

일개 필름 제조 사업장 오존 노출 근로자의 폐기능 변화

단국대학교병원 산업의학과, 단국대학교 의과대학 산업의학교실¹⁾

채유미 · 김현주¹⁾ · 노상철¹⁾

— Abstract —

Pulmonary Function Changes of Ozone Exposed Workers in a Film Manufacturing Company

Yoomi Chae, Hyunjoo Kim¹⁾, Sangchul Roh¹⁾

*Department of Occupational Medicine, Dankook University Hospital
Department of Occupational and Environmental Medicine, College of Medicine, Dankook University¹⁾*

Objectives: To investigate the pulmonary function changes of ozone exposure in Corona and Slitter workers exposed to an ozone level ranging from 0.022~0.061 ppm.

Methods: Forty-two subjects were exposed for 8hrs to ozone every day. We performed pulmonary function testing immediately before and after work and self-administered, portable peak flow meter measurements were self-conducted by the workers over a 5-day (Monday to Friday) period.

Results: Ozone concentrations in the workplace ranging from 0.050~0.061 ppm at Corona and 0.022~0.023 ppm at Slitter in 2006. A small decrement in forced-vital capacity were observed among Corona workers from 93.9% to 91.3% ($p=0.012$) and also in employment duration below ten years. We found no significant differences in before and after FVC and FEV1 among Slitter workers. All daily (Monday to Friday) peak expiratory flow rates declined in magnitude after two days of ozone exposure, compared with first day exposure.

Conclusion: We concluded that daily ozone exposure in the workplace slightly decreased pulmonary function and that PEFV variability is greatest on the 2nd day of ozone exposure.

Key Words: Ozone, Pulmonary function change, PEFV variability

서 론

오존은 자극성이 있는 연푸른색의 기체로 낮은 농도에 서도 폭발성과 독성이 있으며 대기 중 오존에 노출시 급작스런 폐기능 저하, 기침, 숨가쁨, 흡기시 통증 등을 유발하는 것으로 알려져 있다(McDonnell et al, 1983; Hazucha, 1987; Seal et al, 1993).

사업장에서 오존은 살균, 소독, 표백제, 유기합성의 중간체 및 산화제 등으로 사용되고 있다. 주요 발생원으

는 전기 용접이나 정수 및 공기정화에 사용하는 오존발생 장치 주변과 고압전기장비 주변 등이다. 오존에 의한 건강 영향은 흡입이나 눈 또는 피부접촉에 의해 이루어지는데 반복 노출시에는 폐에 피해를 입을 수 있으며 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시키고 폐활량을 감소시킬 수 있다(KOSHA, 2006).

오존의 신체 영향에 관한 초기 연구는 오존 노출 농도에 따른 폐기능의 변화에 초점을 두었으나(Silverman et al, 1976), 오존의 농도뿐만 아니라 일회 호흡량과 노

출기간이 폐기능에 영향을 미치는 주요한 외부인자임이 알려지면서 오존 노출-반응 모형에 대한 연구가 주를 이루었다(Delucia & Adams, 1977; Hackney et al, 1977a; McDonnell et al, 1993).

현재까지의 오존에 의한 건강 영향에 관한 연구는 대부분 건강한 성인을 대상으로 수행한 실험적 단면연구로서 폐기능 변화와 증상의 발현은 오존의 농도, 노출기간 및 분당 호흡량과 유의한 양의 상관관계가 있음을 보고하고 있다(Seltzer et al, 1986; Koren et al, 1989; Aris et al, 1993; Balmes et al, 1996). 직업적 오존 노출로 인한 폐기능의 변화에 관한 연구로는 Olin 등(1999, 2004)과 Mehta 등(2005)의 오존 노출 표백공정 근로자와 대조군의 폐기능 비교연구가 있으나, 국내에서는 아직 보고된 바 없다.

Toren 등(2000)은 오존이 특히 성인에서 천식을 유발하는 중요한 유해인자이며 직업적으로 노출되는 근로자의 건강관리 측면에서 직업성 천식을 예방하고 질병의 진행을 저지하는 환경을 조성하는 것이 매우 시급하고도 중요하다고 강조하고 있지만, 우리 나라에서 오존이 특수건강진단 항목으로 신설된 것은 불과 2년 전인 2005년 10월이며 오존 노출로 인한 근로자의 건강장해에 대한 경험과 보고가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 직업적으로 오존에 노출되는 근로자에서 발생하는 폐기능의 변화를 살펴보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

폴리에스터(Polyester, PE)와 이축연신 폴리프로필렌(Biaxially Oriented Polypropylene, BOPP) 필름 제조 공장의 근로자 340명 중 오존 노출 부서인 권취(Corona) 및 절단(Slitter) 공정 근로자 42명 대부분이 두통, 오심, 코 및 인후 자극 증상을 호소하여 2006년 11월 20일부터 3주간 폐기능 검사를 실시하였다.

폴리프로필렌 등의 원료가 투입되면 열이 가해지고, 용융된 필름은 길이 및 폭 방향으로 축차 이축연신공정을 거쳐 필름 형태로 늘어난다. 이 때 이축연신된 필름을 감기 전 필름표면에 뛰어난 인쇄성 및 후가공성을 부여하기 위해 극성 처리하는 과정에서 코로나 방전이 이루어지며, 이 때 오존과 열이 발생 한다. 이후 생산된 필름은 규격에 맞게 절단 및 재단하는 절단과정을 거쳐 완성된다.

실제 오존이 발생하는 공정은 코로나가 방전되는 권취이지만, 작업장 내 공조시설을 통한 공기가 절단 공정에도 공급되기 때문에 권취와 절단 공정 근로자를 대상으로 선정하였다.

2. 연구 방법

1) 오존 노출수준

2005년 상반기 오존 노출수준은 환경부의 “실내공기질 공정시험방법”상의 주된 시험방법인 자외선광도법을 적용한 자동측정 장비(TAPI 400E O3 analyzer, TELE-DYNE INSTRUMENTS, USA)를 이용하여 측정하였으며, 각 측정지점 마다 1시간 동안 측정하여 그 평균값을 구하였다. 2005년 하반기와 2006년에는 수동식 시료채취기(OB-PO3, Envors, Daegwon, Korea)를 이용하여 근로자 개별적으로 배지형(badge-type)의 오존 측정기를 하루 8시간 장착한 후 수거하여 분석하였다. 수동식 시료채취기의 오존 흡수제는 p-acetaminophenol이었으며, 형광분광계(fluorescence spectrometer, Hitachi F2500, Tokyo, Japan)를 사용하여 분석하였다.

정기적인 작업환경 측정과는 별도로 직독식 모니터링 측정법(TG-501, WolfSense software with Pocket PC, USA)을 이용하여 보건대행 업무 수행을 위한 방문시 해당 공정을 측정하고 오존 노출수준을 평가하였다.

2) 폐기능 검사

폐활량 검사는 3교대 근무 특성을 감안하여 해당 사업장의 보건대행간호사가 월요일~금요일 5일간 이른 새벽(06:30시)부터 늦은 저녁(23:00시)까지 3주간 상주하면서 출퇴근 근로자를 대상으로 작업시작 전에 1차 검사를 하고, 8시간 작업종료 후 2차 폐활량 검사를 실시하였다. 검사시작 전에 검사의 의미, 자세 등을 설명하였고 폐활량 검사시 대상자의 과거력(심장수술, 폐수술 등), 1시간 이내 흡연 및 식사 유무, 폐기능 검사 경험 등을 조사하였다. 검사기기는 FlowScreen (VIASYS Healthcare, Germany)을 사용하였으며, Knudson의 예측식에 근거하여 검사결과를 산출하였다. 검사시작 전 보정을 통해 정확한 측정이 이루어지도록 하였다.

Essex CM20 2TT (Clement Clarke International Ltd, UK)를 사용한 최대호기유속(Peak Expiratory Flow Rate, PEFr)은 보건대행간호사가 근로자에게 측정방법 및 기록에 관련한 사항을 사전에 교육하였다. 연구대상 사업장은 주 5일 4조 3교대 근무이므로 검사를 위해 권취와 절단 공정 근로자의 근무조를 재편성하여 주말에 쉬고 월요일에 검사를 시작할 수 있도록 하였다. 실제 측정은 월요일부터 금요일까지 5일간 작업시작 전, 작업 중간 시점, 작업종료 후 각각 3회 측정하도록 하였다. 작업 중간 시점은 3교대 근무 특성을 고려하여 주간 근무자는 점심식사 전, 낮 근무자는 저녁식사 전, 저녁 근무자는 새벽 1시 간식 전에 측정하도록 하였다. 본 기기의 PEFr 검사의 정확도는 PEFr±6%였다.

3. 자료분석

폐활량 검사 대상자 총 42명의 자료를 최종 분석에 이용하였다. 연구대상자의 연령, 성, 근무기간, 근무공정, 흡연 여부, 신장, 체중 등의 자료는 일반건강진단 문진표와 의사문진 자료를 확인하여 파악하였다. 작업 전후 폐기능 비교를 위해 폐활량 측정치 중에서 노력성 폐활량 (Forced Vital Capacity, FVC), 1초간 노력성 호기량 (Forced Expiratory Volume in 1 second, FEV1), FEV1/FVC 등 세 가지 지표를 분석에 사용하였다.

PEFR은 권취 및 절단군 42명 중 5일간의 측정치가 충실히 기록된 24명(권취군 8명, 절단군 16명)의 자료만을 최종 분석대상으로 하였다. 작업시작 전/작업 중간/작업종료 후 각각의 시점에서 3회 기록된 자료에서 가장 높은 값을 분석에 사용하였고, 최종 분석대상자 24명의 PEFR 변이는 아래의 공식에 의해 산출하였다.

$$\text{PEFR variability(\%)} = \frac{[(\text{Daily PEFR}^* - \text{Baseline PEFR}^\dagger) / \text{Baseline PEFR}] \times 100}{}$$

*: 작업시작 전, 작업 중간 시점, 작업종료 후 각각의 PEFR 최대값,
 †: 월요일 작업시작 전 PEFR

통계분석은 SPSS for Windows 12.0을 사용하였고 권취 및 절단군의 일반적 특성은 t-test와 chi-square test로 비교하였다. 오존 노출 근로자의 작업 전후 폐활

량과 PEFR 변이(%)의 차이는 paired t-test를 실시하였다.

결 과

1. 오존 노출수준

2005년 상반기 자외선광도법에 의한 권취 공정의 오존 농도는 0.057~0.091 ppm으로 노동부가 고시한 시간가중 평균치 노출기준인 0.1 ppm에 근접한 높은 노출수준을 보인다. 수동식 시료채취기에 의한 개인별 노출수준은 2005년 하반기에 약간 감소하여 0.012~0.024 ppm을 기록하다가 2006년 상반기 최고 0.050 ppm, 하반기에는 0.050~0.061 ppm으로 노출기준의 절반 수준을 유지하고 있다. 반면 절단 공정의 2006년 상반기 오존 농도는 0.022~0.023 ppm으로 권취 공정의 절반 수준이었으며 하반기에는 검출되지 않았다(Table 1).

2. 폐기능 검사

1) 일반적 특성

대상자는 모두 남성으로 권취군 10명, 절단군 32명의 평균 연령은 각각 35.7세와 31.9세로 권취군의 연령이 통계적으로 유의하게 높았다(p=0.016). 평균 근무기간은

Table 1. Ozone level in working site

	April 13, 2006	November 22, 2006
Slitter		
Point 1	0.023	ND
Point 2	0.022	ND
Corona		
Point 3	0.031	ND
Point 4	0.034	ND
Point 5	0.050	0.061
Point 6	0.040	0.050

ND: none detection

Table 2. General characteristics of study subjects

Variables	Slitter	Corona	P-value
Subjects, n(%)	32 (76.2)	10 (23.8)	
Age (years), mean ± SD	31.9 ± 3.9	35.7 ± 4.9	0.016
Smoking			0.203
Current smoker, n(%)	20 (62.5)	9 (90.0)	
Ex-smoker, n(%)	7 (21.9)	1 (10.0)	
Nonsmoker, n(%)	5 (15.6)	-	
Employment duration (years), mean ± SD	8.3 ± 3.4	7.7 ± 3.9	0.642

Table 3. Change of lung function before and after work according to working site

	Slitter (n=32)		P-value	Corona (n=10)		P-value
	Before work	After work		Before work	After work	
FVC*	95.2	96.2	0.462	93.9	91.3	0.012
FEV1†	92.2	93.0	0.561	92.0	90.4	0.157
FEV1/FVC	97.3	97.3	1.000	99.0	100.1	0.084

*: FVC, Forced Vital Capacity (% pred.)

†: FEV1, Forced Expiratory Volume in 1 second (% pred.)

Table 4. Change of lung function before and after work according to age and employment duration

				FVC *	FEV1†	FEV1/FVC (%)
Age (yrs)	~29	Slitter (n= 8)	Before/After	97.3/99.4	94.6/95.6	97.5/97.0
		Corona (n= 0)	Before/After	-	-	-
	30~49	Slitter (n=24)	Before/After	94.4/95.0	91.3/92.1	97.2/ 97.4
		Corona (n=10)	Before/After	93.9/91.3†	92.0/90.4	99.0/100.1
Employment duration (yrs)	<10	Slitter (n=17)	Before/After	95.8/96.3	92.1/94.2	96.6/ 98.5
		Corona (n= 5)	Before/After	93.6/91.0	89.2/88.0	95.8/ 97.0
	≥10	Slitter (n=15)	Before/After	94.5/96.0	92.2/91.8	97.9/ 96.0
		Corona (n= 5)	Before/After	94.2/91.6	94.8/92.8	102.2/103.2

*: FVC, Forced Vital Capacity (% pred.),

†: FEV1, Forced Expiratory Volume in 1 second (% pred.),

‡: p value < 0.05

권취군 7.7년, 절단군 8.3년이었고, 권취군 10명 중 9명 (90%) 및 절단군 32명 중 20명(62.5%)이 흡연자이지만 두 군간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다(Table 2).

2) 폐활량 검사

절단군의 FVC는 작업시작 전 예측치의 95.2%에서 작업종료 후 96.2%로 별다른 변화가 없었고, FEV1 역시 작업시작 전 예측치의 92.2%에서 작업종료 후 93.0%로 유의한 변화가 없었다. FEV1/FVC도 작업시작 전과 작업종료 후에 동일하게 97.3%로 작업 전후 변화가 없었다.

반면 권취군의 경우 작업시작 전 FVC가 93.9%에서 작업종료 후 91.3%로 통계적으로 유의하게 감소하였다 (p=0.012). FEV1은 작업시작 전 92.0%에서 작업종료 후 90.4%로 통계적으로 유의하지는 않았으나, 작업종료 후 감소 양상을 보였다. FEV1/FVC는 작업시작 전 99.0%에서 작업종료 후 100.1%로 작업 전후에 변화가 없었다(Table 3).

권취군은 모두 30~49세 연령에 해당하여 작업시작 전 FVC가 93.9%에서 작업종료 후 91.3%로 통계적으로 유의한 감소를 보였으나(p=0.012), 절단군은 연령에 따라서 작업종료 후 FVC가 감소하지 않았다. 근무기간이 10년 미만인 권취군의 경우 작업시작 전 FVC가 93.6%에서 작업종료 후 91.0%로 통계적으로 경계역 수준으로 감소하였으며(p=0.057), FEV1과 FEV1/FVC는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 반면 절단군의 경우 근무기간

에 따라 폐활량의 유의한 변화가 없었다(Table 4).

3) PEFR 변이

월요일 작업시작 전 PEFR을 기준으로 5일간 PEFR 변이를 살펴본 결과, 통계적으로 유의하지는 않았으나 PEFR 변화의 방향성은 알 수 있었다. 월요일 작업 중간 시점부터 떨어지기 시작한 PEFR은 화요일 작업시작 전에 가장 많이 감소하였다(-3.6%) 차차 회복되는 양상을 보였다. 이어 수요일 작업시작 전(-2.5%) PEFR은 월요일 작업 중간 시점과(-3.2%) 유사한 정도로 감소하였다가 다시 회복되는 양상을 보였다. 이 후 PEFR은 회복과 감소를 반복하지만, 목요일 작업종료부터(-1.7%)

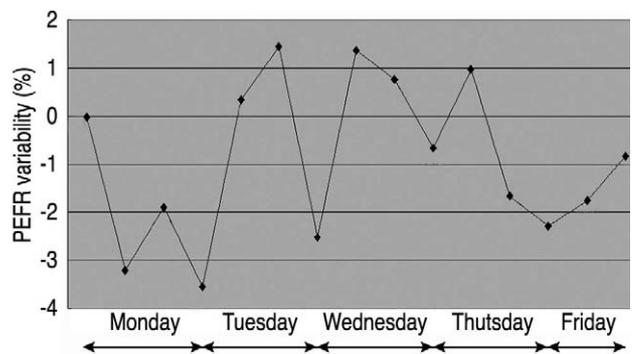


Fig. 1. Daily PEFR (Peak Expiratory Flow Rate) variability compared with Monday pre-working PEFR (n=24). Abbreviation: Pre, Pre-working; Mid, Midpoint-working; Post, Post-working.

PEFR이 감소하기 시작하여 금요일 작업종료 시점(-0.8%) 약간의 호전을 보이지만 월요일 작업시작 전 수준으로 회복되지는 않았다(Fig. 1).

고 찰

본 연구는 호흡기 자극제인 오존의 작업장 내 노출이 폐기능에 미치는 영향을 파악하고자 오존 노출 공정 근로자를 대상으로 작업 전후 폐활량 검사와 PEFr 검사를 실시하였고, 그 결과 주요 오존 노출부서인 권취 공정 근로자의 작업종료 후 FVC가 통계적으로 유의하게 감소하였음을 확인하였다.

일반 환경대기 중 오존을 포함한 옥시단트를 측정하는 방법으로는 자동연속측정법과 수동측정법이 있는데, 환경부는 자동연속측정법 중 하나인 자외선광도법을 주 시험 방법으로 정하고 있다(Yim et al, 2004). 본 연구대상 사업장은 2005년 상반기에 자외선광도법을 이후에는 수동식 시료채취기 방법을 이용하여 오존 농도를 측정하였으며, 간헐적인 작업장 내 오존 농도의 즉각적 평가는 직독식 모니터링 측정법을 활용하였다.

자외선광도법은 고가의 장비와 전문인력이 요구되지만 측정 결과가 정확하고 정밀하여 대기 오염 자료 모니터링과 시간당 평균 오존 농도를 알 수 있다. 최근에는 상대적으로 저렴하고 전원이 필요하지 않아 공간적 제약 없이 설치가 가능한 수동식 시료채취기를 이용한 측정이 대안으로 선택되고 있다(Zhou & Smith, 1997). 자외선광도법과 수동식 시료채취기 측정값의 상관관계 연구 결과 $r=0.80$ (Pehcec et al, 2003)과 $r=0.963$ (Yim et al, 2004)으로 정확도와 정밀도 측면에서 큰 차이가 없다. 따라서 본 연구에서 연도별 측정방법의 차이에 의한 오존 농도값의 차이는 크지 않을 것으로 생각된다.

오존 노출수준은 전체적으로 권취 공정에서 높았다. 2005년 상반기에는 0.057~0.091 ppm으로 노동부 노출기준인 0.1 ppm에 근접하다가 하반기에 0.012~0.024 ppm으로 감소하였는데, 이러한 차이는 오존 측정 이후 작업환경 개선을 위한 국소배기 장치 청소 등 환경개선효과로 생각된다. 2006년 상반기 작업장 내 오존 농도는 0.022~0.050 ppm이었고 하반기에는 0.050~0.061 ppm으로 노동부 노출기준인 0.1 ppm을 초과하지는 않았지만, 오존에 의한 건강장해와 작업강도의 관련성을 함께 제시하고 있는 ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists)의 중작업 기준인 0.05 ppm을 초과하고 있다.

노동부가 고시한 오존의 시간가중 평균치 노출기준(TLV-TWA)은 OSHA (Occupational Safety and Health Administration)와 마찬가지로 작업강도와 무

관하게 0.1 ppm이지만, ACGIH에서는 경작업 0.1 ppm, 중등작업 0.08 ppm, 중작업 0.05 ppm으로 작업강도에 따라 차별적 노출기준을 제시하고 있다(KOSHA, 2006). 또한 WHO와 유럽연합에서 제시하고 있는 대기 중 하루 8시간 노출 상한선이 0.06 ppm임을 감안한다면(Ratto et al, 2006) 상당량의 노출이 지속적으로 이루어진다고 볼 수 있다. 통상적인 작업환경 측정과는 별도로 2006년 5월 평가한 권취 공정의 오존 농도가 0.04~0.09 ppm, 절단 공정의 송기구에서는 대략 0.15 ppm으로 해당 작업 공정의 노출수준이 차이가 있었다.

오존은 다양한 오염원에서 배출된 질소화합물, 휘발성 유기화합물 등 대기오염물질이 광화학반응을 통해 생성되므로 계절적 영향이 커서 유럽의 일부 지역에서는 여름에 0.1 ppm을 초과하기도 한다(Ratto et al, 2006). 그러나 작업장 내 오존 노출은 계절적 변동 없이 하루 8시간 작업 중 일정하게 발생하며 근로자의 작업강도에 따른 폐기능의 영향을 고려해 볼 때 오존 노출 및 건강영향에 대한 주기적인 평가를 통해 적극적인 직업성 질환 예방 활동이 필요하다.

본 연구에서 통계적 분석은 권취군과 절단군간 요인과 작업 전후 폐기능을 개체 내 요인으로 하여 오존 노출 정도에 따라서 작업 전후 폐기능에 차이가 있는가를 검정하는 일반선형모형을(Roh, 2004) 이용하지 않고, 대응표본 t 검정을 실시하였다. 이는 권취군과 비교하여 절단군이 오존 저노출집단이긴 하지만 비노출군은 아니며, 두 군을 개별적 집단으로 하여 폐기능 변화를 비교 분석하는 것이 결과를 이해하거나 해석하는데 유용할 것으로 판단하였기 때문이다.

절단군에서는 작업 전후 FVC와 FEV1의 차이가 없었으나, 권취군에서는 작업시작 전 FVC가 93.9%에서 작업종료 후 91.3%로 통계적으로 유의하게 감소하였고($p=0.012$), FEV1은 통계적으로 유의하지는 않았지만 92.0%에서 90.4%로 감소하는 경향을 보였다. 이는 오존 노출에 의한 일회성 폐기능 변화로 기도저항 증가와 FEV1 및 FVC의 감소(Aris et al, 1993; Balmes et al, 1996; Ratto et al, 2006)를 보고한 기존의 연구결과와 일치한다.

FVC와 FEV1은 각각 제한성 폐질환과 천식, 기관지염과 같은 폐쇄성 폐질환의 정도를 평가하는 유용한 지표이며, FEV1/FVC이 70% 미만인 경우에 폐쇄성 폐기능 장애에 속한다. 본 연구에서 권취군의 작업 전후 FVC와 FEV1의 감소는 정상 범위 내 변화로 폐기능 장애를 의미하지는 않으며, 호흡기도 자극으로 인한 흡기능력 감소에 기인한다고 보는 것이 타당할 것이다(Harber et al, 1996).

Seal 등(1993)은 오존 농도(0.12~0.40 ppm)×2.33

h)와 오존 노출 전후 FEV1 변화는 비례하여 오존 농도가 높아짐에 따라 노출 후 FEV1의 감소폭도 커짐을(-3.6%~22.7%) 보고하고 있다. 권취 공정은 코로나 방전을 통해 오존을 직접 방출하므로 절단 공정에 비해 상대적으로 오존 농도가 높았고 이러한 작업환경의 차이가 폐활량 검사 결과의 차이로 나타난 것으로 여겨진다.

권취군 중 10년 미만 근무자 5명에 대한 FVC 비교 결과, 작업시작 전 93.6%에서 작업 종료 후 91.0%로 통계적으로 경계역 수준의 감소를 보였다(p=0.057). 권취군 모두 30세 이상으로 연령에 따른 분석은 큰 의미가 없었으나, 10년 이상 근무군의 평균 연령이 38세로 10년 미만 근무자 평균 연령 33세에 비해 통계적으로 유의하게 높았음에도 불구하고 상대적으로 젊은 층인 10년 미만 근무군에서 오히려 작업 전후 폐기능의 차이를 보였다.

Balazs (1974)는 폐가 독성물질에 반복적으로 노출되면 적응반응을 보인다고 하였고, Horvath 등(1981)은 이러한 폐의 생리적 적응은 폐활량 변화 지표인 FVC, FEV1, FEF_{25-75%}의 변화를 무력화시키거나 기침, 가슴 조임 등과 같은 증상의 소실을 가져온다고 하였다. 덧붙여 반복적으로 대기 중 오존에 노출되는 경우 급성 호흡기 자극에 대해 폐가 적응 한다는 연구(Hackney et al, 1977b; Farrell et al, 1979; Folinsbee et al, 1980) 결과를 고려해 볼 때 오랜 기간 오존에 노출된 군에서 폐기능의 적응을 보인 결과로 사료된다. 또한 젊은 층에 비해 노년층이 오존에 의한 자극에 둔감할 수 있다는 보고도 있어(Drechsler-Parks et al, 1987; McDonnell et al, 1993), 본 연구 결과 10년 이상 근무군의 연령층이 높았던 점을 감안한다면 상대적으로 고령이고 노출기간이 길었던 집단에서 폐기능 변화 양상이 뚜렷하지 않았던 것으로 사료된다.

월요일 작업시작 전 PEFr을 기준으로 하여 5일간 PEFr 변이를 살펴본 결과, 본 연구에서는 화요일 작업시작 전 PEFr의 감소가 두드러졌지만 통계적으로 유의하지는 않았고, 수요일과 목요일을 제외하고는 작업시작 전 PEFr이 감소하였다가 근무시간이 경과하면서 점차 회복되는 양상을 보였다.

반복적인 오존 노출로 인한 폐기능 변화는 노출 둘째 날에 FEV1과 FVC의 감소가 두드러지다가(Hackney et al, 1977b; Christian et al, 1998; Jorres et al, 2000; Frank et al, 2001; Ratto et al, 2006), 셋째와 넷째 날에 거의 노출 첫날 수준으로 회복한다. 본 연구에서도 노출 둘째 날 작업시작 전에 PEFr의 감소가 가장 커서 기존의 연구 결과와 일치하는데, 이는 급성 오존 노출 후 24시간이 경과하면 폐기능이 회복되는 현상으로 설명이 가능하다(Harber et al, 1996). 그러나 기존 연구들이 오존 노출 셋째 날 이후에는 노출 첫날 수준으로

로 폐기능이 회복된 것과 달리 본 연구에서는 노출 다섯째 날에도 첫날 수준으로 완전히 회복되지 않았다. 이는 비직업적 노출과 직업적 노출에 의한 연구대상자 특성의 차이에 기인하는 것으로 생각되며 후속 연구를 통해 재평가 되어야 할 부분으로 사료된다.

흡연과 연령에 따른 폐기능의 유의한 변화는 관찰되지 않았는데, 흡연자(Shephard et al, 1983)인 경우에도 비흡연자와 비교하여 오존 노출에 의한 의미 있는 폐기능의 감소를 보이지 않았다는 연구 결과와 일치한다.

권취군에서 작업 전후 FVC의 유의한 변화가 나타났지만 전체적으로 정상 범위에서의 변동으로 질환을 의심할 만한 소견을 보인 근로자는 없었다. 육체 근로자의 경우 건강 근로자 효과의 영향으로 취약층은 이미 퇴사하여 상대적으로 건강한 근로자의 검사 결과일 수 있으며, 이는 10년 이상 장기 근무자의 오존에 의한 폐기능 영향이 적었던 연구 결과에도 영향을 미쳤을 수 있다. 그러나 오존 노출자에서 천식발생이 증가한다는 연구도(Olin et al, 2004) 있으므로 알레르기성 질환이나 천식 등 민감한 계층에 대해서는 추후 연구를 통한 평가가 필요하다.

본 연구는 오존 노출 공정 근로자를 대상으로 한 단면 연구로 폐기능의 장기적 변화 양상은 알 수 없었으며 본 연구 결과를 일반화하기에는 제한점이 있으나, 사업장 내 오존 노출로 인한 근로자의 폐기능 변화를 관찰한 연구로서 의미가 크다고 할 수 있다. 추후 연구들을 통해 건강 취약계층과 흡연, 연령, 근무기간 등에 따른 오존 노출이 폐기능에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

요 약

목적: 본 연구는 직업적으로 오존에 노출되는 근로자에서 발생하는 폐기능의 변화를 살펴보고자 실시하였다.

방법: 일개 필름 제조 공장의 근로자 340명 중 오존 노출 부서인 권취 및 절단 공정 근로자 42명을 대상으로 작업시작 전과 작업종료 후 2회에 걸쳐 폐활량 검사를 실시한 후 비교 분석하였다. 최대호기유속은 근무조를 재편성하여 주말에 쉬고 월요일부터 금요일까지 하루 3회(작업시작 전/작업 중간 시점/작업종료 후)에 걸쳐 측정하도록 하였다. 자료 분석은 SPSS for Windows 12.0을 사용하여 통계분석 하였다. 오존 노출수준은 지난 2년간 권취 및 절단 공정의 작업환경측정 결과를 활용하였다.

결과: 2005년 상반기 권취 공정의 오존 농도는 0.057~0.091 ppm으로 노동부가 고시한 시간가중 평균치 노출기준인 0.1 ppm에 근접한 수준을 보였다. 2005년 하반기에는 약간 감소하여 0.012~0.024 ppm, 2006년에는 0.050~0.061 ppm으로 노출기준의 절반 수준을 유지하였다. 2006년 상반기 절단 공정의 오존 농도는

0.022~0.023 ppm으로 권취 공정의 절반 수준이었다. 작업 전후 폐활량 비교 결과 절단군(32명)에서는 유의한 차이가 없었으나, 권취군(10명)의 경우 작업시작 전 FVC 93.9%에서 작업종료 후 91.3%로 통계적으로 유의하게 감소하였다(p=0.012). 권취군의 근무기간에 따른 폐기능의 변화를 살펴보면, 근무기간 10년 미만인 5명의 경우 작업시작 전 FVC가 93.6%에서 작업 종료 후 91.0%로 감소하였으며, 절단군 17명에서는 차이를 보이지 않았다. 월요일 작업시작 전 최대호기유속을 기준으로 5일간의 PEFr의 변이를 살펴본 결과 화요일 작업시작 전에 가장 많이 감소하였다.

결론: 본 연구는 오존 노출 공정 근로자를 대상으로 한 단면연구로 폐기능의 장기적 변화 양상은 알 수 없었으며 본 연구 결과를 일반화하기에는 제한점이 있으나, 사업장 내 오존 노출로 인한 근로자의 폐기능 변화를 관찰한 연구로서 의미가 크다고 할 수 있다. 추후 연구들을 통해 건강 취약계층과 흡연, 연령, 근무기간 등에 따른 오존 노출이 폐기능 변화에 미치는 영향을 평가할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구를 위하여 자료수집에 도움을 주신 단국대학병원 산업의학과 김진아 간호사, 김동현, 최상원 산업위생관리(술)사, 작업환경측정팀과 건강진단팀에게 진심으로 감사드립니다.

참고문헌

Aris R, Christian D, Hearne P, Kerr K, Finkbeiner W, Balmes J. Ozone-induced airway inflammation in human subjects as determined by airway lavage and biopsy. *Am Rev Respir Dis* 1993;148(5):1363-72.

Balazs T. Development of tissue resistance to toxic effects of chemicals. *Toxicology* 1974;2(3):247-55.

Balmes J, Chen L, Scannell C, Tager I, Christian D, Hearne P. Ozone-induced decrements in FEV1 and FVC do not correlate with measures of inflammation. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;153(3):904-9.

Christian DL, Chen LL, Scannell CH, Ferrando RE, Welch BS, Balmes JR. Ozone-induced inflammation is attenuated with multiday exposure. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;158(2):532-7.

Delucia A, Adams WC. Effects of ozone inhalation during exercise on pulmonary function and blood biochemistry. *J Appl Physiol* 1977;43(1):75-81.

Drechsler-Parks DM, Bedi JF, Horvath SM. Pulmonary function responses of older men and women to ozone exposure. *Exp Gerontol* 1987;22(2):91-101.

Farrell BP, Kerr HD, Kulle TJ, Sauder LR, Young JL. Adaptation in human subjects to the effects of inhaled ozone after repeated exposure. *Am Rev Respir Dis* 1979;119(5):725-30.

Folinsbee LJ, Bedi JF, Horvath SM. Respiratory responses in humans repeatedly exposed to low concentrations of ozone. *Am Rev Respir Dis* 1980;121(3):431-9.

Frank R, Liu MC, Spannhake EW, Mlynarek S, Macri K, Weinmann GG. Repetitive ozone exposure of young adults: evidence of persistent small airway dysfunction. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164(7):1253-60.

Hackney JD, Linn WS, Karuza SK, Buckley RD, Law DC, Bates DV, Hazucha M, Pengelly LD, Silverman F. Effects of ozone exposure in Canadians and Southern Californians Evidence for adaptation? *Arch Environ Health* 1977a;32(3):110-6.

Hackney JD, Linn WS, Mohler J, Collier C. Adaptation to shortterm respiratory effects of ozone in men exposed repeatedly. *J Appl Physiol* 1977b;43(1):82-5.

Harber P, Schenker MB, Balmes JR. Occupational and Environmental Respiratory Disease. Mosby. 1996. pp 809-14.

Hazucha MJ. Relationship between ozone exposure and pulmonary function changes. *J Appl Physiol* 1987;62:1671-80.

Horvath SM, Gliner JA, Folinsbee LJ. Adaptation to ozone: duration of effect. *Am Rev Respir Dis* 1981;123(5):496-9.

Jorres RA, Holz O, Zachgo W, Timm P, Koschyk S, Muller B, Grimminger F, Seeger W, Kelly FJ, Dunster C, Frischer T, Lubec G, Waschewski M, Niendorf A, Magnussen H. The effect of repeated ozone exposures on inflammatory markers in bronchoalveolar lavage fluid and mucosal biopsies. *Am J Respir Crit Care Med* 2000;161:1855-61.

Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA). Practical guideline of health examination (3rd edition). Occupational Safety & Health Research Institute. Incheon. 2006. pp 407-9. (Korean. translated by Chae YM)

Koren H, Devlin F, Graham D, Mann F, McGee M, Horstman D. Ozone-induced inflammation in the lower airways of human subjects. *Am Rev Respir Dis* 1989;139(2):407-15.

McDonnell WF, Horstman DH, Hazucha MJ. Pulmonary effects of ozone exposure during exercise: dose response characteristics. *J Appl Physiol* 1983;54(5):1345-52.

McDonnell WF, Muller KE, Bromberg PA, Shy CM. Predictors of individual differences in acute response to ozone exposure. *Am Rev Respir Dis* 1993;147(4):818-25.

Mehta AJ, Henneberger PK, Toren K, Olin AC. Airflow limitation and changes in pulmonary function among bleachery workers. *Eur Respir J* 2005;26(1):133-9.

Olin AC, Ljungkvist G, Bake B, Hagberg S, Henriksson L, Toren K. Exhaled nitric oxide among pulp mill workers reporting gassing incidents involving ozone and chlorine dioxide. *Eur Respir J* 1999;14(4):828-31.

Olin AC, Andersson E, Andersson M, Granung G, Hagberg S,

- Toren K. Prevalence of asthma and exhaled nitric oxide are increased in bleachery workers exposed to ozone. *Eur Respir J* 2004;23(1):87-92.
- Pehcec G, Vadjic V, Hrsak J. Comparison of active and passive measurement of ozone in Zagreb air. *Bull Environ Contam Toxicol* 2003;70:343-50.
- Ratto J, Wong H, Liu J, Fahy J, Boushey H, Solomon C, Balmes J. Effects of multiday exposure to ozone on airway inflammation as determined using sputum induction. *Environ Health Perspect* 2006;114(2):209-12.
- Roh HJ. Korea SPSSWIN for Analyzing Multivariate Data. Hungsul. 2004. pp 279-82. (Korean)
- Seal E, McDonnell WF, House DE, Salaam SA, Dewitt PJ, Butter SO, Green J, Raggio L. The pulmonary response of white and black adults to six concentrations of ozone. *Am Rev Respir Dis* 1993;147(4):804-10.
- Seltzer J, Bigby B, Stulbarg M, Holtzman M, Nadel J, Ueki L. O₃-induced change in bronchial reactivity to methacholine and airway inflammation in humans. *Am Rev Respir Dis* 1986;60:1321-6.
- Shephard RJ, Urch B, Silverman F, Corey PN. Interaction of ozone and cigarette smoke exposure. *Environ Res* 1983;31(1):125-37.
- Silverman, F, Folinsbee LJ, Barnard J, Shephard RJ. Pulmonary function changes in ozone: interaction of concentration and ventilation. *J Appl Physiol* 1976;41(6):859-64.
- Toren K, Brisman J, Olin AC, Blanc PD. Asthma on the job: work-related factors in new-onset asthma and in exacerbations of pre-existing asthma. *Respir Med* 2000; 94(6):529-35.
- Yim BB, Jung ES, Kim ST. Development of a passive sampler using a fluorescence material for the ambient ozone. *J KOSAE* 2004;20(4):483-491.(Korean)
- Zhou J, Smith S. Measurement of ozone concentrations in ambient air using a badge-type passive monitor. *J Air Waste Manage Assoc* 1997;47:697-703.