

## 폐놀 노출 근로자의 요중 폐놀농도에 영향을 미치는 요인

심규진<sup>1)</sup> · 노재훈<sup>2)</sup> · 김치년<sup>1)</sup> · 이신영<sup>2)</sup> · 원종욱<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>연세대학교 보건대학원 및 산업보건연구소

<sup>2)</sup>연세대학교 의과대학 예방의학교실 및 산업보건연구소

### The factors that influenced urinary phenol in workers exposed to phenol

Gyu Jin Shim<sup>1)</sup> · Jaehoon Roh<sup>2)</sup> · Chinyon Kim<sup>1)</sup> · Shinyoung Lee<sup>2)</sup> · Jong Uk Won<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup>Institute for Occupational Health & Graduate School of Public Health, Yonsei University,

<sup>2)</sup>Institute for Occupational Health & Department of Preventive Medicine, Yonsei University College of Medicine

#### Abstract

**Objectives** : The purpose of this study is to identify the characteristics that affect the urinary phenol of workers exposed to phenol.

**Subjects and Methods** : Total 41 workers were selected at bisphenol A manufacturing plant and their urinary phenol concentration were measured before and after work along with the phenol concentration in the workplace air, and carried out a survey on work characteristics and lifestyle factors that could affect urinary phenol.

**Results** : The phenol concentration in air during work hours was 0.91 (non-detection~2.88) mg/m<sup>3</sup>, and the worker's urinary phenol concentrations before and after work were 100.27±75.76 and 138.13±109.58 mg/g creatinine, respectively, which showed a statistically significant increase. Comparing smoking and urinary phenol concentration, smokers had 194.54±137.52 mg/g creatinine while non-smokers had 108.88±80.10 mg/g creatinine, thus showing the urinary phenol concentration of smokers to be statistically significantly higher (p=0.046). The urinary phenol concentration increased as work hours, the frequency of skin exposure to phenol, and the amount of drinking increased, and there were differences in its concentration depending on the work type and whether or not workers wore protective gear.

The results of carrying out a multiple regression analysis showed that phenol concentration in air, work hours, frequency of skin exposure, and smoking were statistically significant. In other words, the urinary phenol concentration increased more for smokers than for non-smokers, when work hours became longer, and when the frequency of skin exposure was over five times.

**Conclusions** : The factors that influenced urinary phenol in workers exposed to phenol were phenol concentration in air, work hour, frequency of skin exposure, smoking, work and lifestyle habits. Accordingly, biological monitoring for phenol exposure assessment must reflect these factors, and effort must be made to reduce skin exposure at workplace.

**Keywords** : phenol in air, urinary phenol, smoking, biological monitoring

\* Corresponding author. Tel :+82-2-2228-1872, E-mail : juwon@yuhs.ac

\* 투고일 : 2011.05.13 1차수정일 : 2011.05.30 게재확정일 : 2011.06.03

## 1. 서 론

페놀(phenol)은 페닐기에 하이드록시기가 결합한 방향족 화합물이며, 무색의 결정으로 향긋한 냄새와 타르냄새가 난다. 페놀의 물리적 성상은 수소이온지수(pH) 6.0, 분자량 94.12, 비중 1.0576, 끓는 점 181.18℃의 특성을 지니고 있다(ACGIH, 2009).

페놀은 주로 호흡기, 피부 및 소화기를 통하여 급속하게 흡수된다. 호흡기를 통해 8시간 동안 노출된 경우 70~80%가 흡수 되고, 페놀 증기에 6시간 노출 시 70~80%가 피부에 의해 흡수된다(Piotrowski, 1971). 또한 인간의 복부 피부에 대한 생체 외 시험에서 용량의 10.9%가 흡수 되었다(WHO, 1994).

페놀의 분포는 노출된 동물들의 모든 조직에 신속하게 분포되며, 쥐에게 페놀 207 mg/kg을 단회 경구투여 했을 때 조직과 혈장 사이의 최고 농도비는 42%로 간에서 나타났고, 그 다음으로 비장, 신장, 부신, 갑상선, 폐 순이었으며, 조직 최고농도는 30분 후였다(WHO, 1994). 페놀의 대사는 페놀이 구강을 통해 인체에 들어가면 초회통과 효과(first pass effect)가 일어난다는 보고가 있지만 페놀이 폐에서 초회통과대사를 거치는가에 대해서는 확실히 밝혀진 바가 없으며 결론을 내리기에 상충된 결과들이 많았다(Dickenson and Taylor, 1996). 주요 대사경로는 글루쿠론산과 결합해서 페닐 글루쿠로니드가 되고 황산화 과정에서 황산 페닐이 되는 것으로 밝혀졌다. 동물 실험에서 페놀 용량을 증가시키자 황산화에서 글루쿠론산화로 반응이 이동된 것이 관찰되었고 이러한 현상은 3-포스포아데노신-5-인황산의 제한된 가용

성에 의해 전반적인 황산화 과정이 포화되기 때문이다. 황산염 및 글루쿠론 대사산물은 간에서 생성된 다음에 담낭으로 전달되거나 혈액으로 돌아간다 (Ballinger et al., 1995).

Capel et al.(1972)에 의하면 동물과 인간의 페놀 제거경로는 요(신장) 배설이고 배설율은 생물의 종, 용량, 투여 경로에 따라 달라진다. 페놀 0.01 mg/kg이 경구 투여된 3명의 남성에서 투여량의 90%가 24시간 내에 소변을 통해 황산 페닐과 페닐 글루쿠로니드의 포함체 형태로 배설되었으며, 일부는 분변과 호기를 통해서도 소량 제거된다. 페놀의 반감기는 1~4.5시간으로 추정되며 52%는 변화되지 않은 채 소변으로 배설되어 제거 된다(Leikin and Paloucek, 1997).

Grazyna(1997)이 coke-plant에서 시행한 호흡기를 통한 노출 연구에서 공기 중 페놀의 농도가 4.50 mg/m<sup>3</sup>일 때 요중 페놀의 평균 농도는 비노출군과 노출군 각각 8.82 mg/g creatinine, 10.39 mg/g creatinine이었다. 공기 중 페놀 농도의 범위가 0~12.5 mg/m<sup>3</sup>인 실험에서는 요중 농도는 100~400 mg/L 이었다. 이 실험에서 공기 중 농도가 불검출 임에도 요중 페놀의 농도가 높은 것은 공기 중 노출에 의한 요중 페놀의 증가도 중요한 요인이지만, 생활습관 등의 영향이 있다는 것을 알 수 있다.

현재 외국의 요중 페놀의 기준은 작업종료 후 250 mg/g creatinine (BEI)과 300 mg/L (BAT)가 있으며, 우리나라 노동부의 생물학적 노출지표는 250 mg/g creatinine 이다. 공기 중 페놀의 농도의 경우는 미국 산업위생협회의(American Conference of Governmental Industrial Hygienist, ACGIH)에서 8시간 시간가중 평균 노출기준(TLV-TWA)을 5 ppm으로 권고, 우리나라 역시 ACGIH기준을 준용하여

5 ppm 으로 권고하고 있다(고용노동부, 2011).

페놀은 다양한 액체, 젤, 연고, 로션(페놀 칼라민 로션 포함), 인후 분무제, 구강청정제, 의약품 등의 구성 성분(0.1~4.5%)으로 쓰이며, 국소 마취제, 때로는 방부제, 마취제로 사용된다(Gilman, 2005). 담배연기 속에는 다양한 범위의 페놀이 함유되어 있는 것이 보고되었는데 필터가 없는 담배의 경우 60~140  $\mu\text{g}$  페놀이 함유되어 있으며, 시중에서 쉽게 구할 수 있는 필터 담배의 경우 19~35  $\mu\text{g}$ , 시가(cigar)의 경우 24~107  $\mu\text{g}$  페놀이 존재하는 것으로 보고되었다(NCI 1998). Spears(1968)의 실험에 의하면 필터가 없는 경우 59~108  $\mu\text{g}$ , 필터가 있는 경우 9~35  $\mu\text{g}$ 의 페놀이 함유되어 있다. 때문에 페놀을 취급을 하는 일을 하지 않더라도 다양한 경로를 통해 인체에 흡수될 가능성이 높다.

작업환경측정은 근로자의 호흡구 위치에서 공기를 채취하여 분석한 것으로 실제 근로자에게 흡수된 유해물질의 양과 차이가 있을 수 있으며, 공기 중 농도만을 반영하고 피부 흡수, 생활습관, 물질의 대사기전 및 개인의 차이를 반영하지 못하는 단점을 가지고 있다.

이에 본 연구에서는 저 농도 페놀 노출 근로자를 대상으로 요중 페놀을 검사함으로써 근로자들의 페놀 흡수에 영향을 주는 작업관련 요인과 생활습관 요인을 알아보고자 한다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1 연구대상

본 연구는 비스페놀A 제조 공장의 페놀을 취

급하는 41명으로 대상으로 하였다.

### 2.2 연구방법

#### 2.2.1 설문 조사

비스페놀A를 제조하는 페놀 노출군을 대상으로 작업이 종료 후 자체적으로 개발한 설문지를 이용하여 자기기입식 설문 조사를 하였다. 연구대상 근로자들의 나이, 총 근무 년 수, 현 공정 근무 년 수, 작업시간, 작업부서, 음주여부, 흡연 여부 등의 일반적 특성과 작업 중 특이사항인 작업시간, 작업의 형태, 피부노출 횟수, 보호구착용 등을 설문지를 통하여 조사하였다.

작업 중 피부노출횟수를 평가하기 위하여 작업 형태인 패트롤, 샘플링, 세척작업등과 기타 비스페놀A 노출이 있는 작업을 대상으로 2회미만, 2~4회, 4회 이상으로 구분하여 설문지를 통하여 기입 하도록 하였다.

#### 2.2.2 작업형태

작업형태는 크게 세 가지로 분류 하였다.

첫째, 패트롤은 주로 공정의 설비 및 작업의 진행과정이 잘 이루어지고 있는지에 대한 관리 및 순찰을 하는 작업이다. 이 작업은 공정 설비에 누수가 생기지 않는다면 페놀의 노출은 적다.

둘째, 샘플링 작업은 생산된 비스페놀A의 검수 및 실험실로 운반 작업이다. 검수 및 실험실 운반 작업시 비커 혹은 검수용기에 생산된 비스페놀A를 담은 작업을 하기 때문에 페놀의 노출될 가능성이 높다.

셋째, 세척 작업은 공정을 정지한 후 비스페놀A 제조하기 위하여 사용하였던 장비, 공정의 배관 및 설비를 세척하는 작업이다. 세척 작업시 배관

및 설비에 페놀 잔류 가능성이 높기 때문에 세척 작업시 페놀 노출될 가능성이 높다.

### 2.2.3 공기 중 페놀의 측정 및 분석 방법

작업환경 중 공기 중 페놀의 측정 및 분석은 NIOSH의 공정시험법(NIOSH method No.2546)에 준하여 실시하였다(NIOSH Pocket Guide To Chemical Hazards, 2007). 대상 근로자 41명에게 개인용 공기 포집기(Gilian 저유량 펌프, USA)를 착용시켜 포집유속 0.1 L/min 으로 6시간 이상을 흡착 튜브(XAD-7, 100 mg/50 mg)로 포집하였다.

공기 중 페놀 분석을 위한 HPLC의 조건은 UV는 218 nm하였으며, Flow와 Injection volume은 각각 1.0 mL/min, 20  $\mu$ L로 하였고 Column은 Alltima-C185를 사용하였다. Mobil phase는 ACN : KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>를 30:70으로 하였다.

### 2.2.4 요중 페놀의 측정 및 분석 방법

작업 전·후 소변시료를 채취하여 요중 페놀을 분석하였다. 시료의 채취 시간은 06:30 - 14:30, 14:30 - 22:30, 22:30-06:30의 전 작업시간을 대상으로 하였고 41명을 대상으로 하였다. 시료의 운반은 -20℃ 에서 냉동 보관하여 실험실로 운반하여 즉시 분석하였다.

요중 페놀의 분석은 Baselt(1980)가 제시한 방법을 사용하였으며 정량은 기체크로마토그래피(gas chromatography, GC)를 사용하였다(Table 1). 시료의 전처리에는 표준용액, 요 시료를 각 5 mL씩 시험관에 취한 후 Perchloric acid 2 mL를 가한다. 가열시 뚜껑은 꼭닫지 않고 95℃ 수욕조에 2시간 가열한 후 페놀의 phenyl glucuronide 및 phenyl sulphate를 가수분해하여 유리페놀이 되게 한다. 방냉한 후 diisopropyl ether 1 mL 가하여 1분 동

안 추출한 후 원심 분리한 시료의 유층(상층)을 취해 GC에 주입한다.

Table 1. Gas chromatograph condition for analyzing phenol in urine.

Gas chromatograph condition	
Detector	Gas chromatograph with flame-ionization detector
Colum	Carbowax-20 (50 m 0.32 mm ID 0.3 $\mu$ m film thickness)
I njection temp	200 ℃
Detector temp	250 ℃
Column temp	150 ℃
Nitrogen flow rate	60 mL/min

### 2.2.5 통계 분석 방법

수집된 자료의 통계 분석은 SPSS 15.0 version(for window)을 이용하였다. 작업 전 요중 페놀 농도와 작업 후 요중 페놀 농도간의 차이는 paired t-test를 실시하였다. 음주횟수, 작업시간, 작업형태, 페놀 피부노출횟수, 보호구착용 등에 따른 요중 페놀 농도의 차이는 ANOVA test로 분석하였고 일반적 특성과 작업 중 특이사항을 Multiple regression analysis을 실시하였다.

## 3. 결 과

### 3.1 연구대상의 일반적 특성

연구 대상자는 총 41명으로 모두 남성이었고 평균 연령은 40.7년 이었다. 총 근무 개월과 현 공정 근무 개월은 184.2개월(15년 3개월)과 49.4개월(4년 1개월)이며, 하루 근무 시간은 8시간으로

조사 되었으며, 공정에서 실근무시간은 1시간 이상~2시간 미만인 22.0%, 2시간 이상~3시간 미만이 14.6%, 3시간 이상~4시간 미만이 19.5%, 4시간 이상~5시간 미만이 43.9% 이었다(Table 2).

Table 2. General characteristics for participants

Variables		Mean±S.D.(range)
Age		40.7±6.4 (28.0~55.0)
years of employment		15.3±1.6 (4.9 ~ 35)
years for current job		4.1±2.7 (1.2~17.8)
		frequency (%)
Drinking	yes	37 (90.2)
	no	4 (9.8)
Smoking	current smoker	14 (34.1)
	non & ex smoker	27 (65.9)
mask	using	22 (53.7)
	non-using	19 (46.3)
Items for skin protection	using	8 (19.5)
	non-using	33 (80.5)
No. of skin exposure	1	4 (9.8)
	2	9 (22.0)
	3	22 (53.7)
	≥4	6 (14.6)
work time (hours)	1~2	9 (22.0)
	2~3	6 (14.6)
	3~4	8 (19.5)
	4~5	18 (43.9)

음주는 37명(90.2%)으로 대상 근로자의 대부분이 음주자이고 흡연자는 14명(34.10%), 비흡연자는 27(65.90%)명으로 대체로 비흡연자가 많았다. 방독마스크는 22(53.7%)명이 착용하였고 19(46.3%)명이 미착용 하였다. 방독마스크를 제외한 피부 보호구에는 보호의, 장갑, 고글 등은 8(19.5%)명이 착용 하였고 33(80.5%)명이 미착용 하였다. 연

구대상자의 하루 중 페트롤, 샘플링, 세척 및 기타 작업등에 의한 페놀 피부 노출횟수는 하루 3회가 53.7%로 가장 많았고 하루 8시간 근무 중 실 작업시간은 4~5시간이 43.9%로 가장 많았다 (Table 2).

3.2 공기 중 페놀과 작업 후 요중 페놀간의 상관성

공기 중 페놀의 평균농도는 0.9051±0.9336 mg/m<sup>3</sup> 이었으며, 요중 작업 전·후의 페놀의 평균농도는 각각 100.27±75.76 mg/g creatinine, 138.13± 109.58 mg/g creatinine이었다.

노출군을 대상으로 공기 중 페놀농도와 요중 creatinine 보정 페놀의 농도 간에 상관분석을 시행한 결과 작업전 요중 농도와는 상관성을 보이지 않았으나 작업후 공기중 페놀농도와 작업후 요중 페놀 농도간의 선형회귀분석을 수행한 결과 y=99.439x+48.135(r=0.8471)의 선형방정식을 산출 하였다. 이의 결과를 통해 공기중 페놀 농도가 증가함에 따라 요중 페놀 농도가 증가하고 있음을 확인할 수 있다(Fig. 1).

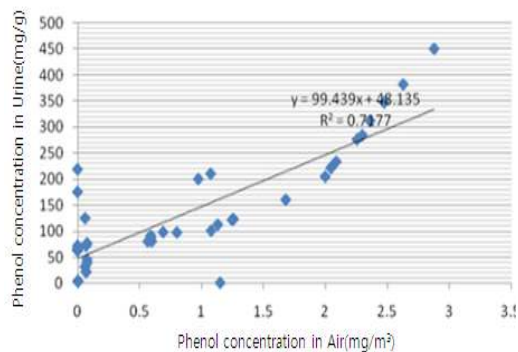


Figure 1. Relationship between phenol concentration in Air and urine

### 3.3 생활습관에 따른 요중 페놀 양상

일반적 특성 중 주요변수들에 대해 그 영향을 개별적으로 분석하기 위해 주요 변수인 흡연, 약물복용, 작업 중 커피 음용, 음주, 운동여부에 따른 작업 후 요중 페놀 농도의 차이를 분석하였다.

흡연자는 비흡연자에 비해 요중 페놀 농도가 의미 있게 높았고 음주횟수에 따른 작업 후 요중 페놀 농도를 분석한 결과 음주횟수가 증가할수록 요중 페놀의 농도가 통계학적으로 유의하게 증가하였다. 다른 변수들은 요중 페놀 농도에 차이를 보이지 않았다(Table 3).

Table 3. Relationship between phenol in urine after working and general characteristics

Variables	Mean±S.D	p-value
smoking		
current smoking	194.54±137.52	0.046
non & ex smoking	108.88±80.10	
drug		
yes	147.22±79.20	0.864
no	137.15±113.18	
coffee		
yes	111.16±101.65	0.684
no	127.56±75.26	
exercise		
yes	110.95±98.51	0.712
no	101.65±100.33	
weekly drinking		
1	104.61±91.27	0.045
2	137.51±124.72	
≥3	177.18±130.43	

### 3.4 작업 특성에 따른 요중 페놀 양상

작업시간에 따른 작업 후 요중 페놀 농도를 분석한 결과 작업시간이 증가할수록 요중 페놀 농도가 통계학적으로 유의하게 증가하였다. 특히 작업시간 2시간 미만보다 2시간 이상인 경우 요중 페놀 농도는 3배 이상 증가하였다(Table 5).

작업의 형태에 따른 작업 후 요중 페놀 농도를 분석한 결과 작업형태에 따라 작업 후 요중 페놀

농도에 차이가 있었다. 특히 패트롤 작업에 비해 샘플링, 세척 작업이 각각 7, 8배 이상 요중 페놀의 농도가 높았다. 이러한 결과는 작업의 형태가 요중 페놀 농도 차이에 영향을 미친다(Table 4).

작업 전 요중 페놀 농도와 작업 후 요중 페놀 농도간의 차이를 paired t-test로 분석하였다. 작업 전·후의 요중 페놀 농도는 의미 있는 차이를 보였고, 작업 전보다 작업후 농도가 의미 있게 높았다. 작업 전·후의 요중 페놀의 농도는 각각 100.27±75.76, 138.13±109.58 mg/g creatinine이었다 (Table 4).

작업의 형태에 따른 작업 전·후 요중 페놀 농도를 분석한 결과 샘플링과 패트롤 작업의 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 세척 작업은 작업 전·후 요중 페놀농도가 1.6배 증가 하였다 (Table 4).

Table 4. Difference between phenol in urine before and after working by work type

work type	N	before working (Mean±S.D)	after working (Mean±S.D)	p-value
washing	17	109.19±73.27	176.63±109.78	0.002
sampling	18	117.31±76.59	138.39±104.91	0.372
patrol	6	23.91±22.03	28.32±24.17	0.457
total	41	100.27±75.76	138.14±109.58	0.006

피부노출 횟수에 따른 요중 페놀 농도를 분석한 결과 피부노출 횟수가 증가 할수록 요중 페놀의 농도가 의미 있게 증가하였다. 특히 피부 노출 횟수가 2회 미만보다 4회 이상인 경우 요중 페놀의 농도는 3배 이상 증가하였다. 또한 2회 미만일 경우 요중 페놀 증가에 큰 영향을 미치는 것으로 보이지 않지만 취급횟수가 2회 이상일 경우 2배 이상 증가하는 경향을 보였고 횟수가 증가 할수록 증가 하였다(Table 5).

Table 5. Difference between phenol in urine by work characteristics

Variables	N	Mean±S.D	p-value
daily	< 2	9	47.71±36.37
working time (hours)	2 ~ 4	14	135.49±105.85
	≥4	18	185.40±111.20
work type	patrol	6	28.32±24.16
	sampling	18	138.39±104.90
	washing	17	176.63±109.77
No of skin exposure	< 2	4	55.72±17.14
	2 ~ 4	9	129.26±134.46
mask	using	22	150.23±98.33
	non-using	19	124.14±122.57
Items for skin protection	using	8	61.76±33.212
	non-using	33	156.65±113.84

[unit : mg/g creatinine]

호흡 및 피부 보호구 착용 여부에 따른 요중 페놀 농도의 차이를 확인하기 위하여 분석한 결과, 호흡 보호구를 착용 하였을 때의 요중 페놀농도가 150.23±98.33 mg/g creatinine 로 호흡 보호구를 착용하지 않았을 때의 요중 페놀농도 124.14±122.57 mg/g creatinine에 비해 높았지만, 통계적으로 유의하지 않았다(p=0.454). 그러나 피부보호구 착용 여부에 따라서는 통계적으로 유의한 차이가 있었는데, 피부보호구를 착용하지 않았을 때의 요중 페놀농도(156.65±113.84 mg/g creatinine)가 피부보호구를 착용하였을 때의 요중 페놀농도(61.76±33.21 mg/g creatinine)에 비해 통계적으로 유의하게 높았다(Table 5).

### 3.5 요중 페놀농도에 영향을 미치는 요인

요중 페놀농도에 영향을 주는 요인을 알아보기 위해 요중 페놀농도를 종속변수로 하여 다중회귀 분석을 실시하였다. 모델 I에서는 공기 중 페놀

농도만을 독립변수로 하여 분석하였고, 모델 II에서는 모델 I에 페놀 취급 작업시간 및 횟수, 작업장소(실내 또는 실외), 작업형태를 작업환경특성에 추가하였으며, 모델 III에서는 모델 II에 흡연, 음주와 같은 개인 건강특성을 추가하였다.

분석결과, 모델 I에서는 공기 중 페놀농도가 증가할수록 요중 페놀농도는 통계적으로 유의하게 증가하였고, 모델 II에서는 공기 중 농도와 작업형태를 모델에 포함시켰고, 공기 중 페놀농도가 증가할수록 요중 페놀농도가 유의하게 증가하였다. 모델 III은 모델 II에 음주 및 흡연량을 포함시켰고, 공기 중 페놀농도, 작업시간, 피부노출횟수, 흡연이 통계적으로 유의하였다. 즉, 흡연자에 비해 비흡연자의 요중 페놀농도가 통계적으로 유의하게 낮았고, 작업시간이 길어질수록 요중 페놀농도가 유의하게 높아졌다. 작업시간에 따른 작업 통계적으로 유의하였을 분석한 결과 작업시간이 증가할수록 요중 페놀 농도가 의미 있게 증가하였다. 특히 작업시간 2시간 미만일 때에 비해 2시간 이상일 때는 요중 페놀이 의미 있게 증가하였고, 피부 노출 횟수가 5회 이상인 경우 요중 페놀이 의미 있게 증가하였다. 따라서 요중 페놀 농도에 영향을 미치는 요인은 공기중 페놀농도, 작업시간, 피부노출횟수, 흡연으로 판단된다(Table 6).

## 4. 고 찰

본 연구는 페놀 노출 화학공장 근로자의 요중 페놀 농도에 영향을 미치는 관련 요인을 구명하고자 시행되었다. 이를 위해 대상 근로자의 작업장 공기 중 노출 농도와 작업 전·후 요중 페놀 농

도, 근로자들의 나이, 총 근무 년 수, 현 공정 근무 년 수, 작업시간, 작업부서, 음주여부, 복용여부, 흡연 여부 등의 업무 특성과 생활습관 요인에 대한 특성을 조사하였다.

공기 중농도와 요중 페놀의 상관성을 나타내는 주요 연구를 보면 다음과 같다. 0.26±4.50 mg/m<sup>3</sup> 노출시 요중 페놀의 농도는 10.39±1.92 mg/g creatinine이었고(Grazyna, 1997), 다른 연구에서는 19.25 mg/m<sup>3</sup> 노출시 요중 페놀의 농도가 177 mg/g crea-

tinine이었다(Ogata and Yamasaki, 1986). 기존의 연구들은 국내와 작업 환경이 같지 않기 때문에 정확한 농도 비교는 될 수 없다. 그러나 본 연구의 공기 중 농도는 기존 연구와 국내의 공기 중 페놀의 노출 기준보다는 적은 수준이나 요중 페놀의 농도는 비슷하게 검출되었다. 따라서 공기 중 노출 이외에 기타 요인이 있는 것으로 판단된다.

페놀은 피부에 쉽게 침투하며, 흡수된 효능은 호흡 시와 동일하다 (Piotrowski, 1971). Ohtsuji 등

Table 6. Multiple regression for phenol in urine

Variables	model I		model II		model III	
	regression coefficient	p value	regression coefficient	p value	regression coefficient	p value
phenol concentration in Air	99.44	<.0001	108.48	<.0001	110.89	<.0001
mask			-13.39	0.56	-6.68	0.78
Items for skin protection			24.29	0.37	22.55	0.45
working area			-48.38	0.17	-52.33	0.15
working time(hr)			1.00	-	1.00	-
	< 2		56.42	0.16	98.00	0.01
	2~4		67.08	0.08	103.79	0.01
	≥ 4		1.00	-	1.00	-
No. of skin exposure			-13.78	0.59	-19.70	0.45
	< 4		17.95	0.62	90.74	0.02
	4~5		1.00		1.00	
	≥ 5		-17.56	0.46	6.51	0.78
work type			-2.51	0.94	-18.45	0.57
	washing				102.60	0.04
	sampling				1.00	-
	patrol				15.38	0.73
smoking					6.43	0.89
drinking					-33.68	0.52
	non-drinking					
	1/week					
	2/week					
	≥3/week					
Intercept		48.14		55.05		25.26
Adj. R <sup>2</sup>		0.71		0.71		0.78
R <sup>2</sup>		0.72		0.78		0.86
F-value		99.15		10.88		10.24
P-value		<.0001		<.0001		<.0001

model I: adjusted for phenol concentration in air  
 model II: adjusted for model I + work characteristics  
 model III: adjusted for model II + general characteristics



(1972)의 연구에 의하면 공기 중 페놀 농도가 불검출 일 때도 요중 페놀의 농도가 100~400 mg/L 만큼 높게 보고되었다. 이는 본 연구에서도 조사된 결과와 비슷한 양상이었고 NIOSH의 비직업성 폭로 근로자의 요중 페놀 농도 4.5~20.7 mg/g creatinine보다는 높았다(NIOSH, 2003). 이 실험에서 공기 중 농도가 불검출임에도 요중 페놀의 농도가 높은 것은 공기 중 노출에 의한 요중 페놀의 증가도 중요한 요인이지만 피부노출 및 생활습관에 의한 노출도 영향이 있을 것이라 판단된다.

본 연구에서는 공기 중 노출 이외의 다른 영향을 알아보기 위해서 생활습관 및 작업특성을 연구하였다. 작업 시간에 따른 농도의 차이( $p=0.006$ )가 있으며, 작업 시간이 길수록 작업 후 요중 페놀 농도가 증가하는 것으로 나타났다. 2시간 이상 ~ 4시간미만 근무 시 작업 후 요중 페놀의 농도는 135 mg/g creatinine으로 높게 나타났다. 4시간 이상 근무자에게 185 mg/g creatinine으로 2~4시간미만 근로자 보다 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 작업 시간이 길수록 요중 페놀의 농도를 높이는 한 요인으로 판단된다.

페놀의 피부 노출 횟수에서는 노출횟수가 증가함에 따라 작업 후 요중 페놀의 농도는 증가하였으나 2회 이상에서는 크게 증가하는 경향을 보였으며, 피부보호구를 착용하지 않았을 때의 요중 페놀농도(156.65±113.84 mg/g creatinine)가 피부보호구를 착용하였을 때의 요중 페놀농도(61.76±33.21 mg/g creatinine)에 비해 통계적으로 유의하게 높았다. 따라서 페놀에 노출되는 작업 시간 및 피부노출 횟수를 줄이고 작업 시 피부보호구, 보호크림을 사용하면 요중 페놀 증가에 미치는 영향을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 조사된 작업 전·후 creatinine 보정

요중 페놀 농도는 작업 전 100.27±75.76 mg/g creatinine 작업 후 138.13±109.58 mg/g creatinine으로 작업 후 요중 페놀이 증가하는 양상을 보였고 공기 중 농도와는 상관성( $p=0.03$ )을 보였다. 이는 공기 중 페놀의 농도와 작업시간도 요중 페놀 수치 증가에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 작업 전에도 요중 페놀의 농도가 높은 것은 1/3 정도의 근로자가 작업 중 쉬는 시간에 흡연을 하기 때문에 이와 같은 결과가 나온 것으로 판단된다.

작업형태에 따른 차이에서는 페트롤은 직접 페놀에 노출되는 경우가 적고 공정 설비 및 작업 진행과정 점검이 주 업무이기 때문에 페놀에 크게 노출되는 경우가 적어 요중 페놀의 수치가 일반인들과 비슷한 양상을 보였다. 그러나 샘플링 작업은 생산된 비스페놀A의 검수 및 실험실로 운반 작업을 하기 때문에 요중 페놀농도가 높았고 세척 작업자의 경우 공정을 정지한 후 BPA 제조하기 위하여 사용하였던 장비 및 공정에 들어가 직접 작업을 하기에 작업형태에 따른 요중 페놀의 농도가 높았다.

페놀은 담배연기 속에 존재하는 것으로 보고(U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1989)되었는데 필터가 없는 담배의 경우 60~140  $\mu$ g 페놀이 함유되어 있으며, 필터 담배의 경우 19~35  $\mu$ g 페놀이, 시가(cigar)의 경우 24~107  $\mu$ g 페놀이 존재하는 것으로 보고되었다(IARC, 1986; NCI, 1998; Spears, 1968). 따라서 흡연에 의해 요중 페놀의 농도가 높아질 가능성이 높다. 본 연구에서는 작업 후 요중 페놀 농도가 흡연자는 194.54 mg/g creatinine, 비흡연자는 108.88 mg/g creatinine으로 흡연자의 요중 페놀의 농도가 비흡연자의 요중 페놀의 농도 보다 통계학적으로 유

의하게 높았다( $p=0.046$ ). 이러한 결과는 41명의 연구 대상 중 14명이 흡연을 하였으며, 평균 나이가 38.21세 인 것을 고려하여 흡연기간이 20년 정도 된다고 추정하였을 때 흡연으로 인한 영향을 받았을 것이라 사료된다.

고단백질 다이어트를 하는 사람들 중 요중 폐놀 농도는 다르며, 실리산과 아스피린의 섭취는 요중 폐놀 농도를 증가시킨다(Elkins, 1961). 때문에 폐놀을 취급을 하는 일을 하지 않더라도 다양한 경로를 통해 인체에 흡수될 가능성이 높다. 본 연구에서는 노출군의 커피, 운동여부, 1일 근무시간, 성별, 작업장의 형태, 나이에 관한 항목과 소변 중 폐놀의 농도를 회귀분석과 상관분석을 한 결과 유의한 영향은 없었다.

화학공장 근로자들은 폐놀에 호흡기와 피부에 의해서 노출되고 있었으며, 폐놀의 생물학적 지표인 폐놀은 흡연과 음주횟수 그리고 작업의 시간 및 형태에 따라 영향이 있었다. 따라서 작업자는 금연을 생활화 하고 피부를 보호 할 수 있는 옷이나 보호크림을 사용하여 폐놀 노출로부터 인체를 보호하고 체계적 보건관리를 할 수 있도록 해야 할 것이라고 판단된다.

이번연구는 1곳의 화학공장의 41명의 근무자들을 대상으로 측정을 실시하여 더 많은 변수와 측정값을 얻지 못하였으며, 흡연량을 정량적으로 반영하지 못하였다. 또한 피부 노출에 대한 자료를 설문에 의한 자료를 사용하였기에 정확한 피부 노출량을 알 수 없는 것이 제한점으로 남는다. 따라서 추후 연구에서 skin test를 통한 피부 노출량과 요중 폐놀 농도간에 상관성에 대한 추가적 연구가 필요하다.

## 5. 결 론

폐놀 노출 화학공장 근로자의 공기 중, 피부노출, 작업 형태 및 시간 등에 의한 작업 후 폐놀의 대사산물인 요중 폐놀을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 작업자들의 작업시간 동안의 공기 중 폐놀 농도는 평균  $0.9051 \pm 0.9336 \text{ mg/m}^3$ 이었다. 요중 폐놀의 농도는 작업 전  $100.27 \pm 75.76 \text{ mg/g creatinine}$ , 작업 후  $138.13 \pm 109.58 \text{ mg/g creatinine}$ 으로 통계학적으로 유의한 차이가 있었다. 공기 중 폐놀과 요중 폐놀은 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었다.

둘째, 흡연과 요중 폐놀농도는 흡연자가  $194.54 \pm 137.52 \text{ mg/g creatinine}$ , 비흡연자가  $108.88 \pm 80.10 \text{ mg/g creatinine}$ 으로 흡연자의 요중 폐놀농도가 통계학적으로 유의하게 높았다.

셋째, 작업시간, 폐놀 피부노출횟수, 음주량, 작업형태, 보호구착용여부에 따라 요중 폐놀의 농도에 차이가 있었다.

넷째, 다중회귀 분석을 실시한 결과 공공기 중 폐놀농도, 작업시간, 피부노출횟수, 흡연이 통계학적으로 유의하였다. 즉, 요중 폐놀농도는 흡연자가 비흡연자에 비해, 작업시간이 길어질수록 그리고 피부노출횟수가 5회 이상일 때 높아졌다.

폐놀에 노출된 근로자의 요중 폐놀에 영향을 주는 요인은 공기 중 폐놀농도, 작업시간, 피부노출횟수, 작업중 흡연 및 생활습관 요인이었다. 따라서 작업자는 금연을 생활화 하고 피부를 보호 할 수 있는 옷이나 보호크림을 사용하여 폐놀 노출로부터 인체를 보호하고 체계적 보건관리를 할 수 있도록 해야 할 것이라고 판단된다.

참 고 문 헌

고용노동부. (2011) 화학물질 및 물리적 인지의 노출기준. 고용노동부 고시, 제2011-13호.

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2009) TLVs<sup>®</sup> and BEIs<sup>®</sup>. ACGIH, Cincinnati

Ballinger LN, Cross SE, Roberts MS, Thompson MJ. (1995) High-performance liquid chromatographic determination of phenol, 4-nitrophenol,  $\beta$ -naphthol and a number of their glucuronide and sulphate conjugates in organ perfusate, *Journal of Chromatography B*, 677(1), 117-122

Baselt RC. (1980) Biological monitoring methods for industrial chemicals. University of California Medical Center, Sacramento, 225-226

Bridges JW, Faulkner JK, Kao J. (1979) Metabolism of <sup>14</sup>C-Phenol by sheep, Pig and Rat. *Xenobiotica*, 9(3), 141-147

Caviness VS. (1940) Phenol gangrene complicating Diabetes Mellitus. *N.C. Med J*, 12(1),219-221

Capel ID, French MR, Millburn P, Smith RL, Williams RT. (1972) The fate of <sup>14</sup>C phenol in various species. *Xenobiotica*, 2(1), 25-34

Dickenson A, Taylor G. (1996) Pulmonary first-pass and steady-state metabolism of phenols. *Pharmaceutical Research*, 13(5), 744-748

Elkins HB, Pagnotto LD, Walkley JE. (1961) The

Measurement of phenol in urine as an index of benzene exposure. *Am Ind Hyg Assoc J*, 22(5), 362-367

Gilman AG, Goodman LS, Gilman A. (2005) Goodman and Gilman's the Pharmacological basis of therapeutics, 11th ed. New York: The McGraw-Hill Companies, 4-3

Grazyna B. (1997) Urinary excretion of phenols as an indicator of occupational exposure in the coke-plant industry. *Int Arch Occup Environ Health*, 70(5), 334-340

IARC. (1986) Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Vol.38. Tobacco smoking. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France: World Health Organization 104-105

Ikeda M & Ohtsuji H. (1972) Quantitative relationship between atmospheric phenol vapor and phenol in urine of employees in bakelite factories, *Br J Ind Med*, 29(5),70-73

Leikin JB & Paloucek FP. (1997) Poisoning and toxicology handbook, 2nd edition American Pharmaceutical Association. Lexi-Comp Ltd.,

NIOSH. (2003) NIOSH manual of analytics methods, Atlanta.

NIOSH. (2007) NIOSH pocket guide To chemical hazards, Atlanta.

NCI. (1998) Cigars health effects and trends; Smoking and tobacco control monograph 9.

- National Cancer Institute, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Bethesda, MD. NIH Pub. No. 98-4302
- Ogata M, Yamasaki Y. (1986) Significance of urinary phenyl sulfate and phenyl glucuronide as indices of exposure to phenol. *Int Arch Occup Environ Health* , 58(3), 197~202
- Piotrowski JK. (1971) Evaluation of exposure to phenol absorption of phenol vapor in the lungs and through the Skin and excretion of phenol in urine, *Br J Ind Med* , 28(9), 172-178
- Spears AW. (1963) Quantitative determination of phenol in cigarette smoke. *Analytical Chemistry*, 35(3), 320-322
- U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (1989) Toxicological profile for phenol. U.S. Public Health Services, ATSDR, Atlanta, Available from :  
URL:<http://www.atsdr.cdc.gov/Toxprofiles/tp115-p.pdf>
- IPCS.(1994) environmental health criteria for phenol (161), Geneva, World Health Organization, Available from :  
URL:<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc161.htm>