

극건조 환경에서 염화티오닐 동시 노출자의 자각증상 경험률

채유미[†]

단국대학교의과대학 직업환경의학과

Self-reported Irritation Symptoms among Workers Exposed to Ultra-low Relative Humidity and Thionyl Chloride

Yoo Mi Chae[†]

Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, Dankook University

ABSTRACT

Objectives: An ultra dry air environment of nearly $\leq 2\%$ RH is often required in lithium battery factories. The objective of this study is to evaluate the subjective eye, pulmonary, nose, and skin symptoms of workers exposed to ultra-low relative humidity and thionyl chloride.

Methods: We recruited 274 workers using a self-reported questionnaire in March 2014. Those who worked in ultra-low relative humidity and with thionyl chloride were identified and their prevalence of symptoms was compared with that of other workers. We excluded white collar workers, researchers and other workers who were exposed to various hazard factors, and finally included 164 workers.

Results: There were significant differences in the rate of self-reported eye and skin symptoms between exposure group_1 and exposure group_2. Exposure group_2 experienced more frequent eye, and skin symptoms. Multinomial logistic regression analysis for experience of dry eye symptoms and skin symptoms in exposure group_2 showed that dry eye symptoms (odds ratio [OR], 6.33, 95% confidence interval [CI], 2.19-18.24, $p < 0.001$), and itchiness (OR, 6.45, 95% CI, 1.94-21.43, $p < 0.01$) were the significant variables. The complaints of workers experiencing ultra-low relative humidity and thionyl chloride were high compared with other workers.

Conclusion: These findings suggest that exposure to ultra-low relative humidity and thionyl chloride may be associated with more frequent eye and skin symptoms than exposure to ultra-low relative humidity alone. The current precautions to protect workers from the adverse effects of ultra-low relative humidity and thionyl chloride appear to be insufficient, indicating that additional management plans to reduce symptoms should be considered.

Keywords: Dry eye symptom, self-reported irritation symptom, thionyl chloride, ultra-low relative humidity

I. 서 론

에너지 효율이 높은 리튬일차전지는 1990년대 이후 산업 및 군사용 휴대 기기에 사용하는 양이 증가하고 있으며, 음극에 리튬 금속, 양극에 아산화망간, 황철석, 오산화바나듐, 산화구리, 염화티오닐 등

이 사용된다.¹⁾ 리튬은 상온 상태의 완전히 건조한 공기 내에서는 비교적 안정된 편이지만 습도가 높으면 급격히 수산화 리튬(LiOH)층을 형성하며, 물과 접촉하면 급격히 산화하는 특성이 있다. 따라서 리튬 배터리 및 약품 생산 공정은 습도 10% 또는 3% 이하의 극건조 환경에서 작업이 이루어진다.^{2,3)}

[†]Corresponding author: Department of Occupational Environmental Health, Dankook University, Tel: 82-41-550-3291, Fax: 82-41-556-6461 E-mail: pwoman@empal.com

Received: 31 August 2015, Revised: 12 December 2015, Accepted: 12 December 2015

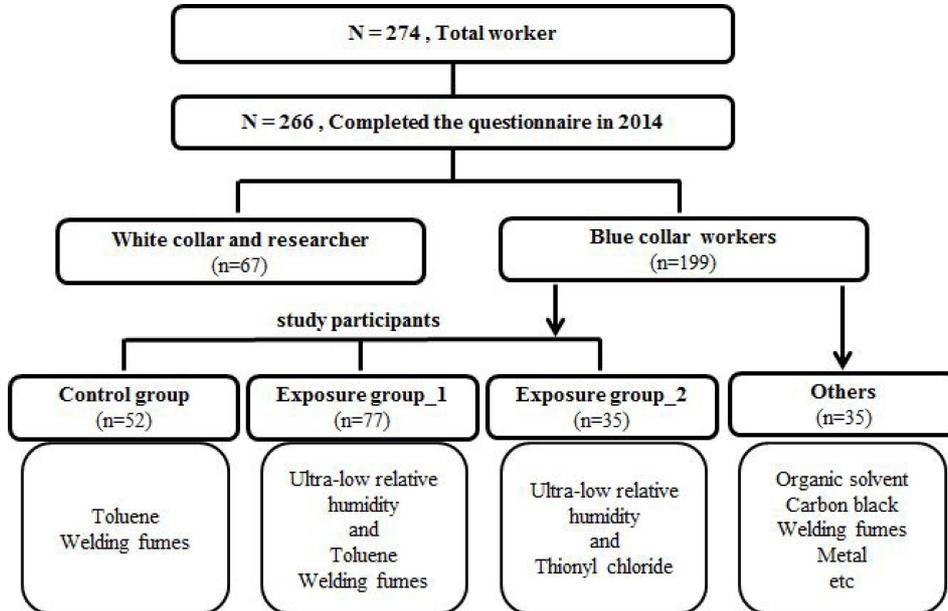


Fig. 1. Schematic flow diagram for selecting participants

리튬이차전지 생산과정에서 극건조 환경에 노출되면 습도차에 의한 피부의 수분 증발로 목마름, 피부 가려움이 발생하고, 안구, 코 등의 점막 수분 손실에 의한 불편감 등으로 인해 피부 건조증상, 아토피 피부염, 안구 증상 등이 발생할 수 있다.^{2,4,5)} 국내 이차전지를 생산하는 대기업 클린룸 근로자 대상 연구 결과, 극건조 환경(상대습도 $\leq 1\%$) 근무자의 안구건조증 자각증상은 14.832.8%로 근무 연수가 증가함에 따라 자각증상이 증가하는 양상을 보인 바 있다.⁶⁾

염화티오닐(SOCl_2)은 반응성과 부식성이 강한 화학물질로 코와 후두 및 안구 점막에 심각한 자극 증상과 피부 화상을 유발하며, 폐를 자극하여 기침, 숨참 등의 증상이 발생한다.⁷⁾ 지금까지 학계에 보고된 염화티오닐 노출로 인한 인체 피해는 대개 사고성 노출로 인한 폐 손상, 염화티오닐 탱크 폭발과 흡입으로 인한 피부 화상, 눈 및 점막 손상 및 세기관지염 등,^{8,9)} 사고성 또는 폭발로 인한 질환들에 관한 내용이 주를 이루며, 우리나라에서는 염화티오닐로 인한 건강영향에 관한 연구가 거의 없는 실정이다.

최근 작업환경 측정이나 작업방법 개선 등으로 고농도 폭로에 의한 건강장해가 감소하는 반면, 저농도 장시간 폭로 근로자들의 건강문제가 관심사로 대

두되고 있다.¹⁰⁾ 이러한 맥락에서 해당 사업장 근로자 건강상담 과정에서 피부가려움, 벗겨짐, 안구불편감 등의 자각 증상 호소가 증가함에 따라 염화티오닐 노출과 만성적 극건조 환경에서 기인하는 증상의 특성을 파악하여 관리대책을 수립할 필요성이 제기되었다. 건강장애를 인지하기 위해서 자각증상의 조사가 필수적이며 주관적 자각증상을 집단적으로 평가한다면 건강관리에 활용할 수 있음에 따라,^{11,12)} 본 연구에서는 극건조 환경과 염화티오닐과 같은 자극성 물질에 만성적으로 노출 시 초래되는 증상의 특성과 유해물질 노출 환경에 따른 자각증상 차이점을 분석하고 근로자 건강관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 충남 소재 리튬이차전지 생산사업장의 전체 근로자 274명을 대상으로 2014년 3월 4일과 11일 양일에 걸쳐 설문조사를 수행하였다. 설문조사의 신뢰성을 높이기 위하여 사전에 설문조사 목적을 설명한 후 바로 설문지를 작성하도록 하였으며, 최

중 수거 시 연구진이 설문지를 검토하여 부족한 부분은 조사 현장에서 수정 보완토록 하였다. 이러한 과정을 통해 최종적으로 270(98.5%)부의 설문지가 수거되었고, 설문응답이 불성실한 4부를 제외한 266부(97.1%)를 분석대상으로 하였다. 최종 266부 중 연구직, 사무직, 비건조환경근무자, 기타 특정 유해인자 노출군으로 분류하기 어려운 대상자를 제외한 164부(61.7%)를 최종 분석 하였다(Fig. 1).

사무직, 연구직은 생산직 근로자들과 비교하여 평균 30.7세의 젊은 남성이 주를 이루며, 근속기간과 근무시간이 상대적으로 짧아 업무 특성에서 많은 차이가 있고, 유해인자 노출을 특정하기 어려워 비교 대상으로 적절하지 않다고 판단하였기 때문에 분석 대상에서 제외하였다. 또한 일부 공정 근무자 중 건조환경에 근무하지 않거나, 대조군과 다른 특성의 유해인자에 노출되는 경우 역시 분석대상에서 제외하였다.

설문지는 단국대학교병원의 연구윤리심의를 거친 것을 이용하였고(DKU 2013-12-018-001), 설문지 작성 시 연구 참여 동의서를 함께 작성하도록 하였다.

2. 연구방법

1) 자각증상 비교군 구분

조사 대상 사업장 작업환경측정결과 및 산업위생기사의 현장 평가 의견, 공정별 노출 요인을 종합적으로 평가하여 3개의 군으로 구분하였다. '대조군'은 Pack Room(이하, P/R)근무자를 포함한다. P/R 공정은 제품에 유기화합물로 인쇄하는 마킹작업, 제품 용접, 조립 및 검사 작업을 포함하며, 소음, 용접흡, 유기용제 등에 노출된다.

'노출군_1'은 Dry Room(이하, D/R) 근무자를 포함하는데, 해당 공정은 극건조환경을 유지하면서, 톨루엔을 혼합하여 코팅하는 작업과 용접으로 인해 소음, 용접흡, 톨루엔 등에 노출된다. 극건조환경을 제외하고 기타 유해요인 노출현황은 '대조군'과 유사하다.

'노출군_2'은 Filling Room(이하, F/R) 근무자를 포함하는데, 해당 공정은 극건조환경을 유지하면서 전해액을 수동 및 자동으로 주입하고, 제품의 이물질 제거하기 위한 에어건 작업을 하는 과정에서 소음, 염화티오닐, 그리고 아황산가스 등에 노출된다. D/R과 F/R 공정은 리튬의 물리적 특성으로 인하여 항상 상대습도 2% 이내, 온도 21~23°C를 유지한다.

2) 설문조사

설문내용은 개인의 일반적인 특성, 업무관련 특성, 질병관련 특성, 주관적 건강수준, 안구건조증, 호흡기, 비염, 피부염 관련증상 등을 포함하였으며, 구체적인 내용은 아래와 같다. 대상자의 성, 연령, 근무시간, 근무기간, 직급 등 기본적인 정보는 회사 인사팀에 작성 비치되어 있는 자료를 활용하였다. 업무관련 특성으로 유해인자에 대한 인지도, 보호구 착용에 대한 태도 등을 조사하였다. 작업 중 노출되는 유해인자들에 대해 알고 있다면 유해인자에 대해 인지하고 있는 것으로 간주하였고, 유해인자들로 인한 건강영향이 '상당히' 또는 '약간 있다'고 응답한 경우를 유해인자에 대한 건강영향을 인지하고 있는 것으로 보았다.

천식, 안구건조증, 알레르기성 질환 등 주요 질환에 대한 경험 여부를 조사하였고, 그 외 고혈압, 당뇨, 고지혈증 등 만성질환으로 인한 치료 유무를 조사하였다. 안질환력으로는 콘택트렌즈 착용, 라식 또는 라섹 수술유무, 안구 외상력 등을 조사하였다. 주관적 건강상태는 '매우 좋음매우 나쁨' 등 5점 척도로 조사하였고, 이를 건강상태 인식이 '좋은군, 보통인군, 나쁜군' 등 3군으로 구분하였다.

안구표면질환지수(Ocular Surface Disease Index, OSDI) 안구건조증 설문지는 민감도와 특이도가 뛰어난 검사도구로 피검자가 자각할 수 있는 시력에 관련된 기능(6가지 문항), 안증상(3가지 문항), 증상을 야기할 수 있는 환경인자(3가지 문항)의 12가지 증상에 대한 질문으로 구성되어 있다.¹³⁾ 증상의 정도를 '전혀 없다 0점부터 항상 있다' 4점까지 5점 척도로 평가하고 총점을 다음과 같이 계산하였다. OSDI 점수 = (답변한 항목의 합계점수 × 25 / 답변한 항목의 수), OSDI 설문지의 총점은 0100점 범위이며, 점수가 높을수록 안구건조증이 심한 정도를 나타낸다. 설문점수에 따라 012점은 '정상', 1322점은 '경도의 건성안', 2332점을 '중등도의 건성안', 33100점은 '중증의 건성안'으로 분류한다.¹⁴⁾ 본 연구에서는 정상과 경도이상의 건성안 두군으로 구분하여 비교하였다.

호흡기 증상은 호흡기 천식 및 기타 호흡기 증상 조사 내용을 참고하여 항목을 구성하였다.¹⁵⁾ 최근 1년 동안 '기침, 가래, 목쉼, 목아픔, 흉부압박감, 흉부불편감, 숨참' 등 7가지 증상의 발생 빈도를 조사

Table 1. Exposure assessments on site according to exposure groups*

Exposure factor	Exposure limit		Control group	Ultra-low humidity [†]	
				Exposure group_1	Exposure group_2
Thionyl chloride [‡]	NIOSH	5 mg/m ³	-	-	●
	OSHA	none			
Hydrogen chloride [§]	1 ppm		-	-	0.0629-0.1817
Sulfur dioxide	5 mg/m ³		-	-	0.4278-0.8505
Toluene	50 ppm		0.1434-0.1921	1.0747-5.05440	-
Welding fumes	5 mg/m ³		0.23386-0.77596	0.32373-0.36831	-
Noise	95 dB(A)		83.8-87.7	74.8-86.8	86.3-89.6

*Working environment assessment findings in 2013 and 2014.

[†]Relative humidity $\leq 2\%$ and temperature 21-23°C

[‡]No measurement methods available

[§]Hydrogen chloride is a proxy indicator of thionyl chloride exposure

NIOSH, National Institute of Occupational Safety & Health; OSHA, Occupational Safety and Health Administration; dB(A), A-weighted decibels; Exposure group_1, Ultra-low humidity exposure group; Exposure group_2, Ultra-low humidity and thionyl chloride co-exposure group

하였으며, 증상이 한번이라도 있던 경우를 ‘증상군’으로 구분하였다.

비염 증상은 알레르기 비염에 대한 국제적 가이드라인 제시 기구인 ARIA(Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma)에서 제공하는 증상 평가 도구를 내용의 변경 없이 응답하기 수월하도록 양식을 수정하여 재구성하였다.¹⁶⁾ 비염의 주요 증상인 맑은 콧물, 재채기, 코막힘, 코가려움, 눈충혈(가려움) 등 5가지 증상 유무, 4일 이상 증상지속 유무, 4주 이상 증상지속 유무 등을 포함하였다. 피부 증상 조사를 위해 북유럽 직업성 피부 증상 설문지인 NOSQ(Nordic Occupational Skin Questionnaire) 단축형 버전을 사용하였다.¹⁷⁾ ‘최근 1년 동안 얼굴 또는 팔에 가려움, 수포, 홍반, 부종 또는 벗겨짐’ 등의 증상이 있으면 피부 증상이 있는 것으로 하였고, 증상 발현 부위는 그림으로 제시하고 표기하도록 하였다.

3) 통계분석

비교대상인 ‘대조군’, ‘노출군_1’, ‘노출군_2’ 3개 군 간 일반적인 특성, 업무관련 특성, 주관적 건강상태, 안구건조증, 호흡기, 비염 및 피부관련 자각증상 등의 유무를 비교하기 위하여 카이제곱 검정과 분산분석을 시행하였다. 특히 세군간 자각증상의 경향성을 파악하기 위하여 선형 대 선형 결합 방법을 사용하였고, 이를 위해 변수에 가중치를 주어 분석하였다. 안구건조증, 호흡기, 비염, 및 피부 자각증

상 상대위험도를 파악하기 위하여 관련 변수들을 단변량 로지스틱 회귀분석을 실시하였고, p 값이 0.05 이하로 나온 변수들에 대하여 다항 로지스틱 회귀분석을 실시하여 비차비와 95% 신뢰구간을 산출하였다. 건조환경과 염화티오닐 동시 노출로 인한 자각증상 경험률의 차이를 효과적으로 평가하기 위하여, 비교기준을 ‘대조군’과 ‘노출군_1’으로 하여 ‘노출군_2’와 비교 결과를 제시하였다. 공통적으로 성, 연령, 근무기간, 만성질환력, 현재흡연유무, 보호장갑 등 단변량 로지스틱 회귀분석에서 유의했던 변수들을 다항 로지스틱 모델에 포함하여 보정하였다. 또한 추가적으로 안구건조증 증상 모델에는 안질환력, 아토피질환력 및 안구건조증 경험 유무, 비염과 피부 증상 모델에는 아토피질환력을 보정한 후 다항 로지스틱 모형을 구축하였다. 자료 분석은 전산입력 후 SPSS WIN(ver 19.0, SPSS Inc. Chicago II, USA)을 이용하였고, 통계적 유의 수준은 p-value < 0.05로 정하였다.

III. 연구결과

1. 대조군과 노출군의 유해인자 특성

‘대조군’인 P/R공정의 주 노출인자는 소음, 톨루엔, 스프레이 작업 중 용접흄, 등이며, 모두 작업환경측정 결과 노출기준 미만이었다(Table 1).

‘노출군_1’은 D/R 근무자 62명과 그 외 건조환경

Table 2. General participant characteristics (N,%)

Variable	Control group (n=52)	Ultra-low humidity*		p-value
		Exposure group_1 (n=77)	Exposure group_2 (n=35)	
Sex				0.002
Female	48(92.3)	58(75.3)	21(60.0)	
Age (year, mean±SD)	48.6±8.3	42.1±11.5	38±13.1	0.000
Educational level				0.435 [†]
High school	49(98.0)	68(91.9)	31(93.9)	
Current smoker	3(6.0)	16(21.1)	15(48.4)	0.000
Duration of employment (year, mean±SD)	5.4±5.7	5.7±6.1	4.1±5.2	0.389
Average working hours a day (hours, mean±SD)	54.8±5.8	55.9±8.0	57.6±7.6	0.211
Average working hours a week (hours, mean±SD)	9.8±0.6	10.1±1.1	9.9±0.6	0.240
Clinical history				
Ocular disease [‡]	7(13.5)	14(18.2)	3(8.6)	0.406
Dry eye disease	19(36.5)	32(42.1)	16(45.7)	0.715
Atopic disease [§]	18(34.6)	29(37.7)	10(28.6)	0.653
Chronic disease	20(38.5)	11(14.3)	6(17.1)	0.003
Asthma	0	5(6.7)	4(11.4)	0.043

*Relative humidity ≤2% and temperature 21-23°C

[†]Fisher's exact test[‡]Soft contact lenses, laser in situ keratomileusis or laser epithelial keratomileusis, ocular trauma[§]Allergic rhinitis, atopic dermatitis, or allergic rhinoconjunctivitis^{||}Hypertension, diabetes mellitus, hypercholesterolemia

Exposure group_1, Ultra-low humidity exposure group; Exposure group_2, Ultra-low humidity and thionyl chloride co-exposure group

을 유지하는 공정 근무자 15명을 포함하였으며, 해당 공정은 극건조 환경 유지를 위해 상대습도 2% 이내, 온도 21~23°C를 유지한다. 일부 톨루엔, 용접 흠 등의 유해요인 노출이 있으나, 작업환경측정 결과 모두 노출기준 미만이었다. ‘대조군’과 ‘노출군_1’의 톨루엔, 용접흠 측정 결과는 큰 차이를 보이지 않았다.

‘노출군_2’에 해당하는 F/R 근무자는 염화티오닐 수동 및 자동 주입 공정 근무자 35인을 포함하며, 해당 공정은 극건조환경에 동시에 노출되고 있다. 염화티오닐이 공기 중 수분과 반응하여 발생하는 염화수소를 측정한 결과 0.0629~0.1817 ppm이었으며, 아황산가스 농도는 0.4278~0.8505로 측정 결과 모두 노출기준 미만이었다.

2. 조사대상의 일반적 및 질환 특성

전체 164명의 연구대상을 유해인자 노출 특성에

따라 ‘대조군(52명)’, ‘노출군_1(77명)’, ‘노출군_2(35명)’등 세 개 군으로 구분하여 분석하였다. ‘대조군’의 평균 연령은 48.6세로 가장 높았으며, 다음으로 ‘노출군_1’ 42.1세, ‘노출군_2’ 38세 순이었으며 통계적으로 유의하였다($p<0.001$)(Table 2). 현재 흡연자는 연령대가 가장 젊은 ‘노출군_2’에서 48.4%로 가장 많았으며, 그 외 학력, 근무기간, 일일 및 주간 근무시간 등에서는 세군간에 차이를 보이지 않았다. 임상적 질환력에 대한 조사 결과, 안질환력, 안구건조증, 알레르기질환력 등에서는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며, 만성질환자는 ‘대조군’의 38.5%를 차지하여 ‘노출군_1과 2의 14.3~17.1%와 비교하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

3. 조사대상의 주관적 건강상태 및 유해인자 노출에 대한 태도

‘대조군’의 9.6%에서 주관적 건강상태가 나쁘다고

Table 3. Use of personal protective equipment and perception of health status among participants (N,%)

Characteristics	Control group (n=52)	Ultra-low humidity*		p-value
		Exposure group_1 (n=77)	Exposure group_2 (n=35)	
Perception of health status				0.397 [†]
Good	9(17.3)	18(23.4)	8(22.9)	
Average	38(73.1)	52(67.5)	20(57.1)	
Bad	5(9.6)	7(9.1)	7(20.0)	
Perception of worksite hazard (Yes)	41(80.4)	66(86.8)	30(85.7)	0.638
Adverse health effects due to worksite hazard (Yes)	51(98.1)	74(96.1)	32(91.4)	0.276 [†]
Personal protective equipment				
Disposable mask	15(28.8)	70(90.9)	33(94.3)	0.000
Gas mask	2(3.8)	3(3.9)	3(8.6)	0.571 [†]
Respirator device	0	3(3.9)	3(8.6)	0.073 [†]
Dustproof cover	2(3.8)	60(77.9)	33(94.3)	0.000
Gloves	37(71.2)	69(89.6)	34(97.1)	0.001
Earplug	21(40.4)	30(39.0)	15(42.9)	0.936

*Relative humidity $\leq 2\%$ and temperature 21-23°C[†]Fisher's exact test

Exposure group_1, Ultra-low humidity exposure group; Exposure group_2, Ultra-low humidity and thionyl chloride co-exposure group

인식했던 반면, ‘노출군_1과 2’에서는 각각 9.1과 20.0%에서 나쁘다고 인식하였으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 3). 작업 공정의 유해인자에 대해서는 응답자의 80.4~85.7%가 인지하고 있었다. ‘대조군’의 일회용마스크 착용률이 28.8%이었던 반면, ‘노출군_1과 2’에서는 각각 90.9와 94.6%로 2배 이상의 차이를 보였다. 방진복과 보호장갑 착용률 역시 ‘노출군_1과 2’에서 77.997.1%로 높았으며, 이는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.01$).

4. 조사대상의 주요 자각증상 경험률 비교

4주 이상 비염증상 지속비율을 제외하고 대조군이 가장 낮은 증상 경험률을 보였고, 다음으로 노출군_1, 노출군_2의 순으로 높았으며 이러한 경향성은 통계적으로 유의하였다(Table 4)($p < 0.05$). OSDI 경증이상 대상자는 대조군에서 22.4%, 노출군_1에서 18.5%였으나, 노출군_2에서는 42.9%로 약 2배 정도 통계적으로 유의하게 높은 분포를 보였다.

기침, 가래, 목섭, 목아픔, 흉부압박감, 흉부불편감, 습침 등 모든 증상은 일관되게 대조군의 증상경험률이 22.2~43.3%로 가장 낮았으며, 다음으로 노출군

_1 23.3~61.1%, 노출군_2 51.1~90.6%로 높았다. 특히 노출군_2에서 기침 90.6%, 목아픔 87.7%, 가래 83.3%, 습침 72.7% 등이 높은 증상 경험률을 나타냈다.

비염 증상 중 맑은콧물, 재채기, 코막힘, 코가려움, 눈가려움 등의 모든 증상 경험률은 일관되게 대조군에서(13.6~44.4%) 가장 낮았으며, 다음으로 노출군_1(31.6~46.7%), 노출군_2(42.9~66.7%)로 순차적으로 높아지는 경향성을 보였다. 특히 이러한 증상이 4일 이상 지속되는 비율이 노출군_2의 절반에 달했으며, 이는 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$).

피부 자각증상 경험률은 신체 부위와 무관하게 대조군의 22.9%, 노출군_1의 40.6%에서 나타났지만, 노출군_2에서는 80.0%가 유증상자로 대조군의 2배 이상 높았으며, 이는 통계적으로 유의하였다($p < 0.001$). 피부증상이 손에 발현되는 비율 역시 노출군_2의 62.5%, 대조군과 노출군_1은 각각 15.2%와 32.2%로 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.000$).

5. 조사대상의 자각증상 경험률 상대위험도 비교

대조군과 비교하여 노출군_1의 경증이상 안구건조증의 차이는 없었다. 노출군_2의 안구건조증 OR 추

Table 4. Comparison of adverse symptoms among control and exposure groups* (N,%)

Adverse symptom	Control group (n=85)	Ultra-low humidity [†]		p-value
		Exposure group_1 (n=130)	Exposure group_2 (n=49)	
OSDI score (mild to severe)	19(22.4)	24(18.5)	21(42.9)	0.031
Respiratory symptom				
Cough	26(42.6)	66(61.1)	58(90.6)	0.000
Phlegm	20(35.1)	50(49.5)	50(83.3)	0.000
Hoarse voice	16(29.1)	30(33.0)	28(58.3)	0.003
Throat pain	26(43.3)	60(57.1)	50(87.7)	0.000
Chest tightness	12(22.2)	22(25.6)	26(54.2)	0.001
Chest discomfort	12(22.2)	22(25.6)	24(51.1)	0.002
Breathlessness	12(22.2)	20(23.3)	40(72.7)	0.000
Nose				
Watery rhinorrhea	17(20.5)	37(32.7)	24(52.2)	0.000
Sneezing	22(28.2)	44(40.0)	27(62.8)	0.000
Nasal obstruction	12(13.6)	41(38.3)	26(59.1)	0.000
Itchy nose	17(20.5)	36(31.6)	21(42.9)	0.007
Red itchy eyes	32(44.4)	49(46.7)	28(66.7)	0.045
Symptoms persisting \geq 4 days	17(13.9)	32(19.2)	26(49.1)	0.000
Symptoms persisting \geq 4 weeks	13(10.0)	19(9.8)	15(20.0)	0.077
Skin				
Itchiness anywhere	32(22.9)	78(40.6)	60(80.0)	0.000
Itchiness face	8(5.3)	10(9.0)	22(23.4)	0.000
Itchiness hand	22(15.2)	64(32.2)	50(62.5)	0.000
Itchiness at other part	8(5.3)	12(5.3)	18(18.8)	0.001

*Chi-square test for trend (linear by linear association)

[†]Relative humidity \leq 2% and temperature 21-23°C

OSDI, Ocular Surface Disease Index; Exposure group_1, Ultra-low humidity exposure group; Exposure group_2, Ultra-low humidity and thionyl chloride co-exposure group

정치는 대조군과 비교하여 3.76(95% CI, 1.22-11.59, $p < 0.05$), 노출군_1과 비교하여 OR 추정치는 6.33(95% CI, 2.19-18.24, $p < 0.001$)로 높은 비차비를 보였다 (Table 5).

호흡기 증상 경험률을 노출군_1과 비교하여 대조군 및 노출군_2와는 차이를 보이지 않았다. 대조군과 비교하여 노출군_2에서 기침의 OR 추정치는 5.83(95% CI, 1.24-27.32, $p < 0.01$)로 높은 비차비를 보였다.

비염관련 5개 증상은 노출군_1과 노출군_2에서 차이를 보이지 않았다. 그러나 대조군과 비교하여 노출군_1과 노출군_2에서 코막힘 증상 OR 추정치

와 CI는 각각 4.36(CI, 1.50-12.62, $p < 0.01$), 5.29(95% CI, 1.37-20.45, $p < 0.05$)로 높은 비차비를 보였다.

전체 피부 증상 경험률을 대조군과 비교하였을 때, 노출군_2에서 OR 추정치는 12.19(95% CI, 3.24-45.83, $p < 0.001$), 노출군_1과 비교시 노출군_2에서의 OR 추정치는 6.45(95% CI, 1.94-21.43, $p < 0.01$)로 높은 비차비를 보였다. 손에 발현되는 위험도 역시 대조군과 비교하였을 때, 노출군_2에서 OR 추정치는 6.39(95% CI, 2.02-20.21, $p < 0.01$), 노출군_1과 비교하였을 때, 노출군_2에서 OR 추정치는 3.04(95% CI, 1.16-7.98, $p < 0.05$)로 높은 비차비를 보였다.

Table 5. Multinomial logistic regression analysis for assessment of adverse symptoms among control and exposure groups*

Adverse symptom	Ultra-low humidity [†]					
	Exposure group_2 (r=exposure group_1)		Exposure group_2 (r=control group)		Exposure group_1 (r=control group)	
	aOR	95% CI	aOR	95% CI	aOR	95% CI
OSDI score (mild to severe) [‡]	6.33	2.19-18.24 ^{**}	3.76	1.22-11.59 ^{**}	0.59	0.25-1.42
Respiratory symptom						
Cough	3.65	0.92-14.51	5.83	1.24-27.32 ^{**}	1.59	0.54-4.77
Phlegm	2.85	0.86-9.37	3.05	0.71-13.13	1.07	0.34-3.42
Other symptoms [§]	0.88	0.24-3.23	1.01	0.23-4.39	1.14	0.41-3.19
Nose						
Watery rhinorrhea	1.38	0.42-4.61	1.70	0.39-7.49	1.23	0.39-3.93
Sneezing	1.15	0.30-4.36	0.89	0.17-4.52	0.77	0.21-2.78
Nasal obstruction	1.21	0.38-3.87	5.29	1.37-20.45 ^{**}	4.36	1.50-12.62 ^{**}
Itchy nose	0.99	0.31-3.13	1.08	0.26-4.52	1.09	0.34-3.47
Red itchy eyes	1.40	0.412-4.78	0.98	0.23-4.22	0.69	0.24-2.01
Symptoms persisting ≥4 days	2.83	0.83-9.64	4.50	1.06-19.06 ^{**}	1.59	0.52-4.86
symptoms persisting ≥4 weeks	1.21	0.37-3.92	1.03	0.24-4.40	0.85	0.25-2.87
Skin						
Itchiness anywhere	6.45	1.94-21.43 ^{**}	12.19	3.24-45.83 ^{**}	1.89	0.83-4.32
Itchiness face	3.38	1.03-11.15 ^{**}	4.48	1.03-19.54 ^{**}	1.32	0.36-4.94
Itchiness hand	3.04	1.16-7.98 ^{**}	6.39	2.02-20.21 ^{**}	2.10	0.86-5.11
Itchiness at other part	4.95	1.28-19.13 ^{**}	4.74	1.00-22.43 ^{**}	0.96	0.23-3.92

*Commonly included variables in the multinomial logistic regression model are age, sex, current smoker, and duration of employment.

[†]Relative humidity ≤2% and temperature 21-23°C

[‡]Additionally, included ocular disease, dry eye disease and atopic disease.

[§]Hoarse voice, throat pain, chest tightness, chest discomfort, breathlessness

^{||}Additionally, included history of atopic disease.

[†]Additionally, included history of atopic disease and gloves

**0.05, **0.01, **0.001

r, reference group; aOR, adjusted odds ratio; CI, confidence interval

OSDI, Ocular Surface Disease Index; Exposure group_1, Ultra-low humidity exposure group; Exposure group_2, Ultra-low humidity and thionyl chloride co-exposure group

IV. 고 찰

본 사업장 근로자 자각증상 경험률 조사 결과, 건조환경노출군과 비교하여 염화티오닐동시노출군에서 OSDI 경증이상자, 손 등 피부 증상 발현정도 등의 증상 경험률이 통계적으로 유의하게 높았음을 확인하였다.

본 연구는 건조환경과 염화티오닐동시 노출시의 자각증상 경험률의 효과적인 비교를 위해 일개 사업장 근로자를 유해인자의 특성에 따라 세군으로 구분

하여 비교분석하였다.

대조군인 P/R 근무자는 전체 대상자 52명 중 30여명만이 스폿용접 작업시 용접흠에 노출되며, 그 외 근로자는 특별한 유해인자 노출은 없다고 볼 수 있다. 노출군_1은 상대습도 ≤2, 실내온도 21-23°C의 극건조환경 조건에서 주로 톨루엔 등 유기화합물에 노출되며, 노출군_2는 노출군_1과 동일한 조건의 극건조환경에서 염화티오닐 수동 및 자동 주입 과정에서 자극 물질에 노출된다. 리튬 염화티오닐 전지 생산과정에서 양극물질로 사용하는 염화티오닐(SOCl₂)

은 산성물질로, 무색에서 옅은 노란색의 특 쏘는 듯한 자극적인 향을 지닌다.³⁾ 노출군_2에서 사용하는 염화티오닐은 수분과 반응하여 염화수소와 아황산가스가 생성될 수 있으며, 생산제품의 약 20% 정도에는 전해액에 아황산가스를 주입하기 때문에 제품의 종류에 따라 아황산가스의 노출 정도에는 차이가 있을 것으로 판단된다. 극건조 환경이라도 습도가 0%가 아닌 이상 염화티오닐을 취급하는 공정은 염화수소와 아황산가스가 발생할 가능성이 있으며, F/R의 염화수소 측정농도는 약 0.0629~0.1817 ppm, 아황산가스는 0.4278~0.8508 mg/m³로 노출기준 미만으로 조사되었다. 이러한 작업 특성으로 인하여 염화티오닐의 분해산물로서의 아황산가스와 간헐적으로 전해액 주입시 혼합되는 아황산가스로 인한 노출 가능성을 배제하기는 어렵다고 보인다. 그러나 노출군_2 근로자 전체 작업의 80%정도에서는 염화티오닐 주입이 주 작업이므로 증상의 해석에 있어서 아황산가스는 간헐적 노출인자로, 염화티오닐을 주 유해요인으로 파악하는 것에는 무리가 없을 것으로 사료된다.

안구건조증은 눈물과 안구표면의 다인성질환으로 눈물의 고삼투압, 안구표면의 염증을 동반하는 질환으로 불편감을 동반한다.¹⁸⁾ 증발성 안구건조증은 눈물샘의 기능은 정상이나 안구 표면의 수분 증발의 증가로 인해 발생하며, 눈꺼풀 이상, 눈 깜박임 이상, 굴절교정수술, 환경적 인자 등에 기인한다.¹⁹⁾ 본 연구에서 경증 이상의 OSDI 대상자는 대조군 36.5%, 노출군_1 31.2%였으며, 두 비교군은 유사한 경향성을 보였다. 안구건조증 증상 경험률은 5~35%로 광범위하게 분포하며, 연구대상과 조사방법 등의 차이로 인하여 직접적인 결과비교는 어렵지만,²⁰⁾ 일반인 구집단을 대상으로 한 연구에서 인도네시아 27.5%, 일본 33% 등을 보여, 환경적인 특성 차이에도 불구하고 본 연구결과와 비슷한 경향성을 보였다.^{21,22)}

대조군 및 노출군_1에 비하여 노출군_2에서 경증 이상의 OSDI odds는 각각 3.76배(95% CI, 1.22-11.59, p<0.05)와 6.33배(95% CI, 2.19-18.24, p<0.001)로 높았으나, 대조군과 노출군_1은 안구건조증 증상 경험률에 차이가 없었다. 안구건조증의 위험요인은 여성(폐경 이후 여성), 고령, 라식수술, 흡연, 아토피 질환력, 흡연 등 개인적인 특성과 낮은 상대 습도, 높은 온도, 먼지 등 환경적 요인 등이 알려져

있다.^{20,22-24)} 20~40대의 젊은 남성이 극저습환경에서 근무시 시간이 경과할수록 안구건조증이 증가한다는 보고가 있는 반면,⁶⁾ 상대습도 2.5%의 실험실에서 근무하는 30대 젊은 남성 대상 비교 연구에서는 일반 환경 근무자와 비교하여 안구, 코, 호흡기 자극 증상 등에서는 차이를 보이지 않았다는 보고도 있다.⁴⁾ 본 연구대상은 주로 여성이며, 상대습도 ≤2%로 되어 있으나, 실제 작업장은 이보다 낮은 수준에서 유지되는 환경으로 이러한 연구대상, 노출 환경 특성의 차이에서 비롯되는 것으로 여겨진다.

본 연구대상인 대조군은 노출군_1에 비하여 구성원의 연령이 높고, 여성의 비율이 상대적으로 높았고, 비록 노출기준 미만이지만 툴루엔과 용접흄에 노출되는 상황이므로 이러한 영향들이 복합적으로 작용한 결과로 증상 경험률에 차이가 없었던 것으로 사료된다. 특이할만한 사항은 최종 모델에서 연령, 성 등의 영향 변수들을 보정하였음에도 불구하고, 노출군_1과 비교하여 노출군_2에서 경증 이상의 OSDI odds가 6.33배(95% CI, 2.19-18.24, p<0.001)로 높았다는 것이다. 이는 건조환경에 더하여 염화티오닐과 같은 반응성과 자극성이 높은 화학물질 노출로 인한 자극증상 가능성을 시사한다. 노출군_2 근무자 개별 면담 결과, 입사 후 손 부위 피부 벗겨짐, 붉어짐 등의 증상이 발현되고, 염화티오닐의 자극적인 냄새로 상당한 불편감을 호소하고 있어 자극적 유해물질에 의한 증상 호소의 가능성이 높다고 보인다.

본 연구에서 대조군과 비교하여 노출군_2의 피부 증상 발현 odds는 신체 부위에 따라 4.48~6.39배로 높았고, 노출군_1과 비교하여 노출군_2에서의 피부 증상 발현 odds는 3.04~4.95배로 낮아지는 경향을 보였다. Sato 등⁴⁾ 습도 2.5%, 온도 20°C의 환경에서 근무하는 30대에서 피부 증상 호소가 2배 정도 많았으며, Su 등²⁵⁾은 클린룸 근무자에서 피부 건조 증상 odds가 1.46배(95% CI, 1.23-1.73)로 높다고 하여 건조환경이 피부 자극 증상을 초래함은 익히 알려진 사실이다. 노출군_2의 피부증상 경험률의 차이가 노출군_1 보다 대조군에서 더욱 뚜렷했던 것은 건조 환경의 영향에 더불어 추가적인 요인의 영향을 받은 결과라고 판단된다. 그러나 일부 연구에서 보호용 장갑이 손에 피부염을 일으킬 수 있으며,²⁶⁾ Su 등²⁵⁾은 연구대상자의 손바닥에 염증이 호발하는 경향은 단순히 건조환경에 의해 피부질환이 발생하는

것이 아니라 보호용 장갑에 의한 자극의 가능성도 배제하기 어렵다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 보호용 장갑을 보정한 모델을 구축하였는데, 대조군과 극건조환경인 노출군_1과 피부증상에 유의한 차이를 보이지 않았기에, 단순히 건조환경이 피부증상을 유발하는 것이 아니라 극건조 환경에서 염화티오닐과 같은 자극성 물질에 동시 노출 시, 피부 자극 증상 발현이 더욱 뚜렷함을 보여주고 있다고 볼 수 있다. Egawa 등²⁷⁾은 상대습도 10%, 24-25°C 환경에서 6시간 이상 노출시 피부 표면의 수분이 감소함을 보고하여 저습환경에서 피부가 자극에 취약함을 보여주었다. 상기 기존 연구들은 단순 저습도 환경에서의 증상만을 평가한 것으로 이러한 odds차의 감소는 노출군_1과 노출군_2 모두 극건조환경이란 동일한 작업환경에서 염화티오닐과 같은 자극성 물질에 노출되는 경우의 위험성이 반영된 결과로 생각된다.

Sato 등⁴⁾은 2.5%의 습도와 20°C의 온도가 유지되는 환경에서 근무하는 30대남성에서는 코, 후두, 폐 증상의 차이는 없었다고 하였고, Su 등²⁵⁾은 젊은 여성 대상으로 클린룸 근무자에서 코, 후두의 건조 증상 호소가 높았다고 하였다. 건조환경에서 코, 폐 자극 증상은 여러 양상을 보였는데, 이는 작업환경, 성별 등 상황의 차이에 기인하는 것으로 보인다. 본 연구에서 대조군과 비교하여 극건조환경인 노출군_1에서 호흡기 자극증상은 큰 차이가 없었고, 비염 증상 중 코막힘 증상의 odds는 4.36배(95% CI, 1.50-12.62, $p < 0.01$)로 높았다. 대조군과 비교하여 노출군_2의 기침 odds는 5.83배(95% CI, 1.24-27.32, $p < 0.01$), 코막힘 odds는 5.29(95% CI, 1.37-20.45, $p < 0.05$), 4일 이상 비염증상 지속 odds는 4.50배(95% CI, 1.06-19.06, $p < 0.05$)로 차이를 보였다. 반면, 노출군_1과 노출군_2간에는 비염 및 호흡기 증상에 차이를 보이지 않았는데, 이는 두 군간의 연령, 성별 분포의 차이와 이를 분석시 보정 요인으로 반영하였음에도 불구하고 연구대상자의 수가 많지 않아서 발생한 결과일 것으로 생각된다. 추후에는 연구대상자를 확보하여 비교 평가하는 것이 과정이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구 결과, 건조환경에서 염화티오닐에 동시 노출되는 근로자에서 안구건조증 및 피부 증상 경험률이 높았으므로 이에 대한 관리 방안 수립이 필요할 것이다. 해당 공정 근무자의 자각증상 개선을 위해

서는 개인보호구 착용과 같은 개인적인 수준뿐만 아니라 국소배기장치 관리, 환기후드 배치 점검 등 작업장내 환경의 개선이 우선되어야 할 것이다. 안구건조증에 대해서는 수분 증발을 줄여주는 안경 착용, 금연, 절주, 등이 권장되며,²⁴⁾ 상대습도 10%에서 4시간 이상 노출시 증상이 두드러진다는 연구에 따라 노출시간을 최소화하는 전략이 필요하다. 즉 근무시간 단축, 휴식시간 증대 및 조절 등의 관리 방안과 인공누액제공과 같은 직접적인 관리 전략 등이 종합적으로 필요하다.^{4,28)} 근로자를 대상으로 지속적인 교육을 통해 업무 종료 후 샤워, 콘택트 렌즈 착용 금지, 탈수를 예방하기 위한 수분 섭취, 피부 보호제 등이 필요할 것이다.²⁾ 또한 정기적으로 안구건조증, 피부 및 호흡기 증상을 모니터링하여 증상 개선을 도모하고, 적극적인 예방차원에서 매년 안구관련 검진을 수행하여 질환자에 대한 조기 발견과 치료가 병행되어야 할 것이다. 제도적인 측면에서는 건조환경에서 염화티오닐에 동시 노출될 경우 자극 증상이 더욱 증대될 수 있으므로, 현행 노출 수준이 적절한지 검토해 볼 필요성이 있다고 생각된다.

본 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫째, 염화티오닐이 수분과 반응 시 생성되는 염화수소 농도를 노출 대리 변수로 측정하여, 직접적인 노출 수준 평가는 이루어지지 않았다. 작업환경측정 결과보고서를 통해 노출수준을 결정하였으나, 현행 산업안전보건법상 측정대상물질이 아니기에 염화티오닐의 측정 결과가 반영되어 있지 않았다. 그러나 OSHA 등에 측정방법과 노출기준이 설정되어 있으므로 향후 염화티오닐 자체의 농도 수준에 대한 측정이 필요하다. 염화수소 노출 수준은 염화티오닐 제조결과 주입 작업 공정에서 0.0629~0.1817ppm 수준으로 노출기준인 1ppm의 6.3~18.2% 수준으로 해당 사업장 내 상대습도가 항상 1% 미만으로 유지되는 상황을 고려했을 때 염화티오닐 노출로 인한 염화수소의 생성을 확인할 수 있었다. 둘째, 안구건조증 진단은 설문을 통한 주관적인 증상만으로 평가하였기에 임상적 관점에서 타당성이 제한적일 수 있다. 안구건조증은 주관적인 증상 평가와 쉬르머 검사, 눈물막 파괴시간, 안구표면의 형광염색 등 객관적인 검사를 병행하여 진단하는 방법이 있다. 본 연구에서 사용한 OSDI 설문은 실제 임상양상과 연관성이 크고 신뢰도가 높은 평가 방법으로 알려져 있기에,¹³⁾ 사업장 내 근로

자의 자각증상 경험률 평가 목적으로 사용하기에는 가장 비용 효과적인 방법일 것이다. 셋째, 노출군_2는 작업환경의 특성상 염화티오닐 이외의 자극성 물질을 통제할 수 없었다. 비록 농도 수준은 낮은 편이지만, 아황산가스와 같은 물질들이 자극 증상에 기여할 수 있는 가능성을 배제할 수 없다. 공기 중 화학물질은 삼차 신경 말단을 자극하여 눈, 코 또는 후두에 일시적이고 불편한 증상, 기침 등을 야기하는 감각 자극물질로 작용하거나 호흡기 자극을 통해 흉부불편감, 숨참 등의 증상을 유발하고,^{29,30} 특히 냄새가 자극적인 화학물질은 낮은 농도에서도 눈, 코와 후두를 자극한다고 알려져 있다.³¹ 아황산가스는 호흡기 자극제로 기침, 천명, 숨참, 폐기능 저하, 피부화상, 눈, 점막 자극, 심각한 폐손상까지 야기할 수 있다고 알려져 있지만,^{8,32,33} 건강한 일반인을 대상으로 대기 중 아황산가스 0.2~23 ppm 수준으로 노출 후 증상을 평가한 결과, 1 ppm 이상에서 호흡기와 안구 자극 증상을 보였고, 0.75 ppm 이하에서는 이러한 효과가 관찰되지 않았다고 하였다.³⁰ 본 연구대상 사업장의 아황산가스 노출 수준은 0.1~0.4 ppm 수준으로 증상을 유발할 정도의 높은 수준으로 평가하기는 어려울 것으로 보인다.

지금까지 학계에 보고된 염화티오닐 노출로 인한 인체 피해는 대개 사고성 노출로 인한 폐 손상, 피부 화상, 눈 및 점막 손상 및 세기관지염 등,^{8,9}이며, 비사고성, 만성적으로 노출시의 종합적인 증상 평가를 처음으로 시도했다는데 본 연구의 의의가 있다고 하겠다.

V. 결 론

본 연구는 충남 소재 리튬이차전지 생산사업장의 전체 근로자 274명 중 설문응답을 완료한 266명을 대상으로 유해인자의 특성에 따라 ‘대조군(52명)’, ‘노출군_1(77명)’, ‘노출군_2(35명)’ 등 3개의 비교군으로 구분한 후 자각증상 경험률을 비교하였다.

본 연구결과, 노출군_2의 안구건조증 OR 추정치는 대조군과 비교하여 3.76(95% CI, 1.22-11.59, $p<0.05$), 노출군_1과 비교하여 OR 추정치는 6.33(95% CI, 2.19-18.24, $p<0.001$)로 높은 비차비를 보였다. 호흡기 증상 경험률은 대조군과 비교하여 노출군_2에서 기침의 OR 추정치는 5.83(95% CI, 1.24-27.32,

$p<0.01$)로 높은 비차비를 보였다. 비염관련 증상은 대조군과 비교하여 노출군_1과 노출군_2에서 코막힘 증상 OR 추정치와 CI는 각각 4.36(CI, 1.50-12.62, $p<0.01$), 5.29(95% CI, 1.37-20.45, $p<0.05$)로 높은 비차비를 보였다. 전체 피부 증상 경험률을 대조군과 비교하였을 때, 노출군_2에서 OR 추정치는 12.19(95% CI, 3.24-45.83, $p<0.001$), 노출군_1과 비교시 노출군_2에서의 OR 추정치는 6.45(95% CI, 1.94-21.43, $p<0.01$)로 높은 비차비를 보였다. 손에 발현되는 위험도 역시 대조군과 비교하였을 때, 노출군_2에서 OR 추정치는 6.39(95% CI, 2.02-20.21, $p<0.01$), 노출군_1과 비교하였을 때, 노출군_2에서 OR 추정치는 3.04(95% CI, 1.16-7.98, $p<0.05$)로 높은 비차비를 보였다.

본 연구결과를 바탕으로, 건조 환경에서 염화티오닐과 같은 자극성 물질에 동시 노출될 경우 다양한 자각 증상이 경험되거나 악화될 수 있음을 확인하였다. 단지 노출 기준만을 고려하여 건강 위해성을 간과하지 않도록 유의하여야 하며, 추후 염화티오닐이 사용되는 극건조환경에서의 건강영향을 고려한 노출 기준 재정비 등이 필요할 것이다.

지금까지 학계에 보고된 염화티오닐 노출로 인한 인체 피해는 대개 사고성 노출로 인한 폐 손상, 피부 화상, 눈 및 점막 손상 및 세기관지염 등,^{8,9}이며, 비사고성, 만성적으로 노출시의 종합적인 증상 평가를 처음으로 시도했다는데 본 연구의 의의가 있다고 하겠다.

감사의 글

이 연구는 2014학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

References

1. Lisbona D, Snee T. A review of hazards associated with primary lithium and lithium-ion batteries. *Process Saf Environ Prot.* 2011; 89(6): 434-442.
2. Su S, Lin K, Chang H, Lee C, Lu C, Guo H. Using urine specific gravity to evaluate the hydration status of workers working in an ultra-low humidity environment. *Journal of occupational health.* 2006; 48(4): 284-289.

3. Wikipedia. Lithium. Available: <http://ko.wikipedia.org/wiki/%EB%A6%AC%ED%8A%AC> [accessed 27 April 2015].
4. Sato M, Fukayo S, Yano E. Adverse environmental health effects of ultra-low relative humidity indoor air. *Journal of occupational health*. 2003; 45(2): 133-136.
5. Su S. Survey of ophthalmologic symptoms of light-on test workers in TFT-LCD industry. *Chinese J Occup Med*. 2004; 11: 107-115.
6. Cho HA, Cheon JJ, Kee JS, Kim SY, Chang SS. Prevalence of dry eye syndrome after a three-year exposure to a clean room. *Annals of Occupational and Environmental medicine*. 2014; 26(26): 1-6.
7. Centers for disease control and prevention. Thionyl chloride. Available: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0611.html> [accessed 2 November 2015].
8. Ducatman AM, Ducatman BS, Barnes JA. Lithium battery hazard: old-fashioned planning implications of new technology. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 1988; 30(4): 309-311.
9. Konichezky S, Schattner A, Ezri T, Bokenboim P, Geva D. Thionyl-chloride-induced lung injury and bronchiolitis obliterans. *CHEST*. 1993; 104(3): 971-973.
10. Uhm YI, Shin HR, Woo KH, Ahn KD, Lee BK. A study on the subjective symptoms of the workers exposed to organic solvents. *Soonchunghyang Journal of Industrial Medicine*. 1997; 3(1): 25-32.
11. Jung KS, Kim NS, Lee JD, Hwang BY, Son BS, Lee BK. The association of subjective symptoms of students and indoor air quality in private academic facilities. *J Environ Health Sci*. 209; 35(6): 468-477.
12. Ryn SM, Park SH, Park JW, Shin DY, Jeon MJ, Sakong J. Self-reported skin and eye symptoms among swimming pool users in Daegu, Korea. *J Environ Health Sci*. 2012; 38(4): 340-350.
13. Schiffman RM, Christianson MD, Jacobsen G, Hirsch JD, Reis BL. Reliability and validity of the ocular surface disease index. *Arch Ophthalmol*. 2000; 118(5): 615-621.
14. Miller KL, Walt JG, Mink DR, Satram-Hoang S, Wilson SE, Perry HD, et al. Minimal clinically important difference for the ocular surface disease index. *Arch Ophthalmol*. 2010; 128(1): 94-101.
15. Safe Work Australia. Health monitoring for exposure to hazardous chemicals: guide for medical practitioners. Safe Work Australia, 2013. Available: <http://www.safeworkaustralia.gov.au/sites/SWA/about/Publications/Documents/757/Guide-Medical-Practitioners-Health-Monitoring-Exposure-Hazardous-Chemicals.pdf> [accessed 2 May 2015].
16. Audit : Allergic Rhinitis and Asthma. Patient Allergic Rhinitis Questionnaire. Available: http://www.guideline-audit.com/allergic_rhinitis/ar_audit_patient_allergic_rhinitis_questionnaire.pdf [accessed 2 March 2014].
17. Susitaival P, Flyvholm M, Meding B, Kanerva L, Lindberg M, Svensson A. Nordic occupational skin questionnaire (NOSQ2002): a new tool for surveying occupational skin diseases and exposure. *Contact Dermatitis*. 2003; 49(2): 70-76.
18. Guidelines from the 2007 International Dry Eye Workshop. The definition & classification of dry eye disease. Available: <http://www.tearfilm.org/pdfs/OM%20%20Definition%20%26%20Classification.pdf> [accessed 2 May 2015].
19. Narayanan S, Miller WL, Prager TC, Jackson JA, Leach NE, McDermott AM, et al. The diagnosis and characteristics of moderate dry eye in non-contact lens wearers. *Eye Contact Lens*. 2005; 31(3): 96-104.
20. Smith JA. The epidemiology of dry eye disease. *Acta Ophthalmol Scand*. 2007; 85(s240):(Abstract).
21. Shimmura S, Shimazaki J, Tsubota K. Results of a population-based questionnaire on the symptoms and lifestyles associated with dry eye. *Cornea*. 1999; 18(4): 408-411.
22. Lee AJ, Lee J, Saw SM, Gazzard G, Koh D, Widjaja D, et al. Prevalence and risk factors associated with dry eye symptoms: a population based study in Indonesia. *Br J Ophthalmol*. 2002; 86(12): 1347-1351.
23. Schaumberg DA, Sullivan DA, Buring JE, Dana MR. Prevalence of dry eye syndrome among US women. *Am J Ophthalmol*. 2003; 136(2): 318-326.
24. Gayton JL. Etiology, prevalence, and treatment of dry eye disease. *Clin Ophthalmol*. 2009; 3: 405-412.
25. Su S, Wang B, Tai C, Chang H, Guo H. Higher prevalence of dry symptoms in skin, eyes, nose and throat among workers in clean rooms with moderate humidity. *Journal of occupational health*. 2009; 51(4): 364-369.
26. Kwon S, Campbell LS, Zirwas MJ. Role of protective gloves in the causation and treatment of occupational irritant contact dermatitis. *J Am Acad Dermatol*. 2006; 55(5): 891-896.
27. Egawa M, Oguri M, Kuwahara T, Takahashi M. Effect of exposure of human skin to a dry environment. *Skin Research and Technology*. 2002; 8(4):

- 212-218.
28. Rozanova E, Heilig P, Godni-Cvar J. The eye-a neglected organ in environmental and occupational medicine: an overview of known environmental and occupational non-traumatic effects on the eyes. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*. 2009; 60(2): 205-215.
29. Paustenbach DJ. The history and biological basis of occupational exposure limits for chemical agents. 5th ed. In: Harris R Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Wiley, New York; 2000, p. 1903-2000.
30. Arts JH, de Heer C, Woutersen RA. Local effects in the respiratory tract: relevance of subjectively measured irritation for setting occupational exposure limits. *Int Arch Occup Environ Health*. 2006; 79(4): 283-298.
31. Shusterman D, Murphy MA, Balmes J. Differences in nasal irritant sensitivity by age, gender, and allergic rhinitis status. *Int Arch Occup Environ Health*. 2003; 76(8): 577-583.
32. Osterman JW, Greaves IA, Smith TJ, Hammond SK, Robins JM, Theriault G. Work related decrement in pulmonary function in silicon carbide production workers. *Br J Ind Med*. 1989; 46(10): 708-716.
33. Chen TM, Gokhale J, Shofer S, Kuschner WG. Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. *Am J Med Sci*. 2007; 333(4): 249-256.