.

3.2.2. 주성분 분석

Varimax 회전을 이용하여 유입수와 처리수 그리고 펜톤산화 공정 주성분을 파악하기 위하여 2차 처리수(펜톤산화 전)의 요인수 결정을 실시한 결과, 주성분의 초기 고유값과 누적 백분율은 **Table 2**과 같다.

유입수 수질 항목 중 고유값이 1 이상인 3개의 요인 누적 기여율은 80.1%이며 최종 처리수의 2개의 요인으로 누적 기여율은 95.6%로 나타났다. 2차 처리수의 요인수는 2개이며 누적 기여율은 83.2%로 나타났다.

위 분석에 대한 타당성 검토를 위하여 Kaiser-Meyer-Olkin과 Bartlett's test를 실시하였다. KMO test는 샘플에 대한 변수의 크기가 타당한지를 파악하는 기준으로 값이 1에 근접할수록 요인분석의 타당성이 높은 것이다. Bartlett's test는 변수

Table 2. Initial eigenvalues and cumulative percentage of components.

Component	Influent			2nd Effluent			Final Effluent		
	Eigen values	% of variance	Cumulative %	Eigen values	% of variance	Cumulative %	Eigen values	% of variance	Cumulative %
1	4.665	51.834	51.834	5.655	62.837	62.837	7.696	85.507	85.507
2	1.359	15.096	66.930	1.835	20.385	83.222	0.911	10.121	95.628
3	1.189	13.211	80.141	-	-	-	-	-	-

Table 3. Rotated factor matrix extracted using varimax rotation by factor analysis.

Variable	Influent			2nd Effluent		Final Effluent	
	F1	F2	F3	F1	F2	F1	F2
TOC	.855	.044	.114	.946	.009	.827	.523
DOC	.756	.059	.554	.943	-.067	.928	.285
POC	-.083	-.046	-.950	.739	.319	.176	.979
TCOD _{Cr}	.851	-.032	-.414	.841	.167	.845	.433
SCOD _{Cr}	.017	-.916	.073	.764	.320	.892	.350
TCOD _{Mn}	.828	.245	.201	.162	.966	.963	.183
SCOD _{Mn}	.648	.308	.128	.004	.896	.976	.140
TBOD ₅	.594	.549	.238	.737	.643	.957	.254
SBOD ₅	.605	.670	.294	.715	.637	.980	.146

간 상관성을 검증하는 것으로 p 값이 0에 가까울수록 변수간 상관성이 존재하는 유의적 관계라고 할 수 있다. 본 연구의 KMO test 결과, 유입수는 상관성이 없는 것으로 나타났으며 2차 처리수는 0.569, 최종 처리수는 0.775 로 분석되었다. 또한, Bartlett's test의 p 값은 유입수는 검정 불가로 나타났으며 2차처리수는 0.001 이하로 나타나 모두 부성분 분석이 가능한 것으로 설명할 수 있다.

주성분 분석을 통하여 얻어진 인자부하량을 분석한 결과 **Table 3**와 같이 나타났다.

유입수의 주성분 분석 중 제1 요인은 TOC, DOC, TCOD_{Cr}, TCOD_{Mn}, SCOD_{Mn} 높은 양의 인자부하량을 보였다. 염색공정 특성상 고농도 유기오염물질과 색도 유발 물질의 영향을 나타내는 항목들이 주성분으로 나타낸 것으로 볼 수 있다. 제2요인은 SCOD_{Cr}, TBOD₅, SBOD₅로 용존성 유기물질에 기인한 것으로 나타났으며 제3요인은 POC로써 날염 공정에서 발생하는 입자성 유기물질의 영향에서 기인한 것이다.

2차 처리수의 주성분 분석의 제1요인은 TOC, DOC, POC, TCOD_{Cr}, SCOD_{Cr}, TBOD₅, SBOD₅로 폐수처리시설을 통해 안정적으로 제거되어 농도 편차가 작은 생분해성 유기오염물질을 나타낸 것이다. 제2요인은 TCOD_{Mn}, SCOD_{Mn}으로 잔류하는 난분해성 물질에서 기인한 것으로 산화력이 큰 COD_{Cr} 이 아닌 COD_{Mn}이 분류되었다.

최종 처리수는 POC를 제외한 유기오염물질 지표가 제1요인으로 나타났으며 POC만 제2요인으로 나타났다. 제1요인에서 같은 종류의 유기물 지표 중 total 항목보다 soluble 항목이 높은 양의 값을 나타내고 있으며 제2요인이 POC만 분류된 것으로 보아 펜톤산화 공정을 거쳤기에 나타난 현상인 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구는 염색폐수의 유기오염물질 간의 상관관계를 파악하여 처리공정(펜톤산화, 여과 등) 구성을 함에 있어 참고자료로 활용하고 궁극적으로 방류수역의 수질오염을 방지하기 위

한 자료로 활용하기 위하여 통계분석을 실시한 결과, 다음과 같이 나타났다.

- 1) TOC는 574.9 mg/L로 유입되어 58.2 mg/L로 처리되어 89%가 제거되었다. 기타 유기오염물질은 배출수 나지역에 만족하는 수질로 처리되었다.
- 2) 처리수의 평균 용존성 물질 비율은 DOC/TOC 0.86, POC/TOC 0.14, POC/DOC 0.17로 나타나 입자성 물질보다 용존성 물질의 비율이 높은 것으로 나타났다. 또한 다른 유기물질에 비해 DOC/TOC 비해 변동 폭은 더 큰 것으로 나타났다.
- 3) 유입수와 2차 처리수, 최종 처리수의 주성분을 실시한 결과 유입수의 주성분은 타당성이 부족한 것으로 나타났으나 처리수는 주성분이 용존성과 입자성, 난분해성의 지표별로 분류되어 나타났다.

염색 공장에서 취급하는 가축의 종류와 약품 등에 따라 폐수 성상 차이가 심하기 때문에 유입수의 상관성은 낮게 나타났으나 처리수는 비교적 높은 상관관계를 보였다. 폐수처리시설의 공정별 상관성도 후단 공정으로 갈수록 높아지는 경향을 보였다. 특히 1요인으로 분류된 용존성 유기지표의 상관성이 높은 이유는 대상 처리시설 공정 중 펜톤산화 공정이 포함되어 있기 때문으로 판단된다. 본 연구 결과는 염색폐수와 관련된 공정 구성 및 평가에 참고자료로 활용이 가능할 것으로 판단되며 기존 염색폐수 처리시설의 공정을 파악하여 비교 분석할 필요가 있다.

Acknowledgement

본 연구는 국토교통부 국토교통 DNA플러스 융합기술대학원 육성사업의 연구비 지원(과제번호 RS-2023-00250434)에 의해 수행되었습니다.

References

1. J. N. Choi, Analyzing the Industrial Structure of the Nothem

- Gyeonggi-Do, Korean policy sciences review, 9(1), 149-167 (2005).
2. M. J. Kim, S. H. Han, Colour Removal from Dyestuff Wastewater by Micro Bubbles Flotation Process, *Applied Chemistry for Engineering*, 33(6), 606-612(2022).
 3. D. H. Park et al, COD and Color Removal Characteristics of Textile Dyeing Wastewater by the PEMT-MBBRs Process with the Variations of Aerobic-Anaerobic and HRT, *J. Korean Soc. Environ. Tec.*, 22(3), 221-227(2021).
 4. E. H. Jeong et al, Hantan Watershed Water Quality Assessment Report (1st Report 2020-2021)
 5. H. J. Lee, The Dyeing & Finishing Industrial and Dyeing Waste Water Treatment Technology for Green Textile. *Fashion Information and Technology*, 7, 59-64(2010).
 6. Y. G. Park, Treatment Study of Textile Wstewater by Fenton's Oxidation, *J. Korean Sanitaitaion*, 15(4), 20-25(2000).
 7. J. S. Ann et al, A study on the dye wastewater treatment by Fenton oxidation process, *J. Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 12(9), 4274-4282(2011).
 8. S. H. Lee et al. Enhancement of Treatment Efficiency for Dyeing Wastewater by Feton Oxidation Mehods, *J. KSEE*, 25(1), 87-93(2003).
 9. J. O. Kim et al, Treatment of Refractory Dye Wastewater Using AOPs, *J. Korean Geoenvironmental Society*, 7(3), 21-29(2006).
 10. J. Y. Lee et al, A Study on the Treatment of Wastewater form small-scale dyehouse, 2002 Spring International Conference of Korean Society for Environmental Health, 8, 23-25(2002).
 11. K. H. Lee et al, Fenton's Reagent Oxidation of Refractory Organics in Petrochemical Plant Effluent, *J. Korean Environmental Sciences Society*, 5(1), 51-59(1996).
 12. R. Sridhar, V. Sivakumar, J.P. Maran, K. Thirugnanasambandham. Influence of operating parameters on treatment of egg processing effluent by electro-coagulation process. *International journal of Environmental Science and Technology* 11(6), 1619-1630(2013).
 13. Mohammad Nourani, Majid Baghdadi, Mohammad Javan, Gholamreza Nabi Bidhendi. Production of a biodegradable flocculant from cotton and evaluation of its performance in coagulation-flocculation of kaolin clay suspension: Optimization through response surface methodology (RSM). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 1996-2003 (2016).

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Authors and Contribution Statement

Youngbeom Cho

LEOTEK Co., Ltd., Team Leader, ORCID[®] 0009-0009-3433-6462: Data curation, Data analysis, Writing-original draft

June-shu Ahn

Department of Smart Construction and Environment Engineering, Daejin University, professor, ORCID[®] 0009-0007-9307-930X: Writing-review, Validation

Chae ho kim

Department of Smart Construction and Environment Engineering, Daejin University, master's course, ORCID[®] 0009-0005-9961-5041: Visualization, Writing-review and editing

Dong chul Shin

Department of Smart Construction and Environment Engineering, Daejin University, professor, ORCID[®] 0000-0002-1658-6646: Conceptualization, Data analysis, Supervision, Writing-review