

석사학위논문

# 세탁업의 VOC 배출계수 개발

Development of VOC Emission Factor for Dry Cleaning Business

2018년 8월

세종대학교 대학원  
기후변화협동과정  
정 선 희

# 세탁업의 VOC 배출계수 개발

Development of VOC Emission Factor for Dry Cleaning Business

지도교수 전 의 찬

이 논문을 공학 석사학위논문으로 제출함

2018년 8월

세종대학교 대학원

기후변화협동과정

정 선 희

정선회의 석사학위논문을 인준함

2018년 8월

심사위원장 차재형 (인)

심사위원 전의찬 (인)

심사위원 김하나 (인)

## 국문초록

휘발성유기화합물(VOC)은 자체 독성으로 인해 인체에 유해할 뿐만 아니라 오존의 전구물질로서 주요 대기오염물질의 하나이다. VOC는 대기 중에서 오존 등 반응성이 큰 물질과 반응하여 초미세먼지로 전환됨으로써 대기오염에도 심각한 영향을 끼친다. 또한, IPCC에 따르면 VOC는 간접온실가스로서 기후변화에도 영향을 미친다.

VOC는 주로 산업 활동에 의해 발생하며, 우리나라의 경우 유기용제 사용에 의한 VOC 배출이 전체의 61.5%(2013년 기준)로 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 유기용제를 사용하는 산업 중 VOC를 대량으로 배출하는 건축 및 선박, 도장시설에 비해 세탁업에서 발생하는 VOC 배출량 산정 및 배출계수에 관한 연구가 미비한 실정이다. 하지만, 세탁업에서 사용되는 유기용제는 별도의 회수장치 없이 전량이 대기 중으로 배출될 뿐 아니라, 주로 인구가 밀집되어 있는 도시에 위치하고 있어 인체는 물론, 대기환경에 미치는 영향이 크다.

선진국의 경우, 배출 조건과 활동도에 따라 세탁업 VOC 배출계수를 다양하게 제시하고 있지만, 우리나라에서는 업소 기준 배출계수 한 가지만 제시하고 있다. 기존 배출계수(610.368 kg/업소·yr)는 14년 전에 개발되어 세탁업의 최근 현황을 반영하지 못하고 있으며, 배출 조건에 따라 세분되어 있지 않아 정확한 배출량 산정이 어렵다. 정확한 배출량 산정을 위해서는 배출 조건별로 세분된 배출계수가 개발되어야 한다.

세탁량이 다르면 세탁업의 VOC 배출량도 달라진다. 본 연구에서는 세탁량을 통계적으로 유의한 그룹으로 범주화한 후, 범주화한 그룹별로 배출계수를 개발하였다. 배출계수의 활동도로는 기존 VOC 배출계수의 활동도인 ‘업소’와 해외에서 주로 사용하고 있는 ‘세탁량’으로 하였다.

배출계수 개발에 필요한 유기용제 사용량 및 세탁량 등을 세탁업중앙회

의 협조를 얻어 전국의 505개 세탁업을 대상으로 조사하였다. 데이터 분석 및 세탁업 VOC 배출계수 개발에는 통계 프로그램 R 3.4.0과 SPSS 21을 사용하였다.

업소 기준 세탁업 VOC 배출계수는 ‘ $0 < \text{세탁량} \leq 5,000 \text{ kg/yr}$ ’ 범주의 세탁업에서는 ‘ $332.578 \text{ kg/업소} \cdot \text{yr}$ ’, ‘ $5,000 \text{ kg/yr} < \text{세탁량}$ ’ 범주의 세탁업에서는 ‘ $470.833 \text{ kg/업소} \cdot \text{yr}$ ’ 으로 개발되었다.

세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수는 ‘ $0 < \text{세탁량} \leq 5,000 \text{ kg/yr}$ ’ 범주의 세탁업에서는 ‘ $0.102 \text{ kg 용제 사용량/kg 세탁량}$ ’, ‘ $5,000 \text{ kg/yr} < \text{세탁량} \leq 8,000 \text{ kg/yr}$ ’ 범주의 세탁업에서는 ‘ $0.063 \text{ kg 용제 사용량/kg 세탁량}$ ’, ‘ $8,000 \text{ kg/yr} < \text{세탁량} \leq 14,000 \text{ kg/yr}$ ’ 범주의 세탁업에서는 ‘ $0.045 \text{ kg 용제 사용량/kg 세탁량}$ ’, ‘ $14,000 \text{ kg/yr} < \text{세탁량}$ ’ 범주의 세탁업에서는 ‘ $0.031 \text{ kg 용제 사용량/kg 세탁량}$ ’ 으로 개발되었다.

개발된 배출계수의 정확도를 분석하기 위해 표본 전체의 VOC 배출량을 산정하였다. 산정 결과, 업소 기준 VOC 배출계수를 이용하여 산정한 총 VOC 배출량은  $223,668 \text{ kg/yr}$ 이며, 세탁량 기준 VOC 배출계수를 이용하여 산정한 총 VOC 배출량은  $232,154 \text{ kg/yr}$ 이었다. 이는 표본의 VOC 총 배출량  $223,715 \text{ kg/yr}$ 의 각각 99.98%와 103.77%로서 두 배출계수를 이용한 배출량 모두 높은 정확도를 보였다.

**주요어 : 세탁업 VOC 배출계수, 업소 단위 세탁업 VOC 배출계수, 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수, 세탁업 VOC 배출량 산정**

# 목 차

## 제1장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적 .....	1
제2절 연구의 내용 및 범위 .....	4

## 제2장 이론적 고찰

제1절 휘발성유기화합물(VOC) .....	6
제2절 세탁업의 휘발성유기화합물(VOC) .....	9
제3절 국내외 세탁업 VOC 배출계수 .....	10
제4절 선행연구 분석 .....	20

## 제3장 세탁업의 VOC 배출계수 개발

제1절 세탁소 현황 조사 .....	25
제2절 대상시설 선정 .....	28
제3절 세탁업 VOC 배출계수의 통계적 검정방법 .....	29

## 제4장 세탁업의 VOC 배출계수 개발

제1절 세탁업 사용 용제 및 VOC 배출 .....	31
제2절 세탁업의 VOC 배출계수 산정 .....	34
제3절 세탁업 VOC 배출계수 분석 .....	52

## 제5장 결 론

제1절 연구 요약 .....	58
제2절 연구의 한계 및 시사점 .....	61

참 고 문 헌 .....	63
Abstract .....	66

## 표 목 차

〈표 2-1〉 VOC 광화학 반응식 .....	8
〈표 2-2〉 세탁시설 드라이클리닝 용제 기준(석유 및 석유대체연료 사업법) .....	9
〈표 2-3〉 기존 세탁업 VOC 배출계수 .....	10
〈표 2-4〉 미국 세탁시설의 연간 1인당 배출계수 (NMVOC) .....	12
〈표 2-5〉 미국 세탁시설의 연간 세탁량에 따른 배출계수 .....	13
〈표 2-6〉 유럽의 단순 세탁 배출계수 (Simple Methodology) .....	15
〈표 2-7〉 유럽의 상세한 세탁업 배출계수 (Detailed Methodology) .....	16
〈표 2-8〉 유럽 드라이클리닝에서의 Tier 1, Tier 2 NMVOC 배출계수 .....	17
〈표 2-9〉 호주 세탁량에 따른 세탁 배출계수 .....	18
〈표 2-10〉 호주 드라이클리닝의 용제 배출 매체별 배출 비율 .....	19
〈표 2-11〉 가정용 세탁업소의 배출총량(1회 건조시 · 건조기 1대) .....	21
〈표 2-12〉 세탁업 VOC 배출계수 선행연구 .....	24
〈표 3-1〉 예비 현황조사 .....	25
〈표 3-2〉 세탁업 현황조사표 .....	27
〈표 4-1〉 각국의 세탁 용제 사용비율 현황 .....	32
〈표 4-2〉 현황조사 결과요약 .....	35
〈표 4-3〉 changepoint에 따른 범주화 .....	37
〈표 4-4〉 집단의 연간용제 사용량에 대한 정규성 검정 .....	38
〈표 4-5〉 연간용제 사용량에 대한 Kruskal-Wallis test의 대응별 비교 .....	39
〈표 4-6〉 업소 기준 VOC 배출계수 개발을 위한 세탁량 범주 .....	40
〈표 4-7〉 업소 기준 배출계수 개발을 위한 범주의 정규성 검정 .....	40
〈표 4-8〉 Mann-Whitney U test 비모수 통계검정방법 결과 .....	41
〈표 4-9〉 회귀분석 결과 모형요약 .....	41

<표 4-10> 범주별 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수 .....	43
<표 4-11> 집단의 세탁량 기준 용제 사용량에 대한 정규성 검정 .....	44
<표 4-12> 세탁량 기준 용제 사용량에 대한 Kruskal-Wallis test의 대응별 비교 .....	45
<표 4-13> 세탁량 기준 VOC 배출계수 개발을 위한 세탁량 범주 .....	46
<표 4-14> 세탁량 기준 배출계수 개발을 위한 범주의 정규성 검정 .....	47
<표 4-15> 세탁량 기준 용제 사용량에 대한 Kruskal-Wallis test의 대응별 비교 .....	48
<표 4-16> 세탁량 기준 VOC 배출계수 더미 변수 작성 .....	49
<표 4-17> 세탁량 기준 VOC 배출계수 더미 변수 회귀분석 결과 모형요약 .....	50
<표 4-18> 범주별 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수 .....	51
<표 4-19> 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수 .....	53
<표 4-20> 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수 .....	55



## 그림 목 차

<그림 1-1> 연구 흐름도 .....	5
<그림 2-1> VOC의 오존생성기작 .....	7
<그림 3-1> 세탁업 VOC 배출계수의 통계적 검정 흐름도 .....	29
<그림 4-1> 석유계 세탁기의 용제 배출 공정 .....	33

# 제1장 서론

## 제1절 연구의 배경 및 목적

휘발성유기화합물(VOC, Volatile Organic Compound)은 일반적으로 상온·상압에서 대기 중에 가스 상태로 존재하는 탄화수소류를 의미한다. 대기환경보전법에서는 휘발성유기화합물을 “탄화수소류 중 석유화학제품, 유기용제, 그 밖의 물질로서 환경부 장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 것”으로 정의하고 있다(대기환경보전법 제 2조 10호, 2018년 1월 18일 시행).

VOC는 산업 부분에서 주로 발생하고, 최근 자동차 및 각종 화석연료의 사용 증가로 VOC의 배출량이 꾸준히 증가하고 있다. 우리나라 또한 VOC가 꾸준히 증가하고 있으며, 인위적 VOC 배출로 인한 간접 온실효과에 대한 비중이 2050년까지 계속 확대될 것으로 예상된다(환경부, 2009).

VOC는 그 자체의 독성 뿐 아니라 대기 중에서 광화학 반응을 통해 오존과 미세먼지 생성에 기여하는 등 환경과 인체에 끼치는 유해성으로 인해 전 세계적으로 배출량을 규제되고 있다. 2006년 유엔기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change)은 VOC를 간접 온실가스로 정의하고 6종의 온실가스와 함께 국가 인벤토리를 작성하여 보고하도록 요구하고 있다(UNFCCC, 2006).

우리나라의 VOC 관련 법규는 1995년 VOC 규제근거조항인 ‘대기환경보전법 제 28조의 2’를 근간으로 이후 여러차례 법령을 보완 및 개정하면서 현재에 이르고 있으며, 1997년부터 일정 규모 이상의 VOC 배출시설에 대한 규제를 시작하였다. 우리나라는 유엔기후변화협약과 교토의정서 당사국으로서 기후변화협약에서 규정한 국가보고서를 작성하여 1998년부터 UN에 국

가보고서를 제출하고 있으며, 1999년부터 기후변화대응정책을 시행하여 기후변화 종합대책을 수립하여 추진하고 있다. 2016년 현재 대기환경보전법에 따라 대기환경규제지역과 특별대책지역에서 세탁시설을 포함한 VOC 배출시설을 규제하고 있으며, 독성을 지닌 VOC 중 15종은 유해대기오염물질(HAPs, Hazardous Air Pollutants)로 지정하여 별도의 규제를 하고 있다.

환경부에서는 매년 『환경백서』를 발간하여 우리나라 VOC의 배출원별 배출량을 산정하여 발표하고 있으며, 1999년 665,045 ton 이래로 2014년 905,803 ton까지 우리나라 VOC는 연평균 16,050 ton씩 증가하고 있다. 2017년 『환경백서』에 따르면, 2013년 기준 VOC의 부문별 배출량 중 유기용제 사용량은 562,000 ton으로 VOC 배출원의 61.5%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다. 세탁시설에서 발생하는 VOC는 유기용제 사용으로 인한 VOC 발생량에 포함되며, 『국가 대기오염물질 배출량』에서는 세탁시설에 의한 VOC 배출량을 제시하고 있으나, 이는 통계청에서 집계한 세탁업소 수에 단순히 기존 세탁업 VOC 배출계수를 곱하여 산출한 것이다.

기존 세탁업 VOC 배출계수인 610.368 kg/업소·yr은 14년 전인 2005년에 개발되었으며, 산업용 세탁소, 세탁물 공급시설, 가정용 세탁소의 구분 없이 적용되고 있다. 그러나 산업용 세탁업이나 세탁물 공급업은 대부분이 물세탁을 하므로 용제 사용량이 거의 없다. 이처럼 세탁산업의 분류 없이 일괄적으로 같은 배출계수를 적용하는 것은 VOC 배출량 산정에 오차를 발생시키며, 정확한 VOC 배출량 산정을 위해서는 세탁업 VOC 배출계수의 산업별 분류가 필요하다. 세탁업 VOC 배출량 산정의 오차 요인으로는 세탁업의 환경변화도 있다. 최근에는 드라이클리닝보다 물세탁이 가능한 의류의 소비가 늘고, 홈 드라이클리닝이 등장하는 등 세탁산업의 환경이 많이 달라져 기존 배출계수가 세탁업의 현실을 반영하지 못하고 있다. 세탁업 구분, 세탁기 종류, 세탁 배출 조건 등에 따라 다양한 세탁업 VOC를 제시하고 있

는 선진국과 같이 우리나라도 다양한 배출 조건에 따른 세탁업 VOC 배출 계수 개발이 필요하며, 최근 세탁업 환경변화를 반영한 세탁업 VOC 배출계수 재산정이 필요한 시점이다.

우리나라 가정용 세탁업에서 주로 사용하고 있는 드라이클리닝 기기인 석유계 드라이클리닝 기기는 개폐형으로 세탁기의 문을 여닫을 때 기화 상태인 용제가 대기 중으로 다량 방출되므로, 세탁량뿐 아니라 세탁기의 가동 횟수에도 영향을 받는다. 이론적으로는 세탁기 용량만큼의 세탁물을 투입하고 1회 가동하는 것이 맞으나 현장에서는 세탁물이 단 1개여도 세탁기를 가동해야 하는 경우가 있다. 따라서 세탁량에 따라 용제 사용량이 증가할 것이나, 비례하지 않고 세탁량이 많을수록 세탁량에 따른 세탁량 기준 용제 사용량이 감소할 것으로 예상된다.

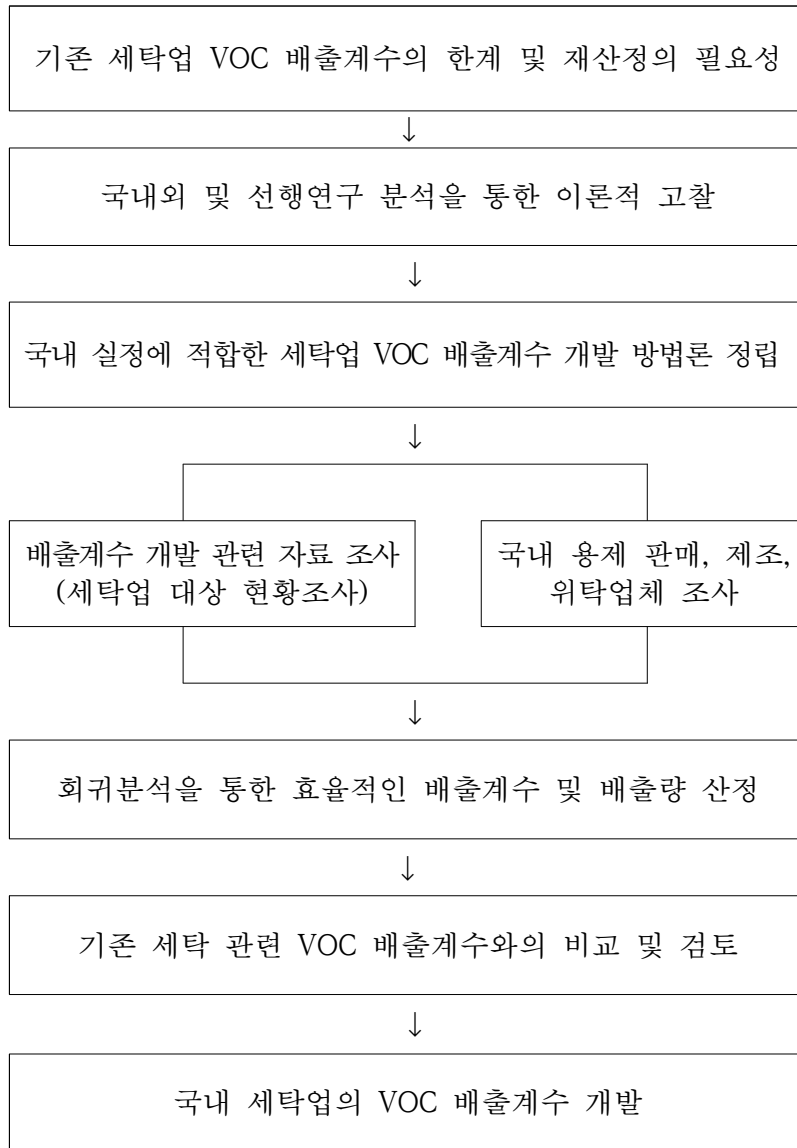
본 연구에서는 가정용 세탁업에서 사용하는 용제의 종류를 알아보고, 가정용 세탁업에서 발생하는 VOC 배출량 산정을 위한 VOC 배출계수를 개발 방안을 마련하고자 한다. 보다 신뢰도 있는 배출량 산정을 위해 범주별로 적용할 수 있는 VOC 배출계수를 개발하고자 한다.

## 제2절 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 세탁량에 따른 국내 세탁업 VOC 배출계수의 차이여부를 알아보고, 기존배출계수인 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수뿐 아니라 세탁량에 따른 세탁량 기준 배출계수를 세탁량 범주별로 적용할 수 있는 배출계수를 개발하고자 한다.

이를 위해 현황조사를 실시하여 배출계수 산정에 필요한 기초 데이터를 확보하고, 통계적 기법을 통해 범주별 배출계수를 산정하였다. 통계적 분석을 위해 SPSS 21과 R 3.4.0 통계프로그램을 사용하였다.

전체연구의 진행체계는 <그림 1-1>과 같다. 제1장은 서론 부분으로 연구의 배경 및 목적, 연구의 내용 및 범위에 대하여 서술하였다. 제2장은 이론적 고찰 부분으로 간접온실가스과 대기오염물질로서 VOC의 역할, 국내외 세탁업 VOC 배출계수, 선행연구 분석을 통해 VOC 관리의 중요성에 대해 고찰하였다. 제3장은 세탁업의 VOC 배출계수 개발방법론 부분으로 현황조사 방법론과 세탁업 VOC 배출계수의 통계적 검정 등 연구방법에 대해 서술하였다. 제4장은 간접온실가스 배출량 산정 부분으로 세탁업 사용 용제 및 세탁시설에서의 VOC 배출경로, 세탁업의 VOC 배출계수 산정결과, 개발된 세탁업 VOC 배출계수 비교 분석에 대해 서술하였다. 마지막으로 제5장은 결론 부분으로 연구를 요약하고, 연구의 한계 및 시사점에 대해 서술하였다.



<그림 1-1> 연구 흐름도

## 제2장 이론적 고찰

### 제1절 휘발성유기화합물(VOC)

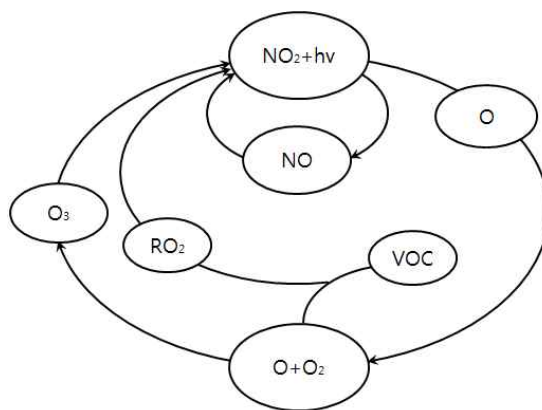
VOC는 자체 독성이 있을 뿐 아니라 오존 및 미세먼지 전구물질로서 주요 대기오염물질의 하나이다.

VOC 중 벤젠과 같이 대부분의 방향족 화합물과 할로젠족 화합물은 그 자체가 강한 독성을 가지고 있어 발암성 및 백혈병, 중추신경 장애, 염색체 이상, 피부 자극 등 인체 장애 및 환경에 직접적으로 해로운 영향을 끼치는 것으로 알려져 있으며, 염화화합물은 오존층 파괴와 지구온난화, 그리고 VOC의 연쇄반응에 의한 광화학 산화물 생성으로 인한 광화학 스모그 등을 일으켜 눈의 자극, 가시거리 저하, 동식물 및 농작물에 피해를 준다. 한편, 올레핀계 화합물은 태양광선에 의한 광화학 반응성이 큰 특징을 가지고 있어 그 자체의 독성 뿐 아니라 대기권 내 오존( $O_3$ )을 생성하는 전구물질로서 인체와 환경에 피해를 입히고 있다.

VOC는 지표면에서 광화학반응에 참여하여 오존 등 광산화적 산화물을 생성한다. VOC의 오존생성기작은 <그림 2-1>과 같으며, 광화학 반응식은 <표 2-1>과 같다. 대기 중에서 오존은 강한 햇빛의 존재 하에 질소산화물( $NO_x$ )과 휘발성유기화합물(VOC)이 반응하여 생성된다. 또한, 일산화질소( $NO$ )는 VOC의 존재하에서 대기 중의 오존과 결합하거나 발생기산소( $O$ )와 결합하여 이산화질소( $NO_2$ )로 변환된다. 다시 이산화질소는 햇빛을 받아 일산화질소와 산소원자( $O$ )로 광분해되고 생성된 산소원자는 대기 중의 산소( $O_2$ )와 결합하여 오존을 생성한다. 이때 산소원자가 비메탄 탄화수소와 반응하여 과산화기( $RO_2$ )가 만들어지는데 이 과산화기에 의해 일산화질소를 이산화질소로 산화시키는 빠른 반응이 추가됨으로써 일산화질소를 이산화

질소로 산화시키는 오존의 소모가 감소하여 대기 중의 오존농도는 증가한다. 오존은 산화력이 큰 물질로 질소산화물이나 대기 중의 다른 오염물질과 반응하여 또 다른 미세입자상 등의 오염물질을 만들기도 하며, 대기 중의 아황산가스(SO<sub>2</sub>)를 산화시켜 황산미스트의 생성을 촉진함으로써 산성비를 발생시키며, 지구온난화에 영향을 끼친다(<http://air.gb.go.kr>).

VOC는 반응성이 강한 물질(OH, O<sub>3</sub>등)과 화학반응을 일으켜 미세먼지 입자를 생성한다. 먼지란 대기 중에 떠다니는 입자상 물질로 입자의 크기에 따라 100 $\mu$ m이하의 총 먼지(TSP, Total Suspended Particles)와 입자크기가 매우 작은 미세먼지(PM, Particulate Matter)로 구분한다. 미세먼지는 다시 지름이 10 $\mu$ m보다 작은 미세먼지(PM-10)와 2.5 $\mu$ m보다 작은 먼지(PM-2.5)로 나뉜다. 또한, 광화학반응을 통해 VOC로부터 생성된 대기 중 오존은 질소산화물(NO, NO<sub>2</sub>)과 반응해 산성물질인 질산(HNO<sub>3</sub>)을 생성한다. 이렇게 생성된 질산은 대기 중 알칼리성 물질인 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 반응하여 질산암모늄(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)이 되며, 이 질산암모늄은 입자상 물질로 2차 생성 미세먼지이다(환경부, 2016).



<그림 2-1> VOC의 오존 생성기작

\* 출처 : 경상북도 보건환경연구원 실시간대기정보시스템, [air.gb.go.kr](http://air.gb.go.kr)



<표 2-1> VOC 광화학 반응식

VOC의 산화반응
$\text{VOC} + \text{O}_3 \rightarrow \text{RO}_2 + \text{RCHO}$
$\text{VOC} + \text{OH} \rightarrow \text{RO}_2 + \text{RCHO} \text{ 등}$
과산화기( $\text{RO}_2$ )에 의한 반응
$\text{RO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{NO}_2 + \text{RO}$
$\text{NO}_2 + h\nu \rightarrow \text{NO} + \text{O}$
$\text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M}$

\* 출처 : 경상북도 보건환경연구원 실시간대기정보시스템, air.gb.go.kr

VOC는 오존 생성에 기여함으로써 간접온실가스로 규정되어 있다(IPCC, 2007). 온실가스는 크게 직접온실가스(Direct GHG)와 간접온실가스(Indirect GHG)로 구분된다. 직접온실가스는 오존( $\text{O}_3$ ), 메탄( $\text{CH}_4$ ), 아질화산소( $\text{N}_2\text{O}$ ), 수소불화탄소(HFCs), 육불화황( $\text{SF}_6$ ), 염화불화탄소(CFCs)가 있으며, 간접온실가스는 질소산화물( $\text{NO}_x$ ), 일산화탄소( $\text{CO}$ ), 아황산가스( $\text{SO}_2$ ) 및 휘발성유기화합물(VOC)이 있다(김혜련, 2009).

## 제2절 세탁업의 휘발성유기화합물(VOC)

국내 세탁 용제의 규격은 한국공업규격 KSM 3611로써 종류 및 품질을 규정하고 있다. 세탁 용제는 세척, 용해, 희석, 추출 등의 용도에 적당한 품질의 정제 광유로서 무색투명하며, 냄새가 없고 물과 침전물을 함유하지 않는 등 세탁기준에 적합해야 한다고 정의하고 있다.

세탁업에서 사용하는 드라이클리닝 석유계 용제는 VOC로 산업용 용제구분에서 용제 5호에 해당하는 등유(Kerosene)와 매우 흡사한 용제로서 탄소수의 범위는 C<sub>10</sub>~C<sub>13</sub>정도이고, 성상은 <표 2-2>의 석유 및 석유대체연료 사업법 등급 3호에 해당하는 성상과 매우 흡사하다(환경부, 2014).

<표 2-2> 세탁시설 드라이클리닝 용제 기준(석유 및 석유대체연료 사업법)

항목		등급									
		1호	2호	3호	4호	5호	6호	7호	8호	9호	10호
인화점(°C)		-	-	38이상	-	-	10이상	38이상	38이상	50이상	50이상
증류성상	초류점(°C)	30이상	80이상	150이상	30이상	30이상	100이상	140이상	150이상	170이상	170이상
	50%유출온도(°C)	100이하	120이하	180이하	120이하	180이하	190이하	260이하	180이하	200이하	-
	종말점(°C)	150이하	160이하	210이하	170이하	210이하	225이하	300이하	195이하	230이하	380이하
동판부식(50°C, 3h)		1이하	1이하	1이하	1이하	1이하	1이하	1이하	1이하	1이하	1이하
아닐린점(°C)		45이상	45이상	45이상	40이상	40이상	40이상	45이상	16이하	18이하	
		휘발유			휘발유				K-100	K-150	
								KOKOSOL (경유용 가짜휘발유)			

\*출처 : 환경부, 2014, 『소규모 VOC 배출시설 관리방안(안)』

### 제3절 국내외 세탁업 VOC 배출계수

#### 1. 우리나라의 세탁업 VOC 배출계수

기존 세탁업 VOC 배출계수는 2005년 국립환경과학원에 의해 개발된 것으로 610.368 kg/업소·yr이며, 세탁업소 수를 활동도로 이용한다(〈표 2-3〉 참조).

활동도는 용제 사용량을 이용하는 것이 바람직하나 세탁업소 수가 많고 영세하여 이 방법을 이용하기 어렵기 때문에 대기정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)에서는 세탁소 업소당 평균 용제 사용량에 기초한 배출계수를 산정하였으며, 배출계수를 산정하기 위해 설문조사를 이용하였다(국립환경과학원, 2013).

〈표 2-3〉 기존 세탁업 VOC 배출계수

분류	배출계수	단위
세탁(드라이클리닝)	610.368	kg/업소·yr

\* 출처 : 국립환경과학원, 2013, 『국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)』

## 2. 주요국의 세탁업 VOC 배출계수

### 가. 미국

미국의 경우, 세탁 산업은 ①동전작동 세탁업(Coin-Operated Facilities), ②상업용 세탁업(Commercial operations), ③산업용 세탁업(Industrial Cleaners)으로 분류하고 있으며, AP-42에서는 세탁산업별로 사용 용제, 세탁기기 용량을 정의하고 있다. 동전작동세탁업의 경우, 3.6~11.5 kg(8~25 lb) 용량의 세탁기를 사용하며, 합성용제만을 사용한다. 상업용세탁업은 14~27 kg(30~60 lb) 용량의 세탁기와 건조기를 사용하며, 일반적으로 퍼클로 용제(Perchloroethylene)나 석유계 용제(Petroleum Solvents)가 사용된다. 산업용세탁업은 대용량 드라이클리닝 산업으로 세탁기기는 230 kg(500 lb) 용량의 세탁기와 38 kg 용량의 건조기 3~6개를 사용한 배출계수이다.

AP-42에서는 드라이클리닝 기기의 형태를 분리형(Transfer)과 일체형(Dry-to-Dry)로 구분하고 있다. 분리형은 세탁과 건조가 각각의 기계에서 이루어지는 형태이고, 일체형은 세탁과 건조가 한 기계에서 동시에 이루어지는 형태로 정의하고 있다. 분리형은 드라이클리닝 기기와 건조기가 별도로 존재하며, 사람이 드라이클리닝 기기에서 건조기로 세탁물을 옮기는 과정에서 대기 중으로 용제의 다량 방출이 일어난다.

AP-42에서는 세탁업 VOC 배출량을 산정하는 방법을 2가지로 제시하고 있다. 첫 번째 방법은 인구를 기준으로 배출량을 산정하는 방법으로 <표 2-4>에 제시되어 있듯이 작동방식을 산업용 세탁업과 동전작동 세탁업으로 분류한 후, 각각의 배출계수를 인구수에 곱하여 배출량을 산정하는 방법으로 산업용 세탁업에서의 배출계수는 0.6 kg/인구·yr, 동전작동 세탁업의 배출계수는 0.2 kg/인구·yr이다. 이 배출계수에서는 연간 세탁업 가동일을 313일로 계산하여 산정하였으며, 이 배출계수의 등급은 B등급으로 신뢰도

가 높은 수준의 배출계수이다.

〈표 2-4〉 미국 세탁시설의 연간 1인당 배출계수 (NMVOC)  
(EMISSION FACTOR RATING : B)

Operation	Emission Factors	
	kg/yr/capita (lb/year/cap)	g/day/capita <sup>a</sup> (lb/day/cap)
Commercial	0.6 (1.3)	1.9 (0.004)
Coin-operated	0.2 (0.4)	0.6 (0.001)

<sup>a</sup> Assynes a 6-day operating week (313 days/yr).

\* 출처 : EPA, 1995, 『AP-42』

두 번째 방법은 세탁량에 따른 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출량을 산정하는 방법으로, <표 2-5>에 제시되어 있듯이 세탁기 종류에 따라 일차적으로 분류한 후 세탁공정에서의 VOC 배출원으로 한 번 더 분류하여 더욱 상세히 배출계수를 제시하고 있다. 배출원은 크게 세탁기/건조기에서의 배출, 폐필터에서의 배출, 용제 찌꺼기에서의 배출, 기타 배출원으로 분류하였으며, 기타(Miscellaneous)는 플랜지나, 파이프, 펌프, 저장 탱크에서의 탈루, 드라이클리닝 기기나 건조기를 여단을 때 발생하는 용제의 배출 등을 포함한다. 이 배출계수의 등급은 B등급으로 신뢰도가 높은 수준의 배출계수이다.

<표 2-5> 미국 세탁시설의 연간 세탁량에 따른 배출계수

(EMISSION FACTOR RATING : B)

Solvent Type (Process Used)	Source	Emission Factor <sup>a</sup>	
		Typical System kg/100kg (lb/100lb)	Well-Controlled kg/100kg (lb/100lb)
Petroleum (transfer process)	Washer / Dryer <sup>b</sup>	18	2 <sup>c</sup>
	Filter Disposal		
	<i>Uncooked (drained)</i>	8	ND
	<i>Centrifuged</i>		0.5 - 1
	Still Residue Disposal	1	0.5 - 1
	Miscellaneous <sup>d</sup>	1	1
Perchloroethylene (transfer process)	Washer / Dryer / Still / Muck Cooker	8 <sup>e</sup>	0.3 <sup>c</sup>
	Filter Disposal		
	<i>Uncooked muck</i>	14	ND
	<i>Cooked muck</i>	1.3	0.5 - 113
	<i>Cartridge filter</i>	1.1	0.5 - 101
	<i>Still Residue Disposal</i>	1.6	0.5 - 1.6
	Miscellaneous <sup>d</sup>	1.5	1
Trichlorotrifluoro ethane (dry-to-dry process)	Washer / Dryer /Still	0	0
	Cartridge filter disposal	1	1
	Still residue disposal	0.5	0.5
	Miscellaneous <sup>d</sup>	1 - 3	1 - 3

<sup>a</sup>Units are in terms of weight solvent per weight of clothes(capacity x loads). Emissions also may be estimated by determining the amount of solvent consumed. Assuming that all solvent input is eventually evaporated to the atmosphere,an emission factor of 1000 kg/Mg(2000 lb/ton) of solvent consumed can be applied.

<sup>b</sup>Different materials in wash retain a different amount of solvent (synthetics, 10 kg/100 kg[10 lb/100 lb]; cotton, 20 kg/100kg

[20 lb/100 lb]; leather, 40 kg/100kg [40 lb/100 lb]

<sup>c</sup>Emissions from washer, dryer, still, and muck cooker are passed collectively through a carbon adsorber

<sup>d</sup>Miscellaneous sources include fugitives from flanges, pumps, pipes, and storage tanks, and fixed losses such as opening and closing dryers, etc.

<sup>e</sup>Uncontrolled emissions from washer, dryer, still, and muck cooker average about 8 kg/100kg(8 lb/100lb). About 15% of solvent emitted

<sup>f</sup>Based on the typical refrigeration system installed in fluorocarbon plants.

\* 출처 : EPA, 1995, 『AP-42』

## 나. 유럽

유럽의 경우, 여러 소속국가 전문가들로 구성된 UNECE/EPEP Task Force에 의해 제작된 대기 배출원 목록집(Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 2006)에 세탁 배출계수가 제시되어 있으며, 이 보고서는 유럽환경청(EEA)에 의해 발간되고 있다.

『대기배출원목록집』에서는 드라이클리닝을 염소계 유기용제(Chlorinated Organic Solvents)와 테트라클로로에텐(PCE:Tetrachloroethene)을 사용하여 섬유나 직물을 세탁하는 것으로 정의하고 있다. 드라이클리닝은 개방형(Open-Circuit Machines)과 밀폐형(Closed-Circuit Machines)으로 분류된다. 개방형에서는 최종 드라이 공정에서 증발한 용제가 대기로 방출되는 반면 밀폐형에서는 최종 드라이 공정이 밀폐된 세탁기에서 이루어져 최종 드라이공정에서 증발한 용제가 용제탱크로 회수되어 대기로의 용제 방출이 없다고 정의하고 있다.

『대기배출원목록집』에서는 드라이클리닝에서 발생하는 세탁업 VOC 배출계수를 단순계산법(Simple Methodology)과 상세한 계산법(Detailed Methodology)으로 제시하고 있다.

단순계산법은 <표 2-6>에 제시되어 있듯이 세탁시설에서의 용제 사용량에 근거하여 배출량을 산정하는 방법이며, 상세한 방법은 드라이클리닝 세탁기의 배출 조건별 세탁량에 따른 세탁 배출량을 산정하는 방법이다. 단순

계산법은 용제 사용량과 인구를 이용하여 산정할 수 있도록 제시하고 있으며, 세탁기기로부터 대기로 직접 방출되는 용제의 양은 개방형에서는 용제 사용량의 80%, 밀폐형에서는 용제 사용량의 40%로 제시하고 있다.

용제는 대부분 다시 회수되지만 이렇게 대기 중으로 배출된 용제는 다시 보충되어야 하므로 보충된 용제의 양을 측정함으로써 배출계수를 산출하였고, 이 외의 용제는 의류에 잔류하거나 용제 탱크, 파이프 연결 부위, 펌프 등을 통해 최종적으로는 대기로 모두 방출된다. 따라서 기기의 유형과 관계 없이 모든 기기에서 소비된 용제의 전량은 대기로 방출된다고 가정하고 있으며, 인구 기준으로 했을 때 이는 0.25~0.375 kg/인구가 된다. 이 배출계수의 등급은 D~E 등급으로 신뢰도가 낮은 수준의 배출계수이다.

<표 2-6> 유럽의 단순 세탁 배출계수 (Simple Methodology)

Emission Source	Emission Factor (Quality Code)
All machines	100% of solvent consumed <sup>b</sup> (D)
All machines	0.25-0.375 kg/inhabitant year (E)
Open-circuit machines <sup>a</sup>	0.8 kg/kg solvent consumption(D)
Closed-circuit machines <sup>a</sup>	0.4 kg/kg solvent consumption(D)

<sup>a</sup> For emissions into the atmosphere directly from the machine

<sup>b</sup> Solvent consumed (i.e. used to replace what is lost) can be assumed to be equivalent to solvent emitted

\* 출처 : UNECE/EPEP Task Force, 2006, 『Atmospheric Emission Inventory Guidebook』



상세한 방법은 <표 2-7>에 제시되어 있듯이 세탁기의 필터 여부와 용제 종류, 세탁기의 유형별로 5가지 대표적인 배출 조건을 설정하고, 배출 조건 별로 세탁량 기준 VOC 배출계수를 제시하고 있으며, 이 배출계수의 등급은 C로, 중간 정도의 신뢰도를 가지는 배출계수이다.

<표 2-7> 유럽의 상세한 세탁업 배출계수 (Detailed Methodology)

Emission Source	Emission Factor (Quality Code)
Open-circuit machines for halogenated solvents without carbon filter	125 g/kg material cleaned (C)
Open-circuit machines for halogenated solvents with carbon filter	55 g/kg material cleaned (C)
Open-circuit machines for hydrocarbon solvents	5 g/kg material cleaned (C)
Conventional closed-circuit machines for halogenated solvents	30 g/kg material cleaned (C)
“New generation“ closed-circuit machines for halogenated solvents	<10 g/kg material cleaned (C)

\* 출처 : UNECE/EPEP Task Force, 2006, 『Atmospheric Emission Inventory Guidebook』

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016에서는 유럽 용제 지침(European Solvents Directive)이 시행된 후 개방형 세탁기만 한해 『대기배출원목록집』의 배출계수 0.8 kg/kg solvent consumption을 사용하지 않으며, <표 2-8>과 같이 드라이클리닝에서 발생하는 비메탄계 VOC의 Tier1, Tier2 수준의 배출계수를 제시하고 있다.

2008년 IIASA(International Institute for Applied Systems Analysis)에서는 GAINS(Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies)의 배출량과 활동도 데이터를 기반으로 드라이클리닝에서 발생하는 비메탄계 휘발성유기화합물(NMVOC)의 Tier1 수준의 배출계수를 40g/kg textile treated 로 산정하였으며, 인구 단위로는 0.3 kg/인구·yr를 제시하고 있다.

2003년 EGTEL(Expert Group on Techno-economic Issues)에서는 드라이클리닝에서 발생하는 비메탄계 휘발성유기화합물(NMVOC)의 Tier2 수준의 배출계수를 177g/kg textiles cleaned로 제시하고 있다.

<표 2-8> 유럽 드라이클리닝에서의 Tier 1, Tier 2 NMVOC 배출계수

	Pollutant	Value	Unit	95% confidence interval		Reference
				Lower	Upper	
Tier 1	NMVOC <sup>a)</sup>	40	g/kg txtile treated	10	200	IIASA (2008)
Tier 2		177	g/kg textiles cleaned	100	200	EGTEL (2003)

<sup>a)</sup>NMVOC : Non-Methane Volatile Organic Compound, 비메탄 휘발성유기화합물

\* 출처 : EEA, 2016, 『EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook

#### 다. 호주

호주의 경우, 제조업, 산업, 서비스시설의 배출규제 물질을 NPI(National Pollutant Inventory)에 정의하고 EET(Emissions Estimation Technique Manual for Dry Cleaning)에 드라이클리닝에서 발생하는 배출계수를 제시하고 있다. 호주에서는 드라이클리닝 용제로 주로 퍼크로 용제를 사용하고, 석유계 용제를 사용하는 업체는 아주 적다. 호주에서는 미국 AP-42 배출계수집을 바탕으로 NPI에 호주의 세탁업 VOC 배출계수를 <표 2-9>와 같이 제시하고 있다.

<표 2-9> 호주 세탁량에 따른 세탁 배출계수

Solvent Used (Process Used)	Source	Emission Factor	
		Typical System (kg/tonne)	Well-Controlled System (kg/tonne)
Petroleum / White Spirit (transfer process)	Washer / Dryer	180	20
	Filter Disposal		
	<i>Uncooked (drained)</i>	80	ND
	<i>Centrifuged</i>	ND	5 - 10
	Still Residue Disposal	10	5 - 10
	Miscellaneous	10	10
Perchloroethylen e	Washer / Dryer / Still / Muck Cooker	80	3
	Filter Disposal		
	<i>Uncooked muck</i>	140	ND
	<i>Cooked muck</i>	13	5 - 13
	<i>Cartridge filter</i>	11	5 - 11
	<i>Still Residue Disposal</i>	16	5 - 16
	Miscellaneous	15	10

\* 출처 : EET, 1999, 『Emissions Estimation Technique Manual for Dry Cleaning』

EET에서는 용제 배출 매체(Emission Media)를 대기(Air), 폐수(Waste water), 유해성 폐기물(Hazardous Waste)로 분류하고 중량비를 각각 99.985%, 0.015%, 0%로 제시하고 있다(〈표 2-10〉 참조).

〈표 2-10〉 호주 드라이클리닝의 용제 배출 매체별 배출 비율

Emission Medium	Emission	Emission Media Distribution (%)
Air	Solvent spills Fugitive leaks from piping Vapour emitted when removing clothes from machines	99.985
Waste	Water from separator	0.015
Solid Waste	Residue from solvent still	ND

\* 출처 : EET, 1999, 『Emissions Estimation Technique Manual for Dry Cleaning』

## 제4절 선행연구 분석

광운대학교 『소규모 VOC 배출시설 관리방안(안)』(2014)에서는 가정용 세탁업에서 발생하는 VOC 배출량을 다음의 식을 이용하여 산정하였다. 이 식은 기존 배출계수에는 고려되지 않은 건조기 용량, 가동일, 가동횟수, 용제 회수율을 포함하였으며, 보다 구체화한 식에 따라 이 식을 활용하기 위해서는 상세한 활동도 조사가 필요하다.

$$\text{배출량(kg/yr)} = \text{배출계수(kg/kg)} \times \text{건조기 용량(kg)} \times \text{가동일(일/년)} \times \text{가동횟수(회/일)} \times (1 - \text{용제 회수율}(\%))$$

배출계수는 실험을 통해 측정한 값을 토대로 산정하였으며, 용제회수기가 가동하지 않는 상태에서 측정하였기 때문에 건조기로 투입된 용제는 모두 배출구로 배출한다고 가정하였다. 건조기 용량, 가동일, 가동횟수는 설문조사를 통해 확보한 데이터를 사용하였으며, 건조기 용량 15 kg, 일 평균 가동횟수 2.708회, 연간 영업일 300일을 곱하였다.

연구 결과 가정용 세탁업에서의 배출계수는 0.170 kg 용제 사용량/kg세탁물로 측정되었으며, 건조기 1대당 1회 건조 시 배출량은 2.505 kg/yr로, 세탁 VOC 연간 배출량은 2,031 kg/업소·yr로 산정되었다(<표 2-11> 참조).

<표 2-11> 가정용 세탁업소의 배출총량(1회 건조시 · 건조기 1대)

가정용 세탁업소	A	B	C	평균
용제/세탁 (kg/kg)	0.172 (실측)	0.162 (실측)	0.170 (평균값 적용)	0.167
건조기 용량 (kg)	15	15	15	15
배출 (kg/1회 건조 · 1대)	2.580	2.430	2.505	2.505
일 평균 가동 횟수 (회/일)	3.125	3.750	1.250	2.708
연간 영업일 (일/년)	300	300	300	300
총 배출량 (kg/yr)	2,419	2,734	939	2,031

\*출처 : 광운대학교, 2014, 『소규모 VOC 배출시설 관리방안(안)』

국립환경연구원 『대기 Inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염배출량 산정연구』(2005년)에서는 S시 342개 세탁업소와 D시 96개 세탁업소를 대상으로 한 설문조사를 통해 세탁업 VOC 배출계수를 산정하였다. 설문조사를 통해 산정된 업소당 평균 용제 사용량은 792.69 L/업소 · yr이며, 현재 시판되는 용제의 평균 비중인 0.77 L/kg을 사용하여 무게 단위로 환산하여 최종 배출계수를 표현하면, 세탁소에서의 VOC 배출계수는 610.368 kg/업소 · yr이다.

세탁 시 VOC 배출공정을 ①세탁기와 건조기에서의 배출, ②세탁물 이송시 배출, ③폐필터에서의 배출, ④기타 배출원에서의 배출로 구분하였다. 이 중 세탁물 이송시 배출량은 그 시간적 간격이 매우 짧아 배출량이 극히 미미할 것으로 판단되어 VOC 배출공정에서 제외하였으며, 기타 배출원은 세탁기나 건조기의 틈새나 펌프, 플랜지 등에서 배출되는 VOC로 설정하

였다. 따라서 측정 가능한 ①세탁기와 건조기에서의 배출량과 ③폐필터에서의 배출량에 대해 실험을 수행하였다. 세탁기와 건조기에서의 용제 배출량은 건조기 유입 전후 무게 차를 이용하여 구하였으며, 폐필터에서의 배출량은 폐필터를 방치하여 방치일수에 따라 감소하는 무게 차에 의해 도출하였다.

건조기에서 VOC 배출량

$$= \text{세탁후 세탁물의 무게} - \text{건조후 세탁물의 무게}$$

폐필터에서 VOC 배출량

$$= \text{방치기간 동안 폐필터의 무게 감소량}$$

기타 배출공정으로부터의 VOC 배출량

$$= \text{업소별 VOC 배출량} - (\text{건조기에서 VOC 배출량} + \text{폐필터에서 VOC 배출량})$$

위와 같은 방법으로 실험을 수행한 결과 ①세탁기와 건조기에서의 배출, ③폐필터에서의 배출량에 관한 활동도 자료의 부족, ④기타 배출원에서의 배출되는 VOC의 정성적인 농도측정은 가능하나 정량적인 배출량 측정은 현실적으로 매우 곤란한 상황과 측정에 필요한 비용에 비해 너무 효용 가치가 부족하다고 판단되어 배출계수 및 배출량을 산정할 수 없었다. 이에 본 연구에서는 설문조사를 통해 수집한 업소당 용제 사용량을 기초로 물질수지 방법을 이용하여 배출계수 및 배출량을 산정하였다.

환경부 『석유계 용제의 대기오염 기여도에 관한 조사연구 보고서』(2002)에서는 세탁업에서 발생하는 VOC 배출량 산정에 세탁물 주입량과 가동횟수를 고려한 아래 식을 이용하여 배출량을 산정하였다.

$$\text{배출량(ton/yr)} = \text{업소당 1일 평균 추정 세탁물수} \times \text{세탁물 중 드라이 크리닝 비율} \times \text{세탁물에 대한 용제 소비량(g)} \times \text{연간 영업일} \times \text{세탁업소 수} \times 10^{-6}(\text{ton/g})$$

세탁물에 대한 용제 소비량(g)은 실험을 통해 세탁 전후 세탁물의 무게차를 측정하여 산출하였다. 총 17회의 실험을 통해 아래의 식을 이용하여 평균값을 산출하였다.

$$\begin{aligned} & \text{배출계수(g용제 사용량/kg세탁물)} \\ & = \frac{\sum[\text{용제 세탁 후 세탁물의 무게(g)} - \text{용제 세탁 전 세탁물의 무게(g)}]}{\sum \text{세탁물의 무게(kg)}} \end{aligned}$$

연구 결과, 전국 세탁업에서의 VOC 배출량은 13,956 ton/yr으로 산정되었다. 이 중 서울지역 세탁업소의 VOC 배출량은 3,687 ton/yr으로 전국의 26.4%를, 경기도를 포함한 수도권 지역 세탁업소의 VOC 배출량은 6,800 ton/yr으로 전국의 48.7%를 차지하였다.



<표 2-12> 세탁업 VOC 배출계수 선행연구

연구 기관 (개발 년도)	연구내용	비고
광 운 대 학 교 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 실험과 설문조사를 통해 배출계수 개발 및 배출량을 산정하였음.</li> <li>· 기존 배출계수에 고려되어 있지 않은 건조기 용량, 가동일, 가동횟수, 용제 회수율을 고려하였음.</li> <li>· 배출계수 : 0.170 kg 용제 사용량 /kg세탁물</li> <li>· 건조기 1대당 1회 건조 시 배출량 : 2.505 kg/yr</li> <li>· 세탁 VOC 연간 배출량 : 2,031 kg/yr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 3회의 실험으로 전국 세탁소를 대표하기에는 적음.</li> <li>· 세탁소, 사용 용제, 조업조건, 가동시간 등 실험조건이 모두 상이함.</li> <li>· 건조공정 이외의 공정에서의 배출을 전혀 고려하지 않음.</li> <li>· 건조기용량을 세탁물로 계산하였으나 현장에서 건조기용량에 맞추어 세탁하는 경우는 거의 없음.</li> </ul>
국 립 환 경 연 구 원 (2005)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 설문조사를 통해 배출계수를 개발하였음.</li> <li>· 세탁시설에서 VOC 배출공정별 실험을 하였으나 효용가치가 없다고 판단하여 사용하지 않고, 용제사용량을 기초로 한 물질수지 방법을 사용하였음.</li> <li>· 배출계수 : 610.368 kg/yr·업소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· S시, D시를 상대로 설문조사를 수행하여 전국을 대표하는 국가 배출계수를 개발하였으며, 지역성을 고려하지 않았음.</li> </ul>
환 경 부 (2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 실험을 통해 배출계수 개발 및 용제 성상을 분석하였음.</li> <li>· 세탁 VOC 배출경로 추정 (건조공정 82%, 세탁공정 2%, 용제순환여과과정 16%)</li> <li>· 배출계수 : 107 g용제 사용량/kg세탁물</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 건조 전후 세탁물 잔존 용제량으로부터 미국 『AP-42』의 세탁공정별 VOC 배출비율을 이용하여 세탁업 VOC 배출계수를 산출하였음.</li> </ul>

## 제3장 세탁업의 VOC 배출계수 개발

본 연구에서는 가정용 세탁업에서 발생하는 VOC 배출계수의 활동도를 업소 기준과 세탁량 기준으로 하였으며, 이를 각각 범주별로 배출계수를 개발하였다.

### 제1절 세탁소 현황 조사

드라이클리닝 공정에서 발생하는 용제의 배출은 건조기에서의 방출, 폐필터에서의 방출, 세탁물에 잔류하는 용제의 방출, 세탁기기의 이음새 등에서 발생하는 방출 등 다양하나, 결국 용제 사용량은 대기 중으로 전량 배출되므로 본 연구에서는 용제 사용량을 기초로 한 물질 수지 방법을 사용하고자 한다. 용제 사용량을 파악하기 위해 <표 3-1>과 같이 현황조사를 수행하였다.

<표 3-1> 예비 현황조사

예비현황조사 일시	2016. 08. 16 ~ 2016. 09. 02 (14일간)
예비현황조사 대상	서울시 구로구, 금천구 소재 가정용 세탁업 36개소
응답률	61.56% (21/36개 업소)
예비현황조사 목적	①세탁업 VOC 배출계수에 필요한 예비 데이터 수집 ②본 현황조사에 앞서 설문항목의 적절성 평가 ③응답의 용이성 등 응답자 입장 파악을 통한 설문 조사 진행 방향 결정

현황조사를 위해 연구에 필요한 데이터인 세탁기 형태, 월별 드라이클리닝 용제 사용량, 세탁업 면적 등을 포함하여 설문지 초안을 작성하였다. 본 현황조사에 앞서 2016년 8월 16일~2016년 9월 2일 약 14일간 서울시 구로구, 금천구 소재 36개 가정용 세탁업을 대상으로 예비 현황조사를 수행하였으며, 이 중 21개 업체에서 조사에 응답하여 약 61.76%의 응답률이 나타났다. 이를 토대로 현황조사표를 보완 및 수정 하였으며, 최종 보완된 현황조사표는 <표 3-2>와 같다.

<표 3-2> 세탁업 현황조사표

세탁소 현황 조사표

업 체 명																					
사업장 면적						Tel.															
사업장 주소																					
사업장 형태	= 가정용 세탁업			= 산업용 세탁업				= 세탁물 공급업													
1. 세탁기기																					
세탁기형태	세탁기 용량 (kg)	대수	1회당 세탁물 투입량(kg)					일일 가동 시간					일일 가동 회수								
			평균	봄	여름	가을	겨울	평균	봄	여름	가을	겨울	평균	봄	여름	가을	겨울				
퍼크로설비																					
석유계설비																					
2. 세탁 용제																					
세탁기형태	상품명	평균 일간 용제 사용량 (L/일)	봄			여름			가을			겨울									
			3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	1월	2월							
퍼크로설비																					
석유계설비																					
* 계절별 일간 사용량을 표시는 경우 작성에 주의요, 모를 경우 평균 일간 사용량을 기입에 주의요.																					
3. 건조기																					
건조기용량 (kg)	대수	1회당 건조 시간 (분)					1회당 세탁물 투입량(kg)														
		평균	봄	여름	가을	겨울	평균	봄	여름	가을	겨울										
4. 폐기를 발생량																					
월 발생량 (kg/월)		처리방법									처리업체										
		① 업체수거 ② 자가처리 ③ 기타																			
5. 방지시설																					
		설치유무			시 설 명			용 량													
대기 방지시설																					
용제 회수장치																					
6. 용제 필터																					
세탁기 형태	필터 종류	교체 주기(일)	발생량(개)	처리 방법																	
퍼크로 설비																					
석유계 설비																					
7. 가동시간 및 종사자 수																					
년 가동일(일/년)																					
종사자 수(명)																					
8. 기 타 (영업 시 예로사항)																					
<div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>																					

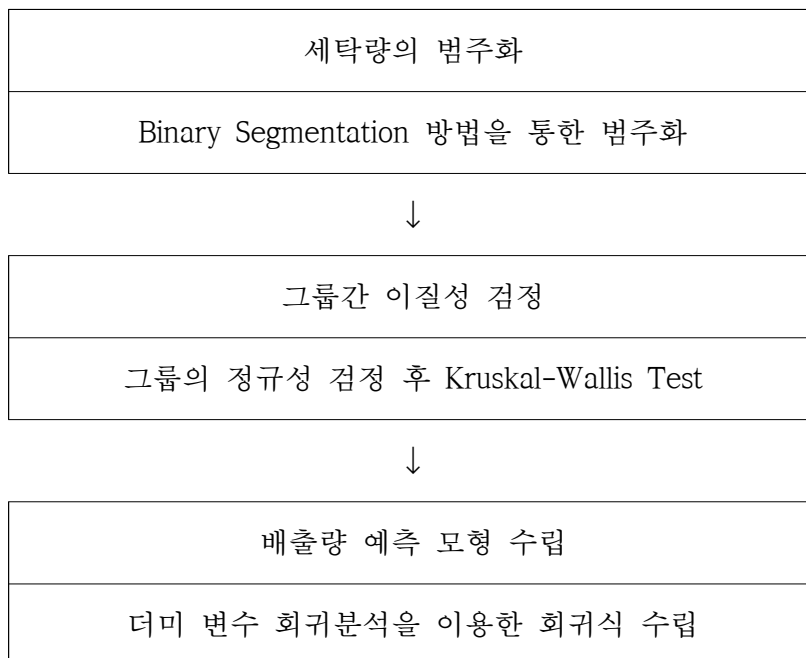
## 제2절 대상시설 선정

본 연구는 드라이클리닝을 사용하는 전국 가정용 세탁업을 대상으로 하며, 통계청의 국가통계포털에 발표된 자료에 따르면 2016년 기준 전국 가정용 세탁업 업소 수는 31,977개이다. 기존 세탁업 VOC 배출계수를 개발하기 위해 수행한 설문조사 대상 표본 수인 438개와 유사한 개수의 표본을 확보하여 신뢰도를 높이고자 하였다. 전국의 가정용 세탁업 500개 업소 이상을 확보할 때까지 현황조사를 진행하였으며, 이는 모집단인 전국 가정용 세탁업의 약 1.6%에 해당한다.

기존 세탁업 VOC 배출계수를 개발하기 위해 수행한 설문조사에서는 S시, D시 두 도시의 가정용 세탁업을 대상으로 하였지만, 본 연구에서는 표본이 모집단을 잘 대표할 수 있도록 전국을 대상으로 표본을 골고루 확보하고자 하였다. 이를 위해 한국세탁업중앙회의 지회인 서울, 경기, 인천, 부산, 울산, 강원, 경남, 광주/호남, 대구, 대전/충청, 제주로 구분하여 현황조사를 하였다.

### 제3절 세탁업 VOC 배출계수의 통계적 검정방법

본 연구에서는 현황조사를 통해 수집한 데이터로부터 범주별 세탁업 VOC 배출계수를 구하기 위해 통계적 기법을 이용하여 <그림 3-1>과 같이 검정을 진행하였다.



<그림 3-1> 세탁업 VOC 배출계수의 통계적 검정 흐름도

세탁량의 범주화를 위해 구간의 평균이 가장 유의하게 변하는 지점을 감지하는 방법인 Binary Segmentation 방법을 적용하였다. Binary Segmentation 방법은 전체 추세 중 가장 평균이 유의하게 변하는 changepoint를 찾은 뒤, 그 changepoint 전후로 다시 평균이 유의하게 변하는 구간을 찾는 것의 반복을 통해 더 이상의 평균 변화가 없을 때까지 공간을 나뉘가면서 changepoint를 찾는 방법이다. 본 연구에서는 R

3.4.0(Package “changepoint“)통계 프로그램을 이용하여 세탁량을 범주화하였다.

모집단에 대해 추론할 경우, 표본집단의 정규성에 따라 통계적 분석기법을 달리 적용해야 한다. 대부분의 통계분석에서는 일반적으로 모집단이 정규성을 따를 것이라는 가정하에 진행되기 때문에 정규성을 따르지 않는 모집단의 경우 일반적인 검정법과는 달리 비모수 통계 방법을 사용해야 한다.

모집단이 정규분포를 하지 않고 3개 이상의 그룹의 위치 척도(중앙값 혹은 평균)를 비교하여 위치 척도의 동질성 검정을 하는 경우는 표본의 순위를 이용하는 Kruskal-Wallis test 방법을 사용한다. Kruskal-Wallis test는 모수적 방법의 일원배치분산분석에 대응하는 비모수 통계검정방법이며 그룹 간 위치 척도(중앙값 혹은 평균)를 비교할 수 있다. 즉, 표본 데이터가 정규분포를 따르지 않는 모집단에서 추출된 경우 원래의 데이터를 서열 데이터로 바꾸어 Kruskal-Wallis test를 사용하게 된다. 일원배치분산분석법의 기본 가정은 등분산을 만족해야 하지만, Kruskal-Wallis test의 경우 위의 가정은 불필요하므로 보다 광범위한 데이터에 적용할 수 있다.

본 연구에서는 Shapiro-Wilk test를 통해 범주화된 집단의 정규성 검정을 하였고, 연간용제 사용량과 세탁량 기준용제 사용량 각각 정규분포를 따르지 않음을 확인하여, Kruskal-Wallis test를 통해 세탁량에 따른 집단 간 동질성을 검정하였다.

배출량 예측 모형 수립을 위해 더미 변수 회귀분석을 사용하여 범주화한 세탁량 그룹별 배출계수를 산정하였다. 독립변수 중에 범주형 변수가 3개 이상의 수준을 가지고 있는 경우 더미 변수(Dummy Variable)를 이용하여 회귀분석을 수행하게 된다.

본 연구에서는 범주화된 세탁량 집단별 배출계수를 산정하기 위해 통계 프로그램 SPSS21을 통한 더미 변수 회귀분석을 이용하였다.

## 제4장 세탁업의 VOC 배출계수 개발

### 제1절 세탁업 사용 용제 및 VOC 배출

현황조사를 통해 사용하는 세탁 용제를 파악하려 하였으나, 설문결과 대부분 업체가 용제공급업체에 용제 선정 및 구매를 위탁하고 있어 어떤 용제를 사용하는지 모르고 있었다. 용제 시장파악을 위해 선행연구조사 및 제조·판매·위탁업체에 문의하여 파악하였다. 국내에서 시판 중인 드라이클리닝 석유계 용제는 제조·판매업체 8개사, 국내 유통 중인 제품 8개 정도로 파악되었으며, 한솔유화의 HD-410, 동남유화의 DN600, 이일산업의 ESOL-D, 한화토탈의 Anysol-5, 이수화학의 모아크린, SK 종합화학의 유크린, GS 칼텍스의 Kixx-sol, 엑슨모빌의 엑솔D-40이다. 용제의 비중은 각 제조·판매 업체에 문의 및 제품 성상표를 참고하여 조사하였으며, 용제의 평균 비중은 0.78 kg/L였다. 본 연구에서는 현황조사를 통해 확보된 부피단위 용제 사용량(L/yr)을 무게 단위 용제 사용량(kg/yr)으로 환산하는데, 용제의 평균 비중인 0.78 kg/L을 사용하였다.

드라이클리닝 세탁기는 크게 퍼크로 용제(PCE)를 사용하는 세탁기와 석유계 용제를 사용하는 세탁기가 있다. 퍼크로 용제를 사용하는 세탁기는 세탁, 탈액, 건조가 한 공정에서 진행되는 밀폐형 세탁기지만, 석유계 세탁기는 세정, 탈액을 한 기계에서 한 후 세탁물을 다른 기계로 옮겨 건조하는 transfer 방식의 세탁기이다.

우리나라는 1987년 몬트리올 의정서 체결 이후 염화불화탄소류의 생산을 줄여온 끝에 2010년 이후 생산이 전면 중단되어 불소계 용제는 사용하지 않고 있으며, 2002년 기준 약 95%의 업체가 석유계 용제를 사용하는 세탁기, 5%의 업체가 퍼크로 용제를 사용하는 세탁기를 보유하고 있으나, 최근



에는 대부분 업체가 석유계 용제를 사용하는 세탁기를 사용할 것으로 추정된다(〈표 4-1〉 참조). 석유계 용제를 사용하는 세탁방식은 세정·탈액 공정의 세탁기에서 건조공정의 건조기로 옮겨지는 과정에서 용제가 다량 방출되며, 건조공정에 별도의 용제 회수시설이나 방지시설이 설치되어 있지 않아 세탁물이 포함하고 있는 잔류 용제가 모두 대기 중으로 방류된다.

〈표 4-1〉 각국의 세탁 용제 사용비율 현황

(단위: %)

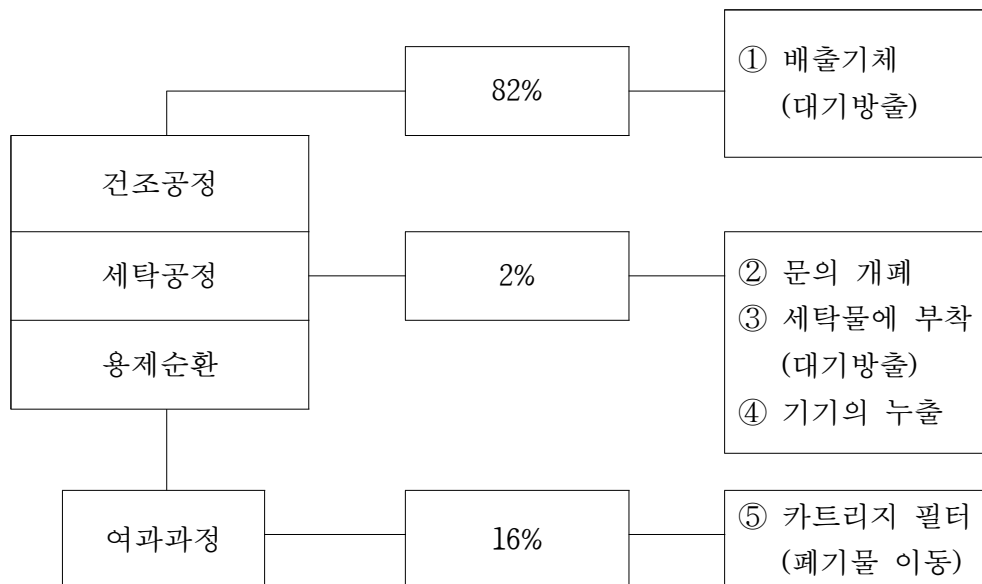
국 가 명	퍼크로 용제	불소계용제	석유계 용제
벨기에	90	7	3
덴마크	90	10	-
프랑스	93	5	2
독일	90	10	-
이탈리아	85	14	1
영국	75	25	-
미국	75	5	20
일본	15	2	83
한국	5	-	95

\*출처 : 환경부, 2002, 『석유계 용제의 대기오염 기여도에 관한 조사연구』

석유계 세탁기에서의 용제 배출은 〈그림 4-1〉과 같이 크게 ①용제순환 ②세탁공정 ③건조공정에서 발생한다. 세탁공정은 세탁물이 용제에 의해 세탁되는 과정으로, 이 공정에서는 문의 개폐, 세탁물에 부착, 기기의 누출 등으로 용제의 방출이 일어난다. 용제 순환과정을 거친 세탁물은 건조공정에서 완전히 건조되는데, 세탁물에 남아 있는 용제는 이 과정을 통해 대기 중으로 방출된다. 세탁이 완료된 후 용제는 필터를 거쳐 다시 용제 탱크로 이

동하게 되는데, 이때 용제에 포함된 불순물이나 용제 찌꺼기가 카트리지 필터에 잔류하게 되며 필터가 교체되면서 용제의 방출이 이루어진다.

용제 방출비율은 건조공정 82%, 세탁공정 2%, 여과과정 16%로 대부분의 용제 방출은 건조공정에서 이루어진다. 이 비율은 환경부 『석유계 용제의 대기오염 기여도에 관한 조사연구』(2002)에서 세탁 용제 세탁량과 세탁업 VOC 배출량을 이용하여 건조공정에서의 용제증발량을 산출한 후, 남은 세탁 공정과 용제순환에서의 VOC 배출량을 EPA 『AP-42』에 제시되어 있는 배출계수의 비를 이용하여 산정하였다. 『AP-42』의 석유계 용제 배출계수 중 필터폐기와 증류기 잔재물 폐기를 여과과정으로 간주하였으며, 기타를 세탁기의 개폐와 누출로 간주하였다. 공정별로 배출비율이 다르나, 최종적으로 사용 용제 전량이 대기 중으로 배출된다. 따라서 본 연구에서는 공정과 관계없이 총 용제 사용량을 총 VOC 배출량으로 간주하였으며, 용제 사용량을 기초로 물질 수지 방법으로 세탁업 VOC 배출계수 및 배출량을 산정하였다.



<그림 4-1> 석유계 세탁기의 용제 배출 공정

\*출처 : 환경부, 2002, 『석유계 용제의 대기오염 기여도에 관한 조사연구』

## 제2절 세탁업의 VOC 배출계수 산정

### 1. 세탁업의 VOC 사용 현황

현황조사는 세탁업중앙회의 협조를 얻어 2016년 9월~10월 약 2달간 진행하였다. 세탁업중앙회의 지회인 서울, 경기, 인천, 부산, 울산, 강원, 경남, 광주/호남, 대구, 대전/충청, 제주 총 11개 지역으로 구분하여 전국의 가정용 세탁업을 대상으로 현황조사를 수행하였으며, 수행 결과 총 505개의 표본을 확보하였다. 이는 조사 당시 전국 가정용 세탁업 모집단 31,977 업소의 약 1.6%에 해당하며, 현황조사 결과는 <표 4-2>와 같다.

현황조사 결과 표본 전체가 석유계 용제를 사용하는 세탁기기를 사용하고 있었으며, 표본의 95% 이상이 1인 혹은 부부 2인이 운영하는 가족 단위 사업이었다. 표본의 드라이 클리닝 기기 용량은 12~20 kg으로 평균 14 kg 용량의 세탁기기를 보유하고 있었고, 표본의 97% 이상이 세탁기기를 1대 보유하고 있었다. 표본의 면적은 17~165 m<sup>2</sup>로 평균 40 m<sup>2</sup>이며, 세탁량은 1,278~73,000 kg/yr로 평균 9,659 kg/yr이고, 용제 사용량은 84~1,685 kg/yr며, 평균 용제 사용량은 443 kg/yr이었다. 지역에 따라 가정용 세탁업의 세탁량, 용제 사용량, 면적 등은 최대값과 최소값이 1.5배 정도로 큰 차이는 없었다.

<표 4-2> 현황조사 결과요약

현황조사 일시	2016. 09. ~ 2016. 10. (약 60일간)
현황조사 대상	전국 가정용 세탁업
표본 수	505
현황조사 목적	세탁업 현황 파악 세탁업 VOC 배출계수 개발을 위한 데이터 확보
현황조사 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 표본의 100%가 석유계 용제를 사용하는 세탁기기를 사용하고 있음.</li> <li>② 표본의 95% 이상이 1인 혹은 부부 2인이 운영하는 가족단위 사업임.</li> <li>③ 표본의 97% 이상이 드라이클리닝 세탁기기를 1대 보유하고 있음.</li> <li>④ 표본의 드라이클리닝 기기의 용량은 12~20 kg이며, 평균 14 kg 용량의 세탁기기를 보유하고 있음.</li> <li>⑤ 표본의 세탁량은 1,278~73,000 kg/yr이며, 평균 세탁량은 9,659 kg/yr임.</li> <li>⑥ 표본의 용제 사용량은 84~1,685 kg/yr이며, 평균 용제 사용량은 443 kg/yr임.</li> <li>⑦ 표본의 면적은 17~165 m<sup>2</sup>이며, 평균 40 m<sup>2</sup>임.</li> <li>⑧ 표본은 지역에 따라 큰 차이는 없으나 세탁량, 용제 사용량, 면적 등은 1.5배 수준의 차이를 보임.</li> </ul>

## 2. 세탁업 VOC 배출계수 개발

세탁업에서 사용하는 용제의 양은 전량 대기 중으로 방출되므로, 본 연구에서는 세탁업에서 사용하는 용제의 양을 세탁업 VOC 배출량으로 간주하였다.

현황조사를 통해 확보한 데이터를 바탕으로 세탁업 소재지, 종사자 수, 사업장 면적, 세탁량 등 여러 배출 조건에 따른 세탁업 VOC 배출계수를 산정한 결과, 통계적으로 가장 설득력이 있는 세탁업 VOC 배출계수는 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수와 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수였다.

본 연구에서는 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수와 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수에 대해 범주별로 적용이 가능한 배출계수를 산정하여 더욱 상세한 배출계수를 개발하고자 한다. 이를 위해 통계프로그램 SPSS 21과 R 3.4.0을 사용하였으며, R 3.4.0을 이용하여 세탁량을 범주화한 후 SPSS 21을 이용하여 배출계수를 개발하는 순서로 연구를 진행하였다.

### 가. 세탁량의 범주화

세탁량의 범주화를 위해 Binary Segmentation 방법을 통해 세탁량의 changepoint를 찾은 결과 changepoint는 108, 223, 436, 493, 503번째에서 발생하였으며 이때의 세탁량은 5,110 kg/yr, 7,847.5 kg/yr, 14,235.0 kg/yr, 24,911.25 kg/yr, 31,481.25 kg/yr이다. 관측된 changepoint는 현장에서의 적용이 어려운 점을 고려하여 근삿값인 5,000 kg/yr, 8,000 kg/yr, 14,000 kg/yr, 25,000 kg/yr, 31,000 kg/yr를 범주화에 사용하였으며, 관측치에 따라 설정된 집단은 <표 4-3>과 같다.

〈표 4-3〉 changepoint에 따른 범주화

changepoint에 따른 범주화				
집단 1 :	0	<	세탁량	≤ 5,000 kg/yr
집단 2 :	5,000 kg/yr	<	세탁량	≤ 8,000 kg/yr
집단 3 :	8,000 kg/yr	<	세탁량	≤ 14,000 kg/yr
집단 4 :	14,000 kg/yr	<	세탁량	≤ 25,000 kg/yr
집단 5 :	25,000 kg/yr	<	세탁량	≤ 31,000 kg/yr
집단 6 :	31,000 kg/yr	<	세탁량	

#### 나. 범주별 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수

〈표 4-3〉에서 설정한 그룹의 연간 용제 사용량에 따른 이질성을 검정하기 위한 평균비교에 앞서 각 집단의 정규성 검정을 수행하였다. 정규성 검정의 가설은 아래와 같으며, 모든 집단의 유의확률이  $p < 0.05$ 일 때 귀무가설을 기각하여 정규분포를 따르지 않는다.

귀무가설( $H_0$ ) : 자료의 분포가 정규분포를 따른다.

대립가설( $H_1$ ) : 자료의 분포가 정규분포를 따르지 않는다.

본 연구의 표본은 505개로 표본 수가 2000개 이하이므로 Shapiro-Wilk test 검정 결과를 따른다. 정규성 검정결과는 〈표 4-4〉와 같다. 집단5의 유의확률만 0.05 이상으로 귀무가설을 채택하여 정규분포를 따르고, 나머지 집단 1, 2, 3, 4, 6의 유의확률은  $p < 0.05$ 로 귀무가설을 기각하여 정규분포를 따르지 않는다. 따라서 표본의 연간 용제 사용량은 정규분포를 따르지 않음

을 알 수 있다.

<표 4-4> 집단별 연간용제 사용량에 대한 정규성 검정

집단	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
1	0.089	102	0.043000	0.952	102	0.001312
2	0.154	125	0.000002	0.937	125	0.000021
3	0.117	201	0.000010	0.940	201	0.000032
4	0.162	64	0.001120	0.890	64	0.000825
5	0.179	8	0.200428	0.971	8	0.903154
6	0.432	5	0.003594	0.619	5	0.001648

모든 집단의 분포가 정규분포를 따르지 않으므로 비모수검정 Kruskal-Wallis test의 대응별 비교를 통해 집단의 이질성을 검정하였으며, 집단의 대응별 비교 결과는 <표 4-5>와 같다.  $p < 0.05$ 를 음영으로 표시하였다.

<표 4-5> 연간용제 사용량에 대한 Kruskal-Wallis test의 대응별 비교

표본-표본	검정 통계량	표준 오차	표준 검정 통계량	유의수준	조정된 유의수준
집단1-집단2	-80.314	19.400	-4.141	0.000111	0.001012
집단1-집단3	-98.544	17.675	-5.575	0.000312	0.000003
집단1-집단4	-132.288	23.185	-5.706	0.000005	0.000002
집단1-집단5	-134.288	53.382	-2.516	0.012134	0.178002
집단1-집단6	-275.125	66.597	-4.131	0.000009	0.001623
집단2-집단3	-18.202	16.562	-1.099	0.272132	1.000000
집단2-집단4	-51.946	22.348	-2.324	0.020315	0.302546
집단2-집단5	-53.946	53.024	-1.017	0.309625	1.000000
집단2-집단6	-194.784	66.310	-2.937	0.003124	0.050212
집단3-집단4	-33.744	20.868	-1.617	0.106122	1.000000
집단3-집단5	-35.744	52.418	-0.682	0.495175	1.000000
집단3-집단6	-176.582	65.826	-2.683	0.007003	0.110245
집단4-집단5	-2.000	54.523	-0.037	0.971062	1.000000
집단4-집단6	-142.838	67.514	-2.116	0.034612	0.516242
집단5-집단6	-140.838	82.887	-1.699	0.089123	1.000000

\*p<0.05를 음영으로 표시하였음.



대응별 비교 결과, 집단 2, 3, 4, 5, 6의 그룹이 통계적으로 차이가 없어 집단2, 3, 4, 5, 6을 하나의 집단으로 그룹화하였으며, 집단1에 해당하는 GroupA를 1로, 집단 2, 3, 4, 5, 6에 해당하는 GroupB를 2로 코딩하였다. 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수 도입을 위해 최종적으로 설정한 범주는 <표 4-6>과 같다.

<표 4-6> 업소 기준 VOC 배출계수 개발을 위한 세탁량 범주

업소 기준 VOC 배출계수 개발을 위한 세탁량 범주						
GroupA :	0	<	세탁량	≤	5,000	kg/yr
GroupB :	5,000 kg/yr	<	세탁량			

최종적으로 설정된 범주별 연간 용제 사용량을 산정하기 위해 선형회귀 분석을 수행하였다. 회귀분석에 앞서 최종적으로 설정된 GroupA, GroupB가 통계적으로 유의성을 가지는지 검정하기 위해 정규성 검정을 수행하였으며, 결과는 <표 4-7>과 같다. Shapiro-Wilk test의 유의확률이 GroupA, GroupB 모두  $p < 0.05$ 로 표본은 귀무가설( $H_0$ )을 기각하여 정규분포를 따르지 않는다.

<표 4-7> 업소 기준 배출계수 개발을 위한 범주의 정규성 검정

Group	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
A	0.160	102	0.000032	0.813	102	0.000021
B	0.166	403	0.000052	0.847	403	0.000195

연간 용제 사용량에 대한 표본의 분포가 정규분포를 따르지 않으므로, 비

모수 검정을 통해 집단의 이질성을 검정하였다. 집단이 2개이므로 Mann-Whitney U test 비모수 통계검정방법을 사용하였다. 검정 결과, 두 집단 유의확률은  $p < 0.05$ 로 두 그룹 간 연간 용제 사용량은 통계적으로 유의한 차이가 있음을 알 수 있다.

<표 4-8> Mann-Whitney U test 비모수 통계검정방법 결과

비모수 검정	연간 세탁량(kg/yr)
Mann-Whitney의 U	12319.000
Wilcoxon의 W	17572.000
Z	-6.277
근사 유의확률(양측)	0.000005

각 그룹의 연간 용제 사용량을 산정하기 위해 선형회귀 분석을 실시하였으며, 회귀분석 결과는 <표 4-9>와 같다.

<표 4-9> 회귀분석 결과 모형요약

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	194.323**	46.654		4.165	0.000037
Group	138.255**	25.324	0.237	5.460	0.000001
adj R <sup>2</sup> :0.54    F:29.807**    p=0.000054					

모형 각각의 유의확률이  $p < 0.05$ 이므로 모든 변수가 종속변수인 연간용제

사용량에 영향을 준다. 계수표 에서 비표준화 계수 B값은 부호가 양수이므로 세탁량이 많을수록 용제 사용량이 증가함을 알 수 있다. 수정된 결정계수인 adj R<sup>2</sup> 설명력 혹은 결정계수라고 하며, 독립변수에 의해 설명되는 종속변수의 비율을 나타낸다. 수정된 결정계수는 0.54로 세탁량이 세탁량 기준 용제 사용량을 설명할 수 있는 설명력은 54%로 도출된다. 회귀분석 결과를 통해 산출된 회귀식은 식 (4-1)과 같다. 식 (4-1)에서 y는 연간 용제 사용량(kg/yr)을 의미하며, x는 Group을 의미한다. 이 때, Group A와 Group B 범주에서 각각 x=1, x=2를 대입하여 연간 용제 사용량 y를 산출한다.

$$y = 138.255 \times x + 194.323 \quad (4-1)$$

여기서,

*y*: 연간용제사용량(kg/yr)

*x*: Group

식 (4-1)을 이용하여 산출한 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수는 <표 4-10>과 같으며, ‘0 < 세탁량 ≤ 5,000 kg/yr’의 세탁업에서는 332.578 kg/업소·yr의 용제가 배출되며, ‘5,000 kg/yr < 세탁량’의 세탁업에서는 470.833 kg/업소·yr의 용제가 배출된다.

<표 4-10> 범주별 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수

Group	세탁량 범주(kg/yr)	업소 기준 세탁업 VOC 배출계수 (kg 용제 사용량/업소 · yr)
A	0<세탁량≤5,000	332.578
B	5,000<세탁량	470.833
모든 범주		443.001

다. 범주별 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수

<표 4-3>에서 설정한 집단의 세탁량 기준 용제 사용량에 대한 통계적 유의성을 검정하기 위해 각 집단의 정규성 검정을 수행하였다. 정규성 검정 결과는 <표 4-11>과 같으며, Shapiro Wilk-test에서 집단6의 유의확률만 0.05 이상으로 정규분포를 따르고 나머지 집단 1, 2, 3, 4, 5는  $p < 0.05$ 로 세탁량 기준 용제 사용량은 정규분포를 따르지 않음을 알 수 있다.

<표 4-11> 집단의 세탁량 기준 용제 사용량에 대한 정규성 검정

집단	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
1	0.160	102	0.000002	0.813	102	0.000020
2	0.135	125	0.000005	0.947	125	0.000005
3	0.181	201	0.000013	0.846	201	0.000013
4	0.182	64	0.000322	0.864	64	0.000059
5	0.278	8	0.069132	0.801	8	0.029462
6	0.254	5	0.200151	0.844	5	0.176846

모든 집단의 분포가 정규분포를 따르지 않으므로, 비모수검정 Kruskal-Wallis의 대응별 비교를 통해 집단의 이질성을 검정하였으며, 집단의 대응별 비교결과는 <표 4-12>와 같다.  $p < 0.05$ 를 음영으로 표시하였다.

<표 4-12> 세탁량 기준 용제 사용량에 대한 Kruskal-Wallis test의 대응별 비교

표본-표본	검정 통계량	표준 오차	표준 검정 통계량	유의수준	조정된 유의수준
집단1-집단2	104.179	19.471	5.351	0.000003	0.000001
집단1-집단3	197.108	17.740	11.111	0.000032	0.000015
집단1-집단4	269.909	23.270	11.599	0.000054	0.000004
집단1-집단5	362.877	53.577	6.773	0.000005	0.000048
집단1-집단6	346.727	66.839	5.188	0.000042	0.000004
집단2-집단3	92.928	16.622	5.591	0.000124	0.000451
집단2-집단4	165.729	22.429	7.389	0.000005	0.000004
집단2-집단5	258.698	53.217	4.861	0.000065	0.000005
집단2-집단6	242.548	66.551	3.645	0.000001	0.004513
집단3-집단4	72.801	20.944	3.476	0.001054	0.008124
집단3-집단5	165.770	52.608	3.151	0.002154	0.024816
집단3-집단6	149.620	66.065	2.265	0.024	0.353100
집단4-집단5	92.969	54.721	1.699	0.089	1.000002
집단4-집단6	76.819	67.760	1.134	0.257	1.000465
집단5-집단6	-16.150	83.189	-0.194	0.846	1.000084

\*p<0.05를 음영으로 표시하였음.

대응별 비교 결과, 집단 4, 5, 6이 통계적으로 차이가 없어 집단 4, 5, 6은 하나의 그룹으로 그룹화하였다. 집단1에 해당하는 Group1을 1로, 집단2에 해당하는 Group2를 2로, 집단3에 해당하는 Group3을 3으로, 집단 4, 5, 6에 해당하는 Group4를 4로 코딩하였으며, 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수 도입을 위해 최종적으로 설정한 범주는 <표 4-13>과 같다.

<표 4-13> 세탁량 기준 VOC 배출계수 개발을 위한 세탁량 범주

세탁량 기준 VOC 배출계수 개발을 위한 세탁량 범주				
Group1 :	0	<	세탁량	≤ 5,000 kg/yr
Group2 :	5,000 kg/yr	<	세탁량	≤ 8,000 kg/yr
Group3 :	8,000 kg/yr	<	세탁량	≤ 14,000 kg/yr
Group4 :	14,000 kg/yr	<	세탁량	

범주화한 그룹의 이질성검정을 위한 평균비교에 앞서 집단의 정규분포 여부를 파악하기 위해 정규성 검정을 수행하였다. 정규성 검정 결과는 <표 4-14>와 같으며, Shapiro-Wilk test에서 모든 집단의 유의확률이  $p < 0.05$ 이므로 모든 집단은 정규분포를 따르지 않는다.

<표 4-14> 세탁량 기준 배출계수 개발을 위한 범주의 정규성 검정

Group	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	통계량	자유도	유의확률	통계량	자유도	유의확률
1	0.128	102	0.000003	0.833	102	0.000002
2	0.110	125	0.001242	0.923	125	0.000008
3	0.112	201	0.000005	0.904	201	0.000043
4	0.218	77	0.000024	0.825	77	0.000028

세탁량 기준 용제 사용량에 대한 집단의 분포가 정규분포를 따르지 않으므로, 비모수 통계검정방법을 통해 집단의 이질성을 검정하였다. 집단이 3개 이상이므로 Kruskal-Wallis 비모수 통계검정방법 결과를 따른다. Kruskal-Wallis 비모수 통계검정방법의 대응별 비교 결과는 <표 4-15>와 같으며,  $p < 0.05$ 를 음영으로 표시하였다. 4개 그룹의 대응별 비교 결과 모든 그룹간 유의확률이  $p < 0.05$ 로 그룹간 이질성이 통계적으로 유의하다는 것을 알 수 있다.



<표 4-15> 세탁량 기준 용제 사용량에 대한 Kruskal-Wallis test의 대응별 비교

표본-표본	검정 통계량	표준 오차	표준 검정 통계량	유의수준	조정된 유의수준
집단1-집단2	104.179	19.471	5.351	0.000001	0.000001
집단1-집단3	197.108	17.740	11.111	0.000002	0.000002
집단1-집단4	92.928	16.622	5.591	0.000002	0.000002
집단2-집단3	284.556	22.029	12.917	0.000013	0.000013
집단2-집단4	180.377	21.140	8.533	0.000021	0.000021
집단3-집단4	87.448	19.557	4.471	0.000004	0.000004

\*p<0.05를 음영으로 표시하였음.

최종적으로 설정된 4개의 Group별로 세탁량 기준 용제 사용량에 미치는 영향을 알아보기 위하여 통계프로그램 SPSS 21의 더미 변수 회귀분석을 사용하였다. <표 4-13>에서 범주화한 4개의 Group 중 Group4를 레퍼런스로 다른 세 집단 Group1, Group2, Group3을 가변수인 Dummy1, Dummy2, Dummy3으로 설정하여 더미 변수 회귀분석을 하였다(<표 4-16> 참조).

Dummy1은 Group1의 범주인 ‘0 < 세탁량 ≤ 5,000 kg/yr’ 에 해당하는 모든 변수를 1로 코딩하고, 나머지 Group2, Group3, Group4에 해당하는 변수를 0으로 코딩하였다. Dummy2은 Group2의 범주인 ‘5,000 kg/yr < 세탁량 ≤ 8,000 kg/yr’ 에 해당하는 모든 변수를 1로 코딩하고, 나머지 Group1, Group3, Group4에 해당하는 변수를 0으로 코딩하였다. Dummy3은 Group3의 범주인 8,000 kg/yr < 세탁량 ≤ 14,000 kg/yr’ 에 해당하는 모든 변수를

1로 코딩하고, 나머지 Group1, Group2, Group4에 해당하는 변수를 0으로 코딩하였다.

<표 4-16> 세탁량 기준 VOC 배출계수 더미 변수 작성

변수명	설 명			
Y	세탁량 기준용제 사용량 (kg 용제 사용량/kg 세탁량)			
Dummy1(d <sub>1</sub> )	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
	1	0	0	0
	Group 1에 해당하는 더미 변수 설정			
Dummy2(d <sub>2</sub> )	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
	0	1	0	0
	Group 2에 해당하는 더미 변수 설정			
Dummy3(d <sub>3</sub> )	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
	0	0	1	0
	Group 3에 해당하는 더미 변수 설정			

범주형 변수를 코딩한 Dummy1, Dummy2, Dummy3을 독립변수로 설정하고 세탁량 기준 용제 사용량을 종속변수로 설정하여 회귀분석을 하였으며, 회귀분석 결과는 <표 4-17>과 같다. 모형 각각의 유의확률이 p<0.05이므로 집단 내 독립변수인 세탁량이 종속변수인 세탁량 기준 용제 사용량에 영향

을 준다는 것을 알 수 있다. adj R<sup>2</sup>은 0.368으로, 세탁량이 세탁량 기준 용제 사용량을 설명할 수 있는 설명력은 36.8%이다.

<표 4-17> 세탁량 기준 VOC 배출계수 더미 변수 회귀분석 결과 모형요약

모형	비표준화 계수		표준화계수	t	유의확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	0.031**	0.004		8.768	0.000002
dummy1(d1)	0.071**	0.005	0.728	15.166	0.000013
dummy2(d2)	0.032**	0.004	0.349	7.057	0.000004
dummy3(d3)	0.014**	0.004	0.181	3.481	0.000542
adj R <sup>2</sup> :0.368    F:99.215**    p=0.000001					

\* P < 0.05    \*\* P < 0.01

더미 변수 회귀분석 결과에 따른 회귀방정식은 비표준화계수 B로 이루어지며, 회귀방정식은 식 (4-2)와 같다. 식 (4-2)에서 y는 원단위 용제 사용량을 나타내며, d<sub>x</sub>는 더미변수를 의미한다. Group4를 레퍼런스로 설정하고 Group1을 Dummy1로, Group2를 Dummy2로, Group3을 Dummy3으로 설정하였으므로, 식 (4-2)에서 Group1의 세탁량 기준 용제 사용량 y는 d1 = 1, d2 = 0, d3 = 0을 대입하여 산정할 수 있다. 마찬가지로 Group2는 d1 = 0, d2 = 1, d3 = 0을, Group3은 d1 = 0, d2 = 0, d3 = 1을, 레퍼런스인 Group4는 d1 = 0, d2 = 0, d3 = 0을 대입하여 산정하였다.

$$y = 0.031 + 0.071 \times d1 + 0.032 \times d2 + 0.014 \times d3 \quad (4-2)$$

여기서,

$y$ : 원단위 용제 사용량( $kg$ 용제사용량/ $kg$ 세탁물공급량)

$d_x$ : *Dummy<sub>x</sub>*

산출한 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수는 <표 4-18>과 같다. ‘0 < 세탁량 ≤ 5,000 kg/yr’의 세탁업에서의 VOC 배출계수는 0.102 kg 용제 사용량/kg 세탁량, ‘5,000 kg/yr < 세탁량 ≤ 8,000 kg/yr’의 세탁업에서의 VOC 배출계수는 0.063 kg 용제 사용량/kg 세탁량, ‘8,000 kg/yr < 세탁량 ≤ 14,000 kg/yr’의 세탁업에서의 VOC 배출계수는 0.045 kg 용제 사용량/kg 세탁량, ‘14,000 kg/yr < 세탁량’의 세탁업에서의 VOC 배출계수는 0.031 kg 용제 사용량/kg 세탁량이며, 각 범주에 따라 세탁량 기준 배출계수를 사용하여 세탁업 VOC 배출량을 산정할 수 있다.

<표 4-18> 범주별 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수

Group	세탁량 범주(kg/yr)	세탁량 기준세탁업 VOC 배출계수 (kg 용제 사용량/kg 세탁량)
1	0<세탁량 ≤ 5,000	0.102
2	5,000<세탁량 ≤ 8,000	0.063
3	8,000<세탁량 ≤ 14,000	0.045
4	14,000<세탁량	0.031
	모든 범주	0.059

### 제3절 세탁업 VOC 배출계수 분석

본 연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수를 기존 및 선행연구에서 산정한 세탁업 VOC 배출계수와 비교 분석하였다. 현재까지 세탁업 VOC 배출계수를 범주별로 산정한 선행연구는 없어 본 연구에서 모든 범주를 대상으로 산정한 세탁업 VOC 배출계수와 비교하였다. 또한, 본 연구에서 개발한 두 종류의 세탁업 VOC 배출계수를 비교하기 위하여 각 배출계수를 이용하여 표본의 총 세탁업 VOC 배출량을 산정하였다.

#### 1. 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수

본 연구에서 개발한 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수는 ‘443.001 kg/업소·yr’로 2005년 국립환경연구원에서 개발한 기존 세탁업 VOC 배출계수인 ‘610.368 kg/업소·yr’의 약 72.58% 수준으로 다소 낮게 측정되었다 (<표 4-19> 참조).

본 연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수와 기존 세탁업 VOC 배출계수와의 차이의 원인은 여러 가지가 있을 수 있으며, 대표적으로 2가지를 제시할 수 있다.

첫째, 기존 세탁업 VOC 배출계수가 오래 전에 개발되어 세탁산업의 현황을 반영하지 못하고 있다. 기존 세탁업 VOC 배출계수가 개발된 2005년에 비해 최근에는 드라이클리닝을 하는 양복 등의 의류보다 물세탁이 가능한 의류를 많이 소비하는 추세이며, 홈 드라이클리닝의 등장으로 세탁업소에 드라이클리닝을 의뢰하지 않고 집에서 드라이클리닝을 하여 세탁업에서 사용하는 용제 사용량이 다소 감소한 것으로 추정된다.

둘째, 기존 배출계수 개발과정에서 지역성을 고려하지 않아 기존 세탁업 VOC 배출계수가 다소 높게 산정되었을 가능성이 있다. 본 연구에서 수행한

현황조사에 따르면, 용제 사용량은 지역성을 나타내며 최솟값과 최댓값의 비가 약 1.5배 정도였다. 본 연구에서는 지역성을 고려하여 전국의 가정용 세탁업을 표본으로 현황조사를 수행했지만 기존 배출계수 개발과정에서는 2개의 도시를 대상으로 설문조사를 수행한 결과를 바탕으로 전국의 세탁업 VOC 배출계수를 산정하였기 때문에 실제 배출계수보다 다소 높게 측정된 것으로 보인다.

위 두 가지 원인을 고려하였을 때, 본 연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수가 기존 세탁업 VOC 배출계수보다 다소 낮게 측정되었으나, 신뢰도 측면에서는 본 연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수가 기존 세탁업 VOC 배출계수보다 높은 것으로 판단된다.

<표 4-19> 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수

연구기관	배출계수(kg/업소·yr)	개발연도
국립환경연구원 (기존 세탁업 VOC 배출계수)	610.368	2005
본 연구	443.001	2018

## 2. 세탁량에 따른 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수

우리나라 세탁업 VOC 배출계수는 세탁량 기준으로 개발된 것이 없기 때문에 본 연구에서 개발한 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수 비교 대상으로 해외 세탁업 VOC 배출계수와 국내 선행연구를 사용하였다(〈표 4-20〉 참조).

해외 세탁업 VOC 배출계수 중 미국, 호주, 유럽의 배출계수와 본 연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수를 비교하였다. 배출계수가 한 가지로 제시된 우리나라와 달리 미국, 호주, 유럽의 세탁업 VOC 배출계수는 세탁기기의 종류별, 용제 배출공정별, 세탁방식 등에 따라 세분되어 있다. 해외배출계수 중 우리나라와 완전히 같은 조건의 배출계수는 없기 때문에 우리나라의 세탁업 환경과 가장 유사한 조건의 세탁업 VOC 배출계수와 비교하였다.

미국의 AP-42, 호주 EET의 세탁업 VOC 배출계수 중 우리나라와 가장 유사한 조건의 배출계수는 'Petroleum(transfer process)' 항목의 배출계수인 '0.28 kg 용제 사용량/kg 세탁량'이며, 유럽의 세탁업 VOC 배출계수 중 우리나라와 가장 유사한 조건의 배출계수는 'Open-circuit machines for halogenated solvents without carbon filter' 항목의 배출계수인 '0.125 kg 용제 사용량/kg 세탁량'이다.

해외 세탁업 VOC 배출계수는 본 연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수인 '0.059 kg 용제 사용량/kg 세탁량'보다 2~4배 높았다. 이는 우리나라 세탁업 조건과 가장 유사한 배출계수와 비교하였지만 해외 세탁산업의 환경이 우리나라 세탁산업 환경과 완전히 일치할 수 없기 때문에 차이가 발생하며, 비교한다고 해도 의미 있는 분석결과를 도출하기에는 어려움이 있다.

국내 선행연구에서 개발한 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수로는 2002년 환경부 『석유계 용제(Solvent)의 대기오염 기여도에 관한 조사·연구』

에서 개발한 ‘0.107 kg 용제 사용량/kg 세탁량’ 과 2014년 광운대학교 『소규모 VOC 배출시설 관리방안(안)』에서 개발한 ‘0.170용제 사용량/kg 세탁량’ 이 있으며, 이는 본 연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수인 ‘0.059 용제 사용량/kg 세탁량’ 보다 각각 1.8배, 2.9배 정도 높았다.

이는 연구방식의 차이에서 기인한 것으로 보인다. 앞선 두 선행연구에서는 실험을 통해 드라이클리닝 전후 세탁물의 무게 차를 측정한 결과를 바탕으로 전체 배출량을 산정하는 Bottom-Up방식으로 세탁업 VOC 배출계수 및 배출량을 산정하였고, 본 연구에서는 총 용제 사용량과 세탁량을 현황조사를 통해 확보한 데이터를 바탕으로 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수를 산정하는 Top-Down방식으로 연구를 진행하였다. 또한, 선행연구에서는 실험횟수가 각각 3회, 17회로 실험횟수가 적으며, 실험별로 세탁기기, 세탁조건, 사용 용제, 가동시간 등 실험요인을 달리 설정하여 전국을 대표하는 세탁업 VOC 배출계수를 정확히 산정하기에는 다소 한계가 있는 것으로 보인다.

<표 4-20> 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수

연구기관(국가)	배출계수 (kg 용제 사용량/kg 세탁량)	개발연도
EPA(미국)	0.280	1995
UNECE/EPEP Task Force(유럽)	0.125	2006
EET(호주)	0.280	1999
환경부(한국)	0.107	2002
광운대학교(한국)	0.170	2014
본 연구	0.059	2018



### 3. 세탁업 VOC 배출량 비교

본 연구에서 개발한 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수와 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수를 비교해보았다. 전국 세탁업에 도입하여 배출량을 산정하고자 하였으나, 우리나라에는 세탁업의 세탁량을 조사하고 있지 않아 본 연구의 표본을 대상으로 배출량을 산정하여 비교하였다. 현황조사 분석 결과 표본의 총 세탁업 VOC 배출량은 223,715 kg/yr였다.

본 연구에서 개발한 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수를 이용한 표본의 배출량 산정과정은 식 (4-3)과 같다. 식 (4-3)에서  $y$ 는 세탁업 VOC 배출량으로 업소수에 각 업소의 범주에 해당하는 VOC 배출계수를 곱하여 산정하였다.

$$\begin{aligned}
 y &= \sum_{x=A}^B \text{Group}x \text{ 업소수} \times \text{Group}x \text{ 세탁업 VOC배출계수} & (4-3) \\
 &= 102\text{업소} \times 332.578\text{kg/yr}\cdot\text{업소} + 403\text{업소} \times 470.833\text{kg/yr}\cdot\text{업소} \\
 &= 223,668 \text{ kg/yr}
 \end{aligned}$$

여기서,

$y$ : 세탁업 VOC 배출량 (kg/yr)

$x$ : Group

배출계수를 이용하여 배출량을 산정한 결과 표본의 VOC 배출량은 223,668 kg/yr로 산정되었으며, 이는 표본의 세탁업 VOC 배출량의 99.98%에 해당하는 값으로 실제보다 다소 낮게 측정되었으나 오차율이 1% 이하로 산정되었다.

본 연구에서 개발한 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수를 이용한 표본

의 배출량 산정과정은 식 (4-4)와 같다. 식 (4-4)에서  $y$ 는 세탁업 VOC 배출량으로 세탁량에 세탁량의 범주에 해당하는 VOC 배출계수를 곱하여 산정하였다.

$$y = \sum_{x=1}^4 (\text{Group } x \text{ 총 세탁물공급량} \times \text{Group } x \text{ 세탁업 VOC 배출계수}) \quad (4-4)$$

$$= 232,154 \text{ kg/yr}$$

여기서,

$y$ : 세탁업 VOC 배출량 (kg/yr)

$x$ : Group

배출계수를 이용하여 배출량을 산정한 결과 표본의 VOC 배출량은 232,154 kg/yr로 산정되었으며, 이는 표본의 세탁업 VOC 배출량의 103.77%에 해당하는 값으로 실제보다 다소 높게 측정되었으나 오차율이 5% 이하로 산정되었다.

본 연구에서 개발한 두 세탁업 VOC 배출계수를 이용하여 산정한 표본의 VOC 배출량을 비교한 결과, 두 배출계수 모두 5% 이하의 오차율을 나타냈다.

## 제5장 결 론

### 제1절 연구 요약

휘발성유기화합물은 자체 독성으로 인해 인체에 유해할 뿐만 아니라 오존 전구물질로 알려져 있다. VOC는 대기 중에서 오존 등 반응성이 큰 물질과 반응하여 초미세먼지로 전환됨으로서 대기오염에 영향을 끼칠 뿐만 아니라 간접온실가스로서 기후변화에도 영향을 미친다. 기후변화와 대기오염에 효과적으로 대응하기 위해서는 정확한 VOC 배출량 산정이 선행되어야 한다.

우리나라는 유기용제 사용에 의한 VOC 배출이 전체의 61.5%(2013년 기준)로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 유기용제를 사용하는 산업 중 세탁업의 경우 VOC 배출량이 적다는 이유로 VOC 배출계수 및 배출량 산정에 관한 연구가 부족한 상황이다. 14년 전에 개발된 기존 세탁업 VOC 배출계수는 업소에 일괄적으로 적용하는 610.368 kg/업소·yr로 오래 전에 개발되어 세탁업의 최근 현황을 반영하지 못하고 있으며, 배출 조건에 따라 세분되어 있지 않아 정확한 배출량 산정이 어렵다. 정확한 배출량 산정을 위해서는 배출 조건별로 세분된 배출계수가 개발되어야 한다.

세탁업의 조건이나 배출계수의 기준항목에 따라 배출계수는 다르게 산정된다. 우리나라 기존 세탁업 VOC 배출계수의 활동도는 업소 수이며, 해외 배출계수 및 국내 선행연구에서 가장 많이 사용하고 있는 활동도는 세탁량이다. 본 연구에서는 이 2가지를 활동도로 하는 범주별 배출계수를 개발하였으며, 배출계수 개발을 위해 현황조사와 통계 프로그램을 사용하였다.

연구결과, 업소 기준 세탁업 VOC 배출계수는 ‘ $0 < \text{세탁량} \leq 5,000 \text{ kg/yr}$ ’ 범주의 세탁업에서는 ‘ $332.578 \text{ kg/업소} \cdot \text{yr}$ ’, ‘ $5,000 \text{ kg/yr} < \text{세}$

탁량' 범주의 세탁업에서는 '470.833 kg/업소·yr' 으로 개발되었다. 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수는 '0 < 세탁량 ≤ 5,000 kg/yr' 범주의 세탁업에서는 '0.102 kg 용제 사용량/kg 세탁량', '5,000 kg/yr < 세탁량 ≤ 8,000 kg/yr' 범주의 세탁업에서는 '0.063 kg 용제 사용량/kg 세탁량', '8,000 kg/yr < 세탁량 ≤ 14,000 kg/yr' 범주의 세탁업에서는 '0.045 kg 용제 사용량/kg 세탁량', '14,000 kg/yr < 세탁량' 범주의 세탁업에서는 '0.031 kg 용제 사용량/kg 세탁량' 으로 개발되었다.

본 연구에서 개발한 두 배출계수의 신뢰도를 검증하기 위해 국내외 및 선행연구에서 개발한 세탁업 VOC 배출계수와 비교하였으며, 두 배출계수를 이용하여 산정한 표본의 세탁업 VOC 배출량 산정을 통해 두 배출계수 간의 차이도 비교 분석하였다.

본 연구에서 개발한 연간 세탁업 VOC 배출계수를 기존 VOC 배출계수와 비교한 결과, 기존 세탁업 VOC 배출계수의 약 72.58% 수준으로 다소 낮게 측정되었다. 기존 배출계수 개발 당시 표본을 2개의 도시로 선정하여 데이터를 확보하였으며, 이를 기반으로 전국을 대표하는 세탁업 VOC 배출계수를 개발한 결과 지역성에 의해 다소 높게 측정된 것으로 판단된다. 또한, 기존 배출계수가 오래전에 개발되어 최근 세탁산업의 환경을 반영하지 못하고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 개발한 세탁량에 따른 세탁량 기준 세탁업 VOC 배출계수를 국내 선행연구 및 해외 세탁업 VOC 배출계수와 비교한 결과에서도 본 연구에서 개발한 배출계수가 낮게 측정되었다. 해외 세탁업 VOC 배출계수의 경우, 우리나라의 세탁산업의 환경과 가장 유사한 조건의 세탁업 VOC 배출계수와 비교하였으나 해외 세탁산업 환경이 우리나라 세탁산업 환경과 완전히 일치할 수 없기 때문에 배출계수간의 차이가 발생한다.

개발된 배출계수의 정확도를 분석하기 위해 두 배출계수를 이용하여 표

본 VOC 총 배출량을 산정하였다. 산정 결과, 업소 기준 VOC 배출계수를 이용하여 산정한 총 VOC 배출량은 223,668 kg/yr이며, 세탁량 기준 VOC 배출계수를 이용하여 산정한 총 VOC 배출량은 232,154 kg/yr이었다. 이는 표본의 VOC 총 배출량 223,715 kg/yr의 각각 99.98%와 103.77%로서 두 배출계수를 이용한 배출량 모두 높은 정확도를 보였다.

## 제2절 연구의 한계 및 시사점

본 연구에서는 가정용 세탁업에서 발생하는 VOC 배출계수를 개발하였으며, 세탁량에 따라 범주별로 배출계수를 제시하고 있다. 필터의 유무 및 종류, 세탁기기 형태, 배출공정, 필터의 종류 등에 따라 세탁업 VOC 배출계수는 달라진다. 본 연구의 표본 모두 석유계 세탁기기를 사용하고 있어 퍼크로 용제를 사용하는 세탁업을 대상으로 연구를 하지 못하였다. 또한, 필터의 종류, 배출공정별로 세분된 배출계수를 산정하지 못하였다. 용제 및 필터의 종류, 세탁기 형태 등 세탁조건의 조사가 수행되어 이를 기반으로 다양한 세탁업 VOC 배출계수가 개발된다면 상황에 따라 적합한 세탁업 VOC 배출계수 적용을 통해 더욱 정확한 세탁업 VOC 배출량을 산정할 수 있을 것이다.

우리나라는 가정용 세탁업의 세탁기에서 발생하는 VOC 유증기의 발암성을 이유로 2005년 세탁업 유증기 회수기 설치를 의무화 하였으며, 회수기를 사용하여 드라이클리닝 용제를 재활용하면 VOC 발생량과 비용을 절반으로 줄일 수 있다. 하지만, 이후 1년에 10여 건씩 회수기 원인으로 의심되는 폭발사고 발생으로 2012년 의무화를 폐지하였으며, 사용 의무화가 폐지되다 보니 회수기에 대한 안전규정도 없고 점검도 이루어지지 않고 있다. 연구를 통해 안전한 유증기 회수기를 개발하여 상용화한다면 가정용 세탁업에서 발생하는 VOC 발생량을 절반수준으로 감소시킬 수 있을 것이다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다.

첫째, 세탁업 VOC 배출계수의 활동도로 사용될 수 있는 다양한 요인을 제시하였으며, 세탁업 현황을 파악하고 배출 조건별 VOC 배출특성의 기초 자료를 확보하였다.

둘째, 일괄적으로 적용하는 배출계수가 아닌 범주별로 적용 가능한 범주

별 배출계수를 개발하였으며, 배출계수 개발방법을 제시하였다. 이를 통해 정확한 VOC 배출량을 산정하였다.

셋째, 배출계수 개발에 통계적 기법을 활용하였으며, 이는 유사한 배출계수 개발에 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 강원대학교, 2012, 『대기배출원의 VOC 배출계수 개선을 위한 기획연구』, 인천: 국립환경과학원
- 강원대학교, 2002, 『석유계 용제(Solvent)의 대기오염 기여도에 관한 조사·연구』, 세종: 환경부
- 강인선, 2016, “염소계 VOC 의 UV 광분해 연구 : 제거율 및 부산물,” , Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, 33(2), pp.87-96,
- 건국대학교, 2007, 『선진국의 휘발성유기화합물(VOC) 배출저감 사례분석을 통한 국내 적용방안 연구』, 인천: 국립환경과학원.
- 경상북도 보건환경연구원, <http://air.gb.go.kr>
- 광운대학교, 2014, 『소규모 VOC 배출시설 관리방안(안)』, 세종: 환경부.
- 국가통계포털, <http://kosis.kr/index/index.do>
- 국립환경과학원, 2016, 『2014 국가 대기오염물질 배출량』, NATIONAL AIR POLLUTANTS EMISSION, 11-1480523-000883-10.
- 국립환경과학원, 2013, 『국가 대기오염 배출량 산정방법 편람(Ⅲ)』, 인천: 국립환경과학원
- 국립환경연구원, 2005, 『대기 Inventory 작성과 배출계수 개발 및 오염배출량 산정 연구』, 세종: 환경부
- 김익수, 이승천, 이광식, 안경수, 이원영, 정권, 김주형, 김민영, 2010, “대기 중 VOC의 POCP 기여도 평가,” , 『한국대기환경학회』, p.451-453.
- 김재혁, 유경선, 2011, “세탁소 VOC 관리현황 고찰 및 정책제언,” , 『환경정책』, 25(3), p.139-171.
- 김혜련, 2009, 국가온실가스인벤토리시스템 구축



노경섭, 2014, 『제대로 알고 쓰는 논문 통계분석 SPSS&AMOS21』, 서울 : 한빛아카데미

논문작성에 필요한 SPSS/AMOS 통계분석방법, 21세기사, 송지준, 2009

박옥현 외 8인, 2016, “소규모 세탁소 VOC 발생 특성과 종사자의 건강에 미치는 영향,” , 『한국산업보건학회지』, 26(2), p.159-169.

이승천, 정호진, 이순화, 김영호, 허미숙, 2013, “POCP 지수를 이용한 서울 지역 VOC의 오존 생성 기여도 평가,” , 『환경독성보건학회』, p.208-209.

이일현, 2014, 『easy flow 회귀분석』, 서울: 한나래 아카데미

전라남도 보건환경연구원, <http://www.jihe.go.kr>

(주)그린솔루스, 2015, 『생활주변 VOC(휘발성유기화합물) 관리방안 마련 연구』, 세종: 환경부

천년담양 호남기후변화체험관, <http://gihoo.damyang.go.kr>

최용흠, 2004, “세탁소 VOC의 배출량 산정과 오염원의 특성에 따른 모델 평가에 관한 연구,” 석사학위 논문, 건국대학교, 서울.

최유진, 김운수, 2010, 『서울시 주요 대기관리정책의 복합영향 분석』, 서울: 서울시정개발연구원

최은화, 2012, “비메탄계 휘발성유기화합물에 의한 간접 온실효과의 산출,” , 『한국환경과학회지』, 21(2), p.165-179.

환경부, 2017, 『환경백서』, 11-148,0000-000586-10.

환경부, 2009, 『대기환경연보(2008)』

EEA(European Environment Agency), 2016, 『EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016』

EEA(ENVIRONMENTAL AUSTRALIA), 1999, 『Emissions Estimation Techniques Manual for Dry Cleaning』

EPA(ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY), 1995, 『AP-42』

Ministry of the Environment, 2017, 『National Greenhouse Gas Inventory  
Report of JAPAN』

UNFCCC, 2006, Updated UNFCCC reporting guidelines on annual  
inventories following incorporation of the provisions of decision  
14/CP.11.

## **Abstract**

### Development of VOC Emission Factor for Dry Cleaning Business

Sunhee Jung

Cooperative Cause for Climate Change

The Graduate School

Sejong University

VOCs(Volatile Organic Compounds) are not only harmful to the human body due to their toxicity, but also are known as ozone precursors. VOCs react with highly reactive substances such as ozone in the atmosphere and are converted into ultrafine dust, which seriously affects air pollution. According to IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), VOCs are indirect greenhouse gases that affect climate change.

VOC emissions are mainly caused by human activities. In Korea, VOC emissions from organic solvents account for 61.5% of total emissions (as of 2013). There is not much research on the estimate of VOC emissions and emission factors in dry cleaning industry. Because, there is the small amount of VOC emissions in dry cleaning industry compared to the construction, Ship, and painting facilities that emit large amounts of VOC in the industries using organic solvents. However, the solvent used in the Dry cleaning industry is not only discharged into the air without a separate recovery device, but also has a

large impact on the human body because it is mainly located in a densely populated city.

In developed countries, VOC emission factors are varied according to the emission conditions and activity level, but Korea presents only one of the business standard emission factors. The current emission factor (610.368 kg / yr) developed 14 years ago has been developed a long time ago and does not reflect the recent status of the dry cleaning industry. In order to estimate the correct emissions, a detailed emission factor should be developed for each emission condition.

If the amount of textile treated is different, the amount of VOC emissions from dry cleaning business also changes. Therefore, this study categorizes the amount of textile treated into statistically significant groups and then presents the emission factors for the categorized groups. The activity of the emission factor was developed based on the business like the current emission factor and the textile treated which is most used as an activity in the overseas emission factor.

Data which is necessary for the emission factor development are obtained through the survey. Based on the obtained data, the emission factor is developed by the top-down method using the statistical program. 505 samples of the nationwide survey are conducted with the cooperation of Korea Federation of Laundry Service. Statistical programs R 3.4.0 and SPSS 21 are used for data analysis and development of emission factor.

The Business base VOC emission factor for dry cleaning business is 332.578~572.662 kg solvent consumption/business·yr. The average amount of

solvent consumption is 443.001 kg solvent consumption/business·yr. The amount of textile treated base VOC emission factor for dry cleaning business is 0.031~0.102 kg solvent consumption/kg textile treated. The average amount of textile treated and the emission factor are negatively correlated.

To compare the two emission factors, the VOC emission quantity of the entire sample are calculated. As a result, the total VOC emissions of the sample, which is calculated by using the business base VOC emission factor for dry cleaning business, is 223,668 kg/yr. The total VOC emission factor of that, which is calculated by using the amount of textile treated base VOC emission factor for dry cleaning business, is 232,154 kg/yr. This corresponds to 99.98% and 103.77% of the actual VOC emissions of the sample, 223,715 kg/yr. Both emission factors show error rates of less than 5%.

Various factors can be used for the activity of VOC emission factor for dry cleaning business. However, as a result of analyzing the obtained data, the amount of textile treated and business are statistically most significant as the activity. And also, as a result of estimating the emission quantity of the sample in this research, the error rate of business base VOC emission factor is less than the error rate of the emission factor based the amount of textile treated. Therefore, it is considered that the method of estimating the VOC emission quantity using the business base VOC emission factor is more reliable.

**Keywords : VOC emission factor for dry cleaning business, Business base VOC emission factor for dry cleaning business, the amount of textile treated base VOC emission factor for dry cleaning business, Estimate VOC emissions for dry cleaning.**

## 감사의 글

졸업논문을 작성하면서 많은 분의 도움을 받았습니다. 논문을 마무리하며 제게 격려와 도움을 베풀어주신 많은 분께 감사의 인사를 드리고자 합니다.

전의찬 교수님, 차재형 박사님, 김하나 교수님께 감사의 인사를 드립니다. 제가 막막함에 논문을 시작하지 못하고 있을 때 저를 이끌어주신 전의찬 교수님 감사합니다. 교수님의 끊임없는 관심이 없었더라면 쉽게 엄두를 내지 못했을 것입니다. 논문 작성 중 가장 어려웠던 통계 부분을 작성하는데 차재형 박사님께 큰 도움을 받았습니다. 쉬는 날까지 시간 내어 지도해주신 점 다시 한 번 감사드립니다. 논문을 작성하며 크고 작은 어려움에 부딪혔을 때 문제 해결 방법을 함께 고민해 주시고, 제게 항상 용기를 주시고 힘이 되어 주신 김하나 교수님 감사합니다. 세 분 덕분에 완성도 높은 논문을 작성할 수 있었습니다. 세 분을 교수님으로 모시게 되어 제게는 큰 은혜이고 영광입니다.

항상 응원과 격려를 주신 부모님, 가족, 친구들 외 모든 분께 감사드립니다. 논문을 작성하면서 막막하고 힘들 때마다 항상 응원해 준 송가람 원우와 이대겸 원우에게 고마움을 전합니다. 논문 관련 고민을 들어주시고 도움 주신 강성민 선배님, 김민욱 선배님, 행정 및 일정을 챙겨주신 조성흠 실장님을 포함한 연구실과 센터 학생 모두에게 감사의 인사를 드립니다.

기후변화특성화대학원 원우 여러분과 소중한 인연을 맺게 되어 감사하며, 이 인연을 지속할 수 있도록 노력하겠습니다.