

Full-scale EFC (Electric Fume Collector)를 활용한 텐타공정 배출가스 정화 및 오일 회수

황열순, 박희재<sup>†</sup>, 정구회<sup>†</sup>, 김덕현<sup>‡</sup>, 나병기\*

충북대학교 화학공학과  
361-763 충북 청주시 흥덕구 개신동 12  
<sup>†</sup>시흥환경기술개발센터  
429-793 경기도 시흥시 정왕동 2121  
<sup>‡</sup>한국산업기술대학교 생명화학공학과  
429-793 경기도 시흥시 정왕동 2121

(2011년 8월 6일 접수; 2011년 9월 4일 1차 수정본 접수; 2011년 9월 23일 2차 수정본 접수; 2011년 9월 24일 채택)

Full-scale EFC Study on Oil Recovery and Reuse from Discharge Gas of Tenter Facility in Textile Industry

Yeal Soon Hwang, Hee Jae Park<sup>†</sup>, Gu Hoi Chung<sup>†</sup>, Duk Hyun Kim<sup>‡</sup>, and Byung-Ki Na\*

Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University, 12 Gaesin-dong, Heungduk-gu, Chungbuk 361-763, Korea  
<sup>†</sup>Siheung Environmental Technology Development Center, 2121 Jeongwang-dong, Siheung-si, Gyeonggi-do 429-793, Korea

<sup>‡</sup>Department of Chemical Engineering & Biotechnology, Korea Polytechnic University, 2121 Jeongwang-dong, Siheung-si, Gyeonggi-do 429-793, Korea

(Received for review August 6, 2011; 1st Revision received September 4, 2011; 2st Revision received September 23, 2011; Accepted September 24, 2011)

요 약

섬유 염색 산업은 공장 주변의 주민들이 악취로 인하여 고통을 받고 있으며 반드시 해결해야할 대기오염 문제이며, 특히 텐타공정에서 발생하는 백연과 악취를 저감하여야 한다. 섬유 염색 산업의 주된 대기 오염물질은 탄화수소로 이루어진 유연제, 가스제, 발수제등을 사용하는 후처리 공정에서 주로 발생한다. 화학물질이 처리된 섬유를 텐타공정에서 건조하는 동안 섬유에 포함된 오염물질들이 기화하여 대기로 배출된다. 백연은 주로 1 마이크로 미만의 작은 고상 혹은 액상물질로 이루어져 있으며, 텐타공정에서 발생된 오염물질 분자들이, 이들 입자에 붙어서 상당히 먼 거리까지 이동하며 악취를 유발하게 된다. 텐타공정의 악취를 줄이는 가장 효과적인 방법은 이러한 미세한 오일미스트를 제거하는 것이다. 본 연구에서는 700 CMM의 Full-scale EFC (Electric Fume Collector) 운전을 통하여, 악취 및 백연이 효과적으로 제거되었으며 많은 양의 오일을 회수 할 수 있었다.

주제어 : 섬유염색, 악취, 오일미스트, 텐타(다림질) 공정, EFC

**Abstract :** The textile industry is suffered from air pollution problems which must be resolved. In particular, white smoke and odor after the tenter process require abatement. The major air pollution problem in the textile industry occurs during the finishing stages, where various chemicals are used for coating the fabrics. Lubricating oils, plasticizers, and water repellent chemicals are the fabric treatment chemicals. The coated fabrics are cured by heating in tenter facility. In this process, most of air pollutants emitted into the air. White smoke is basically made up of tiny solid or liquid particles of VOCs less than one micron in size. The oil mist can be carried over long distance from their point of origin. The most effective method of removing odor from tenter process is to get rid of tiny oil mist at the emitted gas. For this reason, the full-scale EFC (Electric Fume Collector) of 700 CMM was tested for removing odorous substances emitted from tenter facility. As a result of this study, odor and white smoke can be eliminated effectively and quite large amounts of oil can be recovered.

**Keywords :** Textile, Odor, Oil mist, Tenter Process, EFC

1. 서 론

경기도 시화 반월 산단의 경우 악취 저감을 위해 지난 수년간 지자체와 전문연구기관을 중심으로 적극적인 노력을 기울인 결과 지역 생활환경이 대폭 개선되었지만 일부 업종에 있

\* To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: nabk@chungbuk.ac.kr

어서는 여전히 악취를 완전히 제거하지 못하여 쾌적한 생활 환경을 저해하고 있으며, 시화산단 민원의 주요 원인이 되고 있다.

이러한 대표적인 예가 시화반월 산단에 위치하고 있는 섬유 염색업종이다. 섬유 염색업종은 생산특성상 다량의 오염 물질을 배출하는 사업장으로 알려져 있다. 종래에는 폐수의 배출과 처리가 관심사였으나 최근 들어 생활수준이 향상됨에 따라 대기 오염물질 및 악취의 발생까지도 필수적으로 처리해야 하는 상황에 이르렀다. 외국의 경우에도 섬유업체로부터 대기로 배출되는 오염물질의 양에 대한 다양한 연구가 진행되고 있고, 이를 방지하기 위한 다양한 논의들이 진행되어 오고 있다[1-4].

2008년 시흥환경기술개발센터의 전수조사결과 염색업종은 시화산단에 40개소, 반월산단에 80개소가 소재하고 있으며, 이 중에서 솜 및 염색가공업체가 33개소, 편조 원단 염색가공업체가 22개소, 기타 염색 및 정리업체가 14개소, 날염가공업체가 27개소로 분류된다. 주 생산품은 섬유 염색 및 가공, 직물염색, 나염 등이며, 주간만 가동하는 업체는 45%, 주야간 모두 가동하는 업체는 6%이며, 24시간 쉬지 않고 가동하는 업체는 59%나 되는 것으로 나타났다.

염색업종은 원단을 가공하는 업종으로 염색 및 가공 중에 사용되는 약품 또는 원단에 있던 물질들이 약품에 의해 휘발되면서 악취가 발생한다. 염색공장에서 발생하는 복합악취의 특성은 다림질 냄새, 싼 냄새, 탄 냄새 등이었고 주된 기여를 하는 개별악취의 원인물질은 octanal, nonanal 등으로 보고되었다[5]. 일반적인 섬유 업종의 악취배출공정은 날염, 염색, 정련, 염료 배합, 텐타공정 등이 있는데, 이 중 주요 악취 배출공정은 텐타공정으로 알려져 있다.

시화 반월산단 내 염색업종의 텐타시설은 186개이며, 텐타 시설 후단에 연결된 방지시설로 배출되는 총 배기가스량은 약 55,718 m<sup>3</sup>/min이다. 텐타 및 코팅기에서 배출되는 오염물질은 사용목적이 다른 관계로 다소의 차이는 있을 수 있으나 배출오염원과 배출상태는 거의 유사하다. 염색업종의 특성상 다량으로 배출되는 고온의 열풍과 섬유에서 탈리된 분진과 함께 악취를 유발하는 오염물질들이 백연의 형태로 인근 주거지역으로 확산됨으로써 주민들의 민원제기가 끊이지 않는 실정이다[6].

시화산단내 염색업종의 텐타시설은 29개 업체에 43기가 설치되어 있으며, 텐타에서 배출되는 가스를 처리하기 위한 방지시설은 대부분 흡수에 의한 시설(이하 흡수탑)이 운전되고 있다. 염색업종의 공정 중에서 사용되는 각종 유연제, 대전방지제 등은 텐타의 고온처리에 의해 미세한 오일미스트 형태로 배출되는데, 이 오일미스트로부터 유발되는 악취는 날씨에 따라 주기적으로 반복되고 있으며, 산단 주변 대기오염의 주범이 되고 있다.

염색업종 텐타시설에서 발생하는 높은 온도의 배출가스는 오일미스트를 함유한 백연이 만들어져서 흡수탑 배출구를 통해 오염물질이 지속적으로 배출되고 있다. 백연에 함유되어 있는 오일미스트는 불용성이기 때문에 흡수탑 세정수에 의해

서 단지 응축만 되어 방지시설 주변이 기름띠를 형성하고 있으며, 또 다른 주변 환경오염을 야기하고 있기에 흡수탑을 방지시설로 사용하는 것은 부적절한 것으로 판단된다.

그러나 염색업종 대부분 업체들은 거의 획일적으로 흡수탑을 설치 및 운영하고 있으며, 이러한 문제점을 모든 업체가 공유하고 있어 산업단지 내에서 필히 해결해야 할 과제로 남아있다. 또한 설치된 시설이 용량부족, 관리소홀 및 효율저하로 배출되는 오염물질을 효과적으로 제거하지 못하게 된 노후 시설을 교체할 때도 반복적으로 흡수탑을 설치함으로써 악취 문제를 지속적으로 야기하는 것으로 판단 된다. 이와 같이 현재 염색업종에 설치한 대부분의 방지시설은 운전 시 다양한 문제로 인해 제 성능을 발휘하지 못하고 있기 때문에 텐타공정에서 발생하는 오일미스트와 악취 저감을 위한 효율적인 처리방안 수립이 꼭 필요한 상황이다.

흡수탑에서 배출되는 배출가스의 백연중에는 수증기와 오일미스트가 함께 존재하고 있다. 이 중에서 수증기는 흡수탑의 배출구에서 조금만 지나면 바로 없어지지만 오일미스트는 희미하지만 매우 오랫동안 꼬리를 형성하고 있으며, 거의 없어지지 않고 먼 거리를 이동하게 된다. 실제로 시화 반월산단의 섬유 염색 업체들이 밀집해 있는 지역에서는 희미한 안개가 항상 퍼져 있으며, 매캐한 냄새가 많이 나고 있으며, 이는 오일미스트 때문으로 판단된다.

이러한 문제를 해결하고자 습식전기집진 원리를 이용한 EFC (Electric Fume Collector)의 pilot test의 선행 연구를 통하여 텐타공정의 악취와 오일미스트를 효과적으로 저감할 수 있음을 확인하였다. Pilot 장치는 처리용량이 50 CMM이었으며, 시화공단의 섬유업체의 스크리버에서 배출되는 가스를 일부 사용하여 실험을 수행하였다.

본 연구에서는 시화공단의 다른 섬유업체의 스크리버를 대체하는 full-scale test를 통하여 섬유 염색업체 텐타공정에 의한 오염 문제 해결의 대안을 제시하고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 섬유 염색 업종 공정 개요

섬유 염색 업종이란 소비자의 기호에 맞게 섬유소재인 사 또는 직물에 물리적·화학적 처리로 색상, 촉감, 디자인 및 성질변화 등의 기능을 부여하는 업체들을 말하며, 크게 전처리 공정, 염색공정, 후처리공정으로 나뉘어 작업이 이루어진다.

먼저 염색 전처리공정은 원료입고 및 저장, 투입, 혼합, 발효, 정련, 표백, 머서화 가공 및 알칼리 감량 공정으로 이루어져 있고, 염색공정은 방법에 따라 침염, 나염, 사염 등으로 나뉘고 염색되어지는 섬유에 따라 셀룰로오스계 섬유에 의한 염색, 동물성 섬유에 의한 염색, 합성섬유에 의한 염색, 반합성 섬유에 의한 염색으로 구분된다.

마지막으로 후처리 공정은 텐타공정, 마무리 열처리공정, 제품검사 및 제품출하로 이루어져 있다. 그 중 마무리 열처리 공정은 염색이 완료된 섬유를 텐타시설이라는 일종의 다림질 시설을 통해 건조시킨 동시에 열처리를 하는 공정이며, 이 공

Table 1. Properties of several fabric softeners

Materials	Flexibility	Slip	Hydrophilicity	Usability	Stability in yellowing	Foaming activity
Negative ion	+	++	++	-	++	-
Positive ion	+++	-	+++	+++	-	+
Dipolar ion	++	-	+++	+	-	-
Nonion	+	++	++	++	+	-
Polyethylene	+	+++	-	-	+	++
Silicon	+++	+++	-+	+++	+++(+)	++

정을 통해 섬유에 묻어있던 많은 오염물질이 대기로 배출되고 있다.

텐타공정은 염색한 원단을 건조시키는 공정으로써, 단순건조가 아니라 섬유유연제, 대전방지제, 발수제, 광택제 등의 약품을 혼합하여 염색된 섬유를 세탁하였을 때 수축 및 이완을 감안하여 건조 하는 공정이다. 나일론 섬유는 170~180 °C에서 30~60초 정도로 열처리를 하고 폴리에스테르섬유는 180~190 °C에서 30초~60초 정도로 열처리를 한다.

유연제를 원료로 하는 유연가공은 매우 중요한 화학적 후처리 가운데 하나로써, 유연제를 사용하여 유연가공 처리하면 섬유자체의 고유한 부드러운 특성을 부여할 수 있으며, 부품성, 대전방지성, 봉제성이 동시에 개선되는 효과가 있다. 텐타공정에서 사용되고 있는 유연제의 종류 및 특성은 Table 1과 같다.

## 2.2. 연구 대상 섬유업체 현황

Full-scale EFC를 설치하고자 하는 업체는 섬유원단을 염색 및 가공하는 전문업체로 시화산업단지 내에 위치하고 있다. 약취관리지역으로 지정된 산업단지 내의 사업장 주변에는 다양한 사업장이 밀집되어 있고, 인근 주거지역과는 직선거리로 약 2.7 km 가량 떨어져 있어 사업장의 악취에 대한 관리가 필요한 것으로 나타났다.

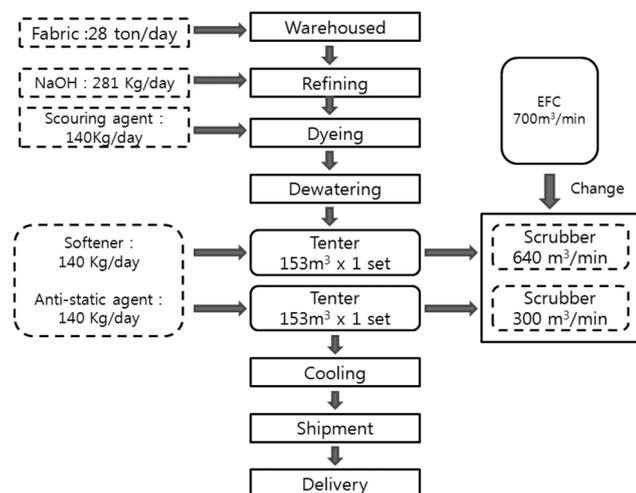


Figure 1. Process of textile production.

대상 업체인 S사는 Figure 1과 같이 염색, 정련, 탈수공정, 염료배합 및 보관시설, 텐타(다림질)시설의 과정을 통하여 제품을 생산하고 있으며, 하루 평균 28톤의 원단이 텐타시설에서 처리되고 있다. 입고된 원단은 약품처리의 정련공정을 거쳐, 염색가공이 진행되고, 염색공정이 끝나면 탈수공정을 지나 텐타 공정을 거치는데 이때 사용되는 유연제는 일반유연제, 실리콘 유연제, 대전방지제, 발수제 등이 사용되고 있다.

텐타(다림질)시설에 열을 공급하기 위해 현재 S사에서는 열매체식과 직화식 보일러를 사용하고 있다. 열매체식 보일러는 열매유를 승온시켜(260 °C) 배관을 통해 텐타시설의 라디에이터에 열을 공급하고, 라디에이터는 텐타기의 내부를 210 °C로 유지시키며 통과하는 원단을 건조시킨다. 직화식 보일러는 가스버너로 직접 열을 공급하며, 열을 Chamber에 통과시켜 텐타내부를 적정온도(210 °C)로 유지하면서 텐타기 내부에서 열을 발생시켜 원단을 건조시킨다. 직화식 보일러로 열을 공급받는 텐타에서 배출되는 가스는 풍량 300 m<sup>3</sup>/min의 흡수탑, 열매체식 보일러로 열을 공급받는 텐타에서 배출되는 가스는 풍량 640 m<sup>3</sup>/min의 흡수탑에 각각 연결되어 처리되고 있다.

또한 각각의 텐타시설 후단(흡수탑 전단)에는 열교환기 2기가 운영되고 있는데, 텐타시설에서 발생하는 열은 텐타의 위치마다 다르지만 170~210 °C 정도의 열이 발생하여 열교환기로 유입되고 있다. 열교환기 출구온도는 약 140 °C이며 세정식 흡수탑으로 유입시의 온도는 약 100~110 °C 수준이다. 고온의 배기가스가 세정식 흡수탑을 통과하면서 흡수탑 배출구에서는 지속적으로 백연의 형태로 오염물질이 배출되고 있었다.

## 2.3. Full-scale EFC 공정 소개

습식전기집진기는 매우 작은 입자들을 전기 대전의 원리를 이용하여 분리하는 장치이다. 작은 입자들이 포함된 배출가스에 고전압을 걸어주면, 플라즈마가 발생한다. 플라즈마는 전자와 양이온으로 구성되어 있으며, 전자와 충돌한 입자들은 정전기를 띄게 되며, 이 입자들이 한쪽 전극에 끌려서 붙게 된다[7,8].

Full-scale EFC는 습식전기집진기의 원리를 이용한 장치로 Figure 2와 같이 “물 스프레이부 - 전기집진부 - 오일회수부”의 구성을 하고 있으며, 700 m<sup>3</sup>/min의 용량으로 S사에 설치된 2기의 텐타공정으로부터 배출되는 가스를 모두 처리할 수 있다.

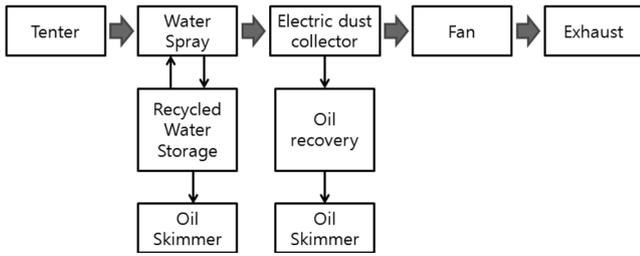


Figure 2. Schematic diagram of Full-scale EFC.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 유연제 특성 분석 실험

섬유 염색업종에서 생산되는 대부분의 섬유제품은 유연제를 사용하여 처리한다. 거의 대부분의 유연제 분자는 친수성 부분과 소수성부분으로 구성되어 있고, 계면활성제(surfactant)로 분류되며 섬유표면에 농축된 상태로 존재한다. 유연제는 대개 고형분 20~30% 에멀전(emulsion) 상태로 판매되며, 유연제 분자는 전형적으로 탄소원자 16~22개인 긴 알킬기 혹은 가지형 알킬기를 갖는데 대부분 탄소원자가 18개인 경우가 많다. 이와는 달리 예외적으로 실리콘(silicon), 파라핀(paraffins), 폴리에틸렌(polyethylene)은 특수한 유형에 속하는데, 오늘날 염색업종에서 사용되는 유연제의 30%는 실리콘계 유연제이다.

실리콘 유연제는 높은 유연성, 독특한 촉감, 높은 평활성, 봉제성, 탄력성, 구김회복성, 내마모성, 고온에 견디는 내열성, 내세탁성을 발휘한다. 이러한 특성은 섬유표면위에 필름상의 가교결합을 형성하기 때문이며, 친수성으로부터 소수성에 이르기까지 다양한 기능을 부여할 수 있는 다양성을 갖는다. 이 유연제는 합성 과정에서 상당량의 휘발성 실록산 올리고머(siloxane oligomer)를 함유하고 있다. 이 물질은 휘발성 유화제와 함께 텐타 작업 시 배기공기에 포함되어 빠져나가게 되므로 공기오염문제를 일으킨다. 염색 가공에서 실리콘은 발수제, 탄성중합체 가공, 코팅 및 소포제 등으로 널리 사용된다. S사에서는 일반유연제와 실리콘계 유연제를 같이 사용하고 있고, 이들 두 유연제의 구성성분은 Table 2에 정리하였다.

시료를 가열하면서 끓는점의 범위에 따라서 발생하는 기체를 응축하여 회수하는 실험을 수행하였다. 실험결과 유연제 성분의 끓는점은 Table 3에서와 같이 60~120 °C 범위로 확인되었다. 끓는점의 범위가 3부분으로 나뉘어지므로 유연제에

Table 3. Result of fractional distillation experiment of fabric softener

Item	Distillation time and Recovery rate	Boiling point (°C)	Recovery (mL)	Notes
General Softener	A	106 (0.2 mL/min)	89~91	9.3
	B	80 (2.4 mL/min)	101~103	188.5
	C	80 (1.2 mL/min)	120~121	98.6
	Total			296.4

는 3가지 성분이 혼합되어 있다고 판단할 수 있다. 텐타시설 내부의 온도가 약 200~220 °C 수준으로 유지됨을 감안할 때, 섬유에 사용된 유연제 성분들이 텐타기 내부에서 대부분 기화되어 대기로 배출된다고 유추할 수 있다.



(a)



(b)

Figure 3. Wet-scrubber operation: (a) before EFC installation (white smoke emission), and (b) operation of EFC (no white smoke).

Table 2. Fabric softeners used in S textile company

classification	General Softeners	Silicon Softeners
Product	SONASOFT SP	SONASOFT NR
Components	(1) Distearyl amino amine acetate (2) Fatty acid ester (3) POE Alkyl ester (4) Polyalkyl {(n0alkyl)amino alkyl} Siloxane POE Alkyl ester	(1) Polyoxyethylene Alkyl Ester (2) Butyl Glycol (3) Polyalkyl {(n0alkyl) amino alkyl} Siloxane POE Alkyl ester

3.2. Full-scale EFC (Electric Fume Collector) 설치

본 연구의 Full-scale EFC Test의 대상 섬유 염색업체는 경기도 시흥시에 위치한 S사이며, 직화식 및 열매체식의 텐타기를 각각 1대씩 운용하고 있으며, 이에 대한 악취방지시설로 각각 300 및 640 CMM (m<sup>3</sup>/min) 규모의 세정식 흡수탑를 가동하고 있다.

텐타기 2대로부터 배출가스가 2기의 흡수탑로 유입되어 처리되고 있었으며, 텐타기로부터 열교환기를 거친 후 약 120 °C 이상의 고온의 가스가 유입되고 있어 Figure 3(a)에서와 같이 흡수탑 배출구에서는 백연이 계속 배출되고 있는 모습을 볼 수 있다. Figure 3(b)는 Full-scale EFC 설치 후의 가동 모습으로 텐타공정에서 배출되는 오염물질이 대부분 제거되어 백연이 배출되지 않음을 알 수 있다.

3.3. Full-scale EFC(Electric Fume Collector) Test 결과

(1) 기존 방지시설 악취 분석 결과

S사에 설치된 2기의 악취방지시설인 세정식 흡수탑 2기 (300 m<sup>3</sup>/min & 600 m<sup>3</sup>/min)에 대한 악취분석을 실시하였다. Table 4의 복합악취 분석결과에서 보듯이 직화식 텐타기 배출가스를 처리하는 흡수탑(300 m<sup>3</sup>/min)에서 상대적으로 높은 취기가 감지되는 것으로 나타났다.

특히 300 m<sup>3</sup>/min 흡수탑 배출구는 악취배출허용기준인 500 배를 크게 초과하고 있는 것으로 나타났으며, 600 m<sup>3</sup>/min 흡수탑 배출구에서도 허용기준을 초과하고 있어 시설의 교체 및 개선이 시급한 상황인 것으로 나타났다.

섬유업종의 텐타공정에서 배출되는 오염물질에는 가스 성분 외에도 오일, 레진, 타르, 먼지 등의 다양한 물질들이 포함되어 있다. 또한 다른 업종과 달리 섬유 업종의 배출가스는 상당히 멀리 퍼져나가는 백연현상을 보이고 있다. 이는 텐타공정의 특성상 고온의 가스가 저온의 공기와 만나서 생기는 온도차에 의한 수증기도 일부 존재하겠지만 배출가스 중에 포함된 오일성분 더 큰 이유인 것으로 판단된다.

오일성분은 악취를 유발하는데 일부 기여를 하고 있는 것으로 판단되지만 배출시설의 배출구에서 측정하는 분석방법이 없어 이에 대한 평가가 어려운 실정이다. 이에 본 연구에서는 작업환경 중의 금속가공유를 측정하는 용매추출 중량분석법을 응용하여 오일성분에 대한 배출량을 간접적으로 평가하고자 하였으며, 절대적인 평가보다는 상대적인 비교차원의 기초자료로 활용코자 하였다.

Table 4. Result of olfactory measurement of scrubber (Units : dilution rate)

Classification		1st	2nd	3rd	4th
300 m <sup>3</sup> /min Scrubber (direct firing)	inlet	10,000	10,000	14,422	14,422
	outlet	3,000	6,694	6,694	3,000
600 m <sup>3</sup> /min Scrubber (thermal oil)	inlet	669	1,000	-	10,000
	outlet	300	669	-	1,442

Table 5. Result of oil mist measurement of scrubber (Units : mg/m<sup>3</sup>)

Classification		1st	2nd
300 m <sup>3</sup> /min Scrubber (direct firing)	Outlet 1	0.042	0.056
	Outlet 2	0.042	0.017
	Average	0.042	0.037
600 m <sup>3</sup> /min Scrubber (thermal oil)	Outlet 1	0.137	0.148
	Outlet 2	0.160	0.103
	Average	0.149	0.126

Table 6. Result of olfactory measurement of EFC

Item	Before EFC dilution rate (times)	After EFC dilution rate (times)	Efficiency (%)
1st	1,442	448	70
2nd	3,000	300	90
3rd	3,000	448	85
4th	1,442	300	80
5th	2,080	300	86
Average	2,190	360	84

KOSHA CODE에 수록된 지침에 의해 분석한 오일성분의 분석결과는 Table 5에 정리하였다. 오일성분은 각 흡수탑의 배출구에서만 측정하였으며, 2개씩 시료를 채취하여 평균값을 구하였다. 오일성분은 600 m<sup>3</sup>/min의 흡수탑에서 더 많은 양이 배출되는 것으로 나타났으며, 오일성분 분석결과는 EFC 설치 후 시운전 결과와 비교함으로써 상대적인 저감률의 평가가 가능할 것으로 사료된다.

(2) Full-scale EFC 설치 후의 악취 분석 결과

EFC 설치 후 악취 처리 효율 및 오염물질 분석결과를 Table 6에 정리하였다. 5번을 측정한 복합악취의 평균값이 2190에서 360으로 감소하였으므로, EFC 가동 후 악취가 현저히 감소됨을 확인 할 수 있었다.

텐타기의 후단에서 발생하는 악취성분을 분석해 보면 octanal과 nonanal이 많이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이 두 물질은 미량이 포함되어 있어도 악취를 심하게 유발하므로, 이 물질을 제거하는 것이 악취방지에 효과적이다. 섬유 염색업종 5개 업체의 흡수탑과 EFC의 오염물질(알데히드류) 처리효율을 비교해 본 결과를 Table 7과 Table 8에 수록하였다. 흡수탑의 경우에는 전단과 후단에서의 octanal과 nonanal의 농도가 별로 차이가 없었다. 하지만 EFC의 경우에는 두 성분의 전단에 비해서 후단의 농도가 매우 낮게 나왔다. 이러한 결과에 비추어 볼 때 염색업종에 대한 방지시설로는 EFC가 적합한 것으로 판단된다.

KOSHA CODE에 수록된 지침을 통해 오일미스트를 분석한 결과는 Table 9와 같다. 기존 흡수탑에서는 오일미스트가 0.037~0.154 mg/m<sup>3</sup>이 검출되었지만 EFC 적용 후에는 0.003~

**Table 7.** Comparison table of octanal removal efficiency (Scrubber vs EFC)

Classification	Scrubber inlet (ppm)	Scrubber outlet (ppm)	Efficiency (%)	Classification	EFC inlet (ppm)	EFC outlet (ppm)	Efficiency (%)
A company	0.020	0.019	5	1st measurement	0.030	0.004	87
B company	0.070	0.066	6	2nd measurement	0.051	0.037	27
C company	0.006	0.004	33	3rd measurement	0.027	0.017	37
D company	0.012	0.012	0	4th measurement	0.010	0.007	30
E company	0.006	0.004	33	Average	0.030	0.020	45

**Table 8.** Comparison table of nonanal removal efficiency (Scrubber vs EFC)

Classification	Scrubber inlet (ppm)	Scrubber outlet (ppm)	Efficiency (%)	Classification	EFC inlet (ppm)	EFC outlet (ppm)	Efficiency (%)
A company	0.031	0.030	3	1st measurement	0.375	0.016	95
B company	0.133	0.128	4	2nd measurement	0.375	0.011	97
C company	0.014	0.014	0	3rd measurement	0.070	0.022	69
D company	0.024	0.023	4	4th measurement	0.039	0.016	59
E company	0.014	0.014	9	Average	0.210	0.020	80

0.020 mg/m<sup>3</sup>로 매우 낮게 검출되었다. 이를 통해 EFC에 의한 오일회수 효과를 간접적으로 확인할 수 있었으며, 이는 오일에 의한 백연현상을 저감하는데 큰 기여를 하는 것으로 판단되었다.

**Table 9.** Comparison table of oil mist removal efficiency (Scrubber vs EFC)

Classification	Analysis Results (Unit : mg/m <sup>3</sup> )	
	1st	2nd
300 m <sup>3</sup> /min Scrubber	0.042	0.037
	0.149	0.126
600 m <sup>3</sup> /min Scrubber		
700 m <sup>3</sup> /min EFC	0.003	

**Table 10.** Amount of oil recovery from EFC operation

	Water contents (%)	Recovered amounts (L)
1 month	24	3,123
2 months	22	4,352
Average	23	3,738

(3) Full-scale EFC 설치 후의 오일 회수 결과

EFC 설치 후 실제 오일 회수량은 Table 10에 정리하였다. 2개월 간 회수량으로 볼 때 월평균 3,738 L의 오일이 회수되었으며, 이를 연간으로 환산하면 약 44,850 L가 회수 되는 것으로 예상된다.

EFC 운전으로 회수된 오일의 재생유로서 사용 가능성을 확인하기 위하여 한국석유관리원에 의뢰하여 성분 분석을 실

**Table 11.** Analysis of recovered oil

Test item	Standards of refined oil	Analysis results	Units	Methods	
Flash point	over 40 °C	154.5	°C	KSMISO2719:2008	
Carbon residue	less than 4%	2.06	weight%	KSMISO10370:2006	
Precipitates	less than 1%	0.8	weight%	KSMISO9030:2008	
Ash	less than 1%	0.55	weight%	KSMISO6245:2008	
Sulfur	less than 0.55%	0.2	weight%	KSMISO8754:2003	
Metals	Cr	less than 5	1	mg/kg	Inductively coupled plasma
	Pb	less than 30	4	mg/kg	Emission spectroscopy
	Cd	less than 1	less than 1	mg/kg	
	As	less than 2	less than 1	mg/kg	
Total Heating Value		8,913	Kcal/L	KSM2057:2006	

Notes : diesel oil : 8,476 kcal/l, kerosene : 8,356 kcal/l, B-C : 9,203 kcal/l

시하였으며, 결과는 Table 11과 같다. 회수 오일의 성분은 인화점이 154.5℃로 나타났고, 회분이 0.55%, 그리고 황분은 0.2%가 포함되어 있는 것으로 나타났다. 이들 분석결과는 정제연료유 기준에 모두 만족하는 수치였으며, 금속분도 기준에 부합하는 결과를 보였다. 총 발열량은 8,913kcal/로 나타났는데, 경유나 보일러등유와 발열량이 유사한 것으로 나타났고, B-C유와도 유사한 수준임을 감안할 때 회수된 오일의 재활용이 가능한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

이상의 결과로부터 본 연구를 통한 Full-scale EFC Test로부터 기존 세정식 흡수탑을 EFC로 대체 할 경우 다음과 같은 환경적, 경제적 효과를 기대할 수 있다.

텐타공정 배출가스의 복합악취 및 백연을 90% 이상 제거하여 환경오염을 방지할 수 있다. 텐타공정 배출가스중의 미세한 오일미스트를 95% 이상 제거 및 회수하여 재활용함으로써 에너지 절약에 기여할 수 있다. S사의 텐타공정의 풍량을 700 m<sup>3</sup>/min이고 연간 오일회수량은 44,800 L/년이었다. 이를 시화반월공단 전체 섬유업종인 120개 업체의 텐타시설에 적용한다고 가정하여 환산하면, 연간 오일회수량은 3,566,000 L/년이다.

염색/ 섬유업종의 대표적 악취발생공정인 텐타시설 배출가스에 대한 방지시설을 세정식 흡수탑에서 EFC로 대체할 경우 섬유 염색공단의 공단의 고질적 악취 민원을 해결 할 뿐만 아니라, 청정산업단지의 이미지를 구축하는 효과가 있다.

#### 감사

이 논문은 2010년도 지식경제부에서 시행한 생태산업단지 구축사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry, EPA, Office of Research and Development, 1995 ; ATMI, Comments on draft document, 1997.
2. Smith, B., "Source Reduction by New Equipment. Presented at Pollution Resource Reduction in Textile Wet Processing," Raleigh, NC (may 23-24), 1989.
3. Goodman, G. A., Porter, J. J., and Davis, Jr., C. H., "Volatile Organic Compound Source Testing and Emission Control," Clemson University Review of Industrial Management and Textile Science (January), 1980.
4. Zeller, M. V., "Instrumental Techniques for Analyzing Air Pollutants Generated in Textile Processing," Textile Horizons (January), 1975.
5. Kim, M. G., "Identification of Individual Odor Characteristic and Odor-Active Compounds from a Dye Company," *Korean J. Odor Res. Eng.*, **8**(3), 144-150 (2009).
6. Yoo, E. C., and Kim, S. Y., "Study on the Improvement of Tenter Facility Occurred Frequent Odor Nuisance," *Annual Report of Busan Metropolitan City Institute of Health & Environment*, **15**(1) 167-176, 2005.
7. Song, H. K., Choi, J. W., Lee, H., and Na, B. K., "Preparation of Synthesis Gas from Methane in a Capacitive rf Discharge," *Clean Technology*, **12**(3), 138-144 (2006).
8. Kim, D. J., Nasonova, A., and Kim, K. S., "NO and SO<sub>2</sub> Removal by Dielectric Barrier Discharge-Photocatalysts Hybrid Process," *Clean Technology*, **13**(2), 115-121 (2007).