

여수국가산업단지 석유화학산업 근로자들의 벤젠 노출 실태와 관리대책

최상준 · 김원

원진직업병관리재단부설 노동환경건강연구소

Status of benzene exposure and suggested countermeasures for petrochemical workers in the Yeosu Industrial Complex

Sang Jun Choi · Won Kim

Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health.

Status of benzene exposure was evaluated upon petrochemical workers in the Yeosu Industrial Complex, based on questionnaire responses by workers, review of previous work environment assessment reports between 1996 and 2004, in addition to short-term exposure measurements for unit tasks in the field.

Questionnaire results showed that workers in the field were suffering concern on and symptoms of respiratory diseases, cancers or other illnesses of unknown causes. In particular, workers were highly worried about the risk of exposure to chemical hazards including benzene, while conducting specific tasks (e.g. sampling, draining, gauging) among normal operations during which equipments are opened and contents are exposed in the air, as well as periodic turnaround (TA) task.

However, the review of previous work environment assessment reports found out that short-term exposure assessment data for unit tasks accounted for less than 1% of total data, and most of them were on 8-hr average exposure level.

It also turned out that benzene was not detected in 83% of

total samples, suggesting routine but pointless sampling has been repeated.

Short-term exposure level was assessed focusing on tasks with high level of complaints on the exposure risk, based on the questionnaire responses. As predicted, a maximum of 741 ppm benzene exposure was reached depending on types and conditions of operations involved.

In conclusion, these findings suggest that the evaluation and management on the short-term high exposure tasks including turnaround are crucial in reducing benzene exposure and preventing haematopoietic cancer in workers in the petrochemical industry.

Key Words : Benzene, Petrochemical industry, Yeosu industrial complex, Short-term exposure

I. 서론

석유화학장치산업은 원유를 기초 원료로 하여 증류 및 정제과정을 거쳐 가솔린, 디젤, 등유와 같은 기초 연료를 생산하고 정제과정 중간산물인 납사(naphtha)를 이용하여 각종 석유화학제품을 제조하게 된다. 석유 중에서 발견된 500여종의 화합물은 대개가 유기화합물로서 탄소(83-87%)와 수소(11-15%)가 주성분을 이루고 있으며 기타 산소, 질소 및 황 등이 미량 함유되어 있다(API, 1971). 따라서 석유화학산업에 종사하는 작업자들은 다양한 종류의 유기용제에 복합적으로 노출될 가능성이 있다. 그러나 석유화학산업은 원료로부터 최종 생산품에 이르기까지 연속적인 화학물질 스트림(stream)으로 구성되어 있고, 각종 장치와 파이프를 이루어진 폐쇄성을 특징으로 한다. 평소 정상적인 작업조건하에서는 유기용제에 장시간 고노출될 위험성은 적지만 장치가 개방될 경우 고농도의 유기용제에 순간적으로 노출될 위험성을 갖고 있다. 하지만 대부분의 작업공간이 실외 장치 주변에서 이루어지기 때문에 2003년 이전까지 산업안전보건법의 작업환경측정대상에서 제외되어 있었고 작업환경측정을 실시하였더라도 8시간 평균 농도 측정 위주로 진행되어 유기용제 노출에 대한 위험성이 정확히 평가되지 못했었다.

여수 국가산업단지(이하 여수산단)는 1967년 여천공업단지 기공을 시작으로 1969년 호남정유공장이 준공되었고, 1980년 여천석유화학단지 합동준공을 통해 석유화학장치산업을 중심으로 한 국가 산업단지로 지정된 곳이다. 주요 입주업체종으로는 정유(4개사), 비료(1개사), 석유화학(87개사),

비금속(8개사), 기계(25개사)등이며 석유화학업종이 주종을 이루고 있다.

한국석유화학공업협회의 2007년 보고에 따르면, 2006년 한 해동안 국내 벤젠 총 생산량은 약 362만톤이며, 2007년에는 4월까지 약 371만톤으로 최근 생산량이 증가하는 추세이다. 국내 주요 산업단지별 벤젠 생산량을 비교하면 그림 1과 같이 여수산단이 41%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다(한국석유화학공업협회, 2007). 또한 환경부 환경정책실에서 실시한 2003년도 화학물질배출량조사결과에 의하면 여수산단의 벤젠 총 배출량은 153톤으로 국내 산업단지 중 최대 배출 규모라고 보고하고 있다(환경부, 2005).

따라서 여수산단의 석유화학 업종 근로자는 타 산업단지와 비교해 상대적으로 벤젠 노출 가능성이 높은 집단이라고 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 여수산단 석유화학산업에 종사하는 근로자들을 대상으로 유기용제 중 대표적 발암성 물질인 벤젠에 대한 노출 실태와 문제점을 고찰하여 향후 석유화학장치산업 근로자들의 건강증진을 위한 제도 개선의 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

여수산단의 석유화학산업 9개 업체를 대상으로 설문조사를 통해 현장 근로자들이 벤젠을 포함한 화학물질 노출과 관

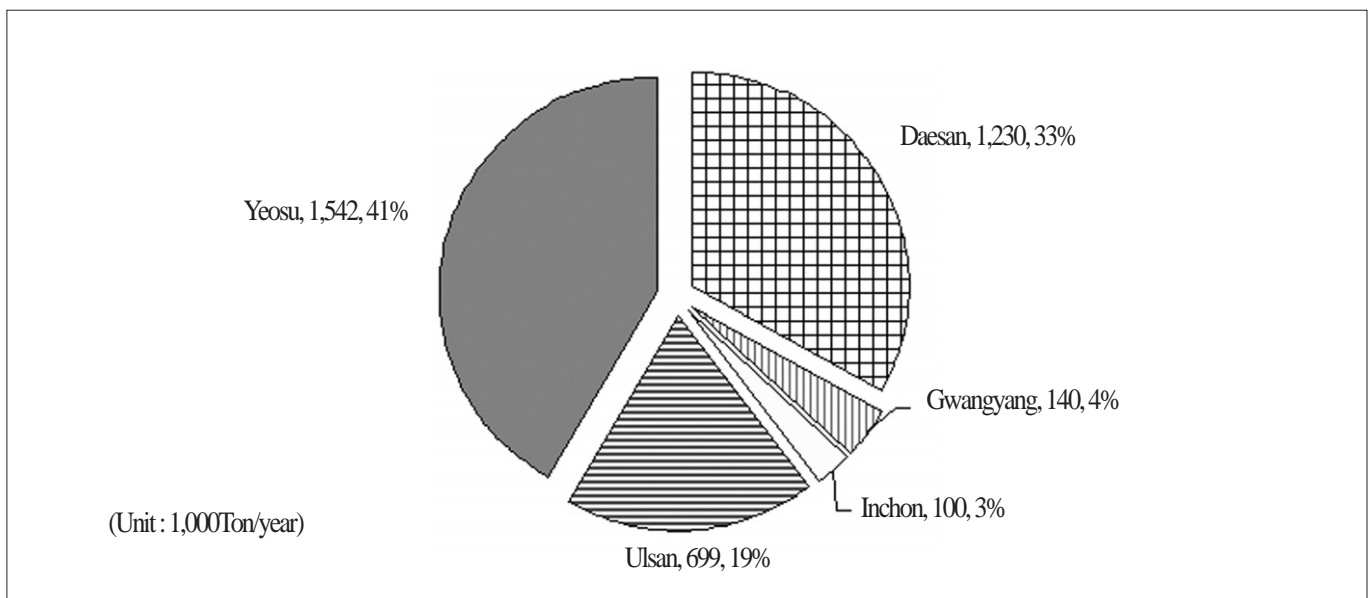


Fig 1. Domestic benzene production by industrial complex in 2007(source: KPIA, 2007).

련하여 느끼고 있는 인식에 대해 조사하였고, 이 중 8개 사업장을 대상으로 1996년~2004년까지의 기존 작업환경측정보고서를 검토하여 현재의 작업환경측정제도 하에 실시되어 온 벤젠 노출평가 실태를 분석하였다. 또한 9개 사업장을 대상으로 단위작업을 중심으로 벤젠에 대한 단시간 노출평가를 수행하였다.

현장 설문문의 주요 내용은 일반정보, 근무상황, 유해물질 노출위험에 대한 인식, 건강증상, 기존 작업환경측정에 대한 평가로 구성되어 현장 근무자를 주 대상으로 설문조사를 실시하였다. 벤젠에 대한 단시간 시료의 측정 및 분석 방법은 미국국립산업안전보건연구원(NIOSH)의 공정시험법(NIOSH, 1994) NMAM 1501에 의해 실시하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 설문조사 결과

여수산단 석유화학산업 9개 사업장 현장 근무자 5,838명을 대상으로 2005년 2월~3월까지 설문조사를 실시하였으며, 총 대상자 중 22%인 1,271명으로부터 응답을 받아 자료를 분석하였다.

1) 일반사항 및 근무력

응답자의 평균 연령은 38.9세(표준편차;6.1세)이고, 평균

Table 1. Result of survey on work characteristics in petrochemical industry

| Variable | Item | Response | |
|-------------|-------------|----------|-----|
| | | N | % |
| Work area | Indoor | 448 | 35 |
| | Outdoor | 741 | 59 |
| | No response | 82 | 6 |
| Job | Board man | 363 | 29 |
| | Field man | 738 | 58 |
| | No response | 170 | 13 |
| Work system | Day work | 247 | 19 |
| | Shift work | 955 | 76 |
| | No response | 69 | 5 |
| Total | | 1,271 | 100 |

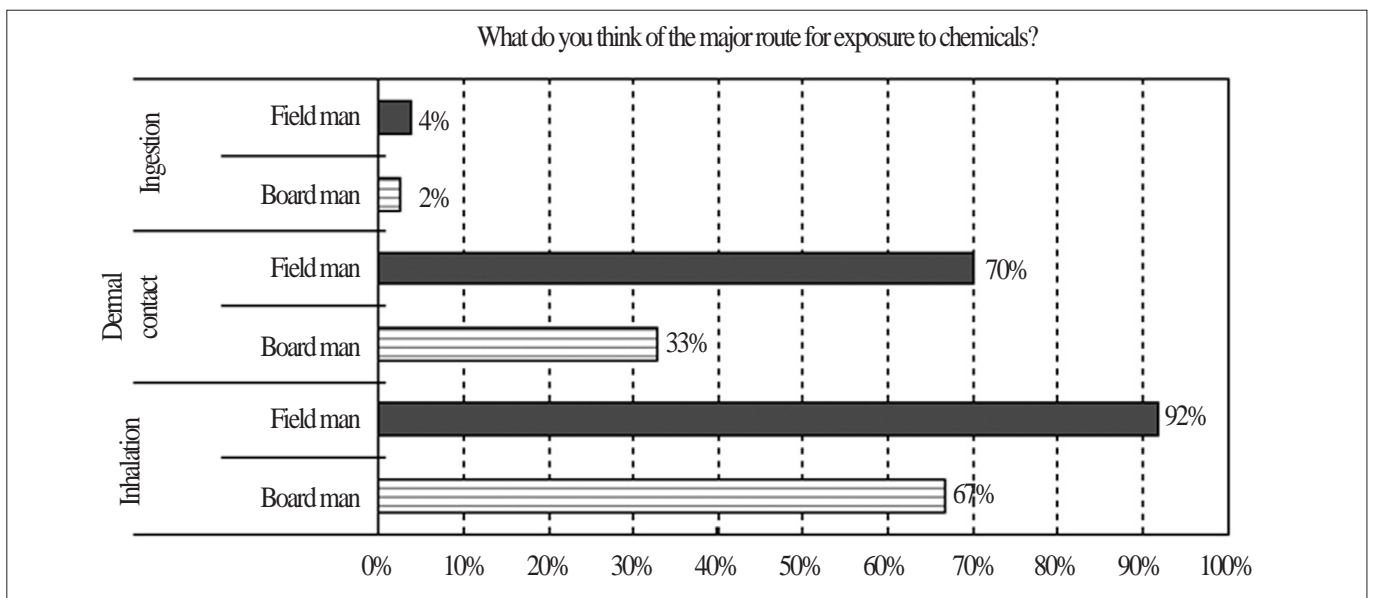


Fig 2. Perception of exposure pathway by job.

근무경력은 12.9년(표준편차;5.8년)이었다. 10년 이상 장기 근무자들이 69.8%를 차지하고 있어 석유화학장치산업 근로자들의 장기 근속율이 높고 신규 채용율이 낮음을 알 수 있었다.

응답자의 근무관련 사항에 대한 조사 결과 표 1과 같이 주요 근무지역은 실외(59%)이고, 근무형태는 교대근무자가 76%를 차지하고 있었다.

2) 유해물질 노출 위험에 대한 인식도

근무자들이 평소 근무시간에 화학물질에 대한 노출위험을 느끼는지 조사한 결과 응답자의 88%가 느낀다고 대답을 했고 느끼지 못한다고 대답한 사람은 11%인 145명이었다. 유해물질에 대해 노출위험을 느낀다고 대답한 사람들을 대상으로 유해물질이 노출되는 형태에 대해 질문하였다. 조사 항목은 ‘호흡을 통해 노출된다’, ‘피부 접촉을 통해 노출된다’, ‘물, 음식 등을 먹을 때 노출된다’ 세 가지 형태로 나누어졌고 현장 근무자(field man)와 조정실 내부 근무자(board man)로 나누어 분석한 결과 그림 2와 같았다. 주요 노출경로로는 호흡기를 통한 노출 위험에 대한 인식도가 가장 높았으며, 다음으로 피부접촉을 통한 노출을 지적하고 있었다. 또한, 조정실 내부 근무자보다는 현장 근무자들이 느끼는 인식도가 더욱 큰 것을 확인할 수 있었다.

화학물질의 노출위험을 느끼는 시기에 대한 항목에서는 ‘특정 지역에 가거나 특정 작업할 경우에 느낀다’라고 대답한 사람이 노출위험을 느낀다는 전체 응답자 중 58%였고 ‘근무 중 항상 노출위험을 느낀다’라고 대답한 사람은 40%

였다(그림 3).

노출위험을 느끼는 사람 중 어떤 작업을 할 때 노출위험을 느끼는지에 대해 조사한 결과 그림 4와 같이 정상 작업조건에서는 샘플링(sampling), 드레이닝(drainng), 오버홀(overhaul) 등과 같이 시설 내부의 물질이 외부로 유출되거나 장치가 개방되는 작업과, 정기적인 대정비작업(TA;Turnaround) 시기의 노출위험이 높다고 인식하고 있었다. 특히 대보수 작업 때는 조정실 근무자도 가장 높은 비율로 노출위험을 느끼고 있었다.

3) 건강증상 관련 인식도

근무를 시작하면서 평소와 다른 이상증상을 경험한 적이 있느냐는 질문에 경험이 있다고 대답한 사람이 43%였으며, 이상증상을 경험했다고 답한 응답자 중 주로 경험하였던 증상을 구분하여 조사한 결과 눈, 코, 목의 따가움을 느낀 사람이 43%로 가장 많았고 피부가 가렵거나 뽀가나는 피부이상을 느낀 사람이 42%였으며, 잠시의식을 잃은 경험이 있는 사람도 2%로 나타났다(그림 5).

4) 질병 발생 가능성에 대한 인식도

현재의 작업환경으로 인해 질병 발생 가능성을 느끼는지에 대한 질문에 79%가 발생 가능하다고 답하였으며, 직무군 별로 발생 가능한 질병으로는 그림 6과 같이 호흡기계 질환, 피부병, 암 등을 지적하였고 원인모를 질병의 발생 가능성도 높게 나타났다.

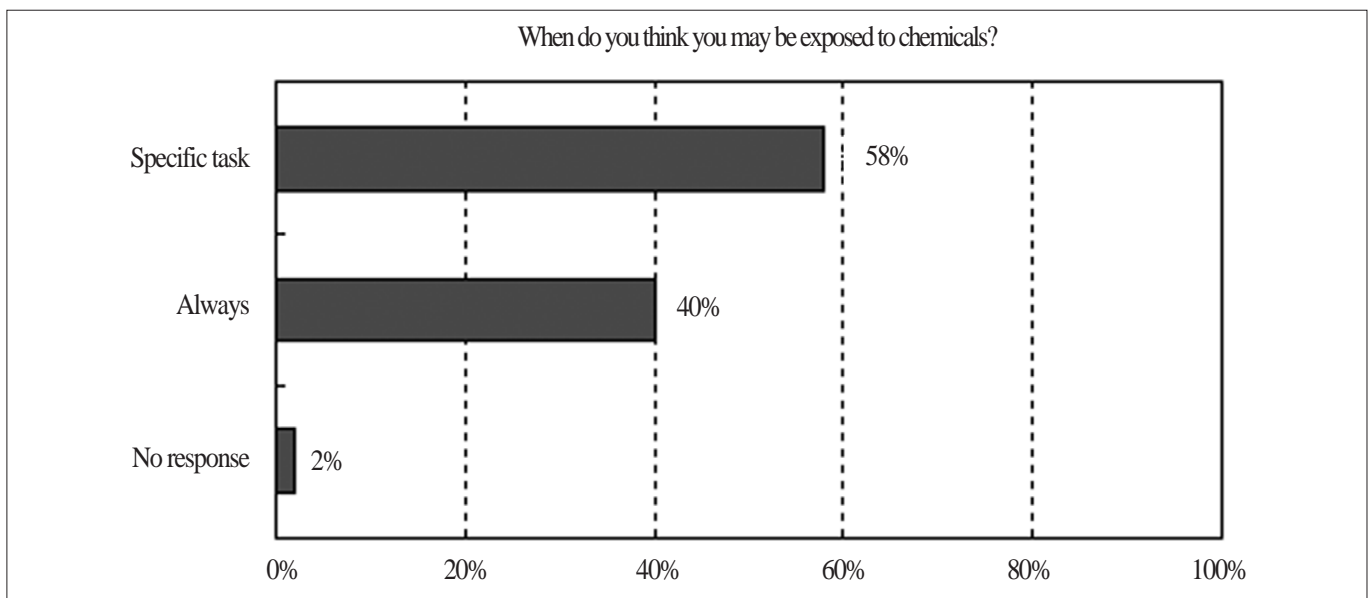


Fig 3. Perception of time to be exposed to chemicals.

5) 기존 작업환경측정 제도에 대한 평가

기존에 수행되어 온 작업환경측정에 대한 만족도를 조사한 결과 만족한다는 응답은 24%였으며, 불만족스럽다는 응답은 59%, 무응답이 17% 였다. 불만족스러운 이유에 대해서는 측정 후 충분한 설명이 부족하다는 응답이 가장 많았으며 (60%), 측정 후 공정개선이 이루어지지 않는다(30%)와 예상보다 낮게 측정결과가 낮게 나온다(30%)는 지적을 하였고, 측정시기의 부적절성에 대한 지적도 27%로 나타나고 있었다. 측정기관에 대한 불만족은 8%로 가장 낮게 나타났다.

현장 설문조사를 통해 나타난 결과를 종합하면 근무자들 중 88%가 화학물질에 대한 노출위험을 느끼고 있었으며 여러 형태의 노출 중 호흡기를 통한 노출이 가장 많다고 느끼고 있었다. 따라서 현재의 작업환경에서 발생 가능한 질병도 호흡기계통 질환을 가장 많이 지적하였으며, 암과 원인모를 질병의 발생 우려도 높은 것으로 나타났다. 그리고 근무자들이 노출에 위험을 느끼는 시기와 작업을 살펴보았을 때 일상적인 정기체크의 작업보다는 샘플링이나 드레이닝, 오버홀, T.A/S.D 등과 같이 장치가 개방되는 작업에 대한 노출위험을

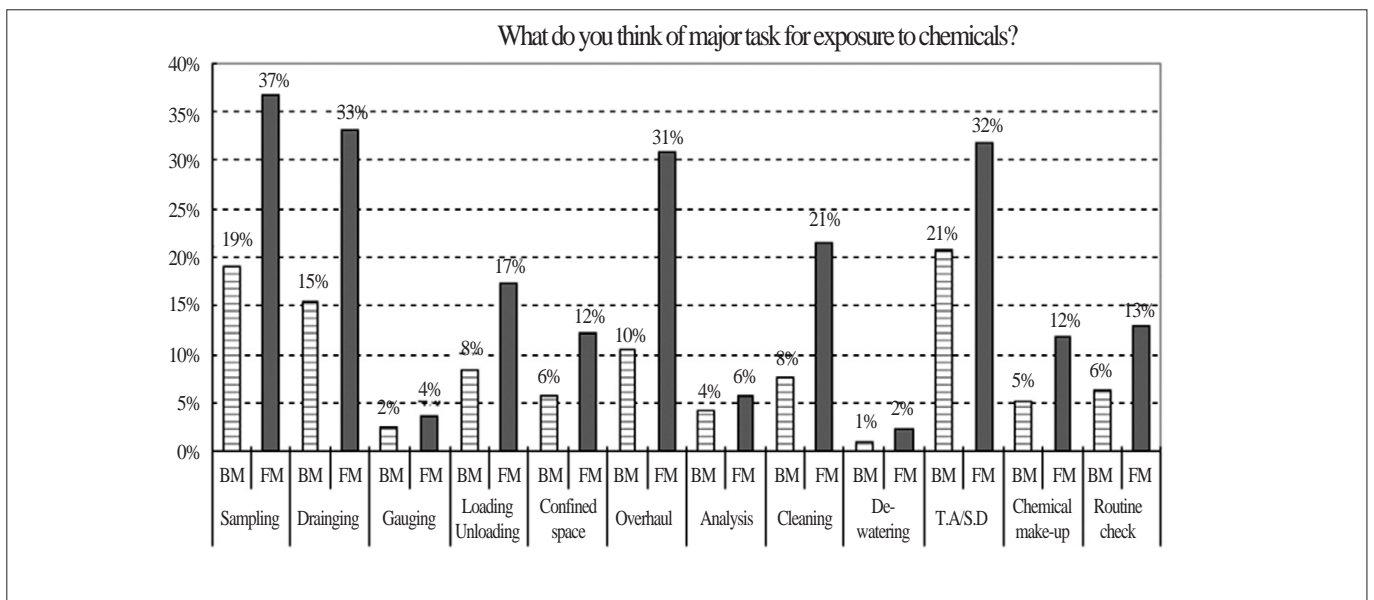


Fig 4. Major tasks to be exposed to chemicals.

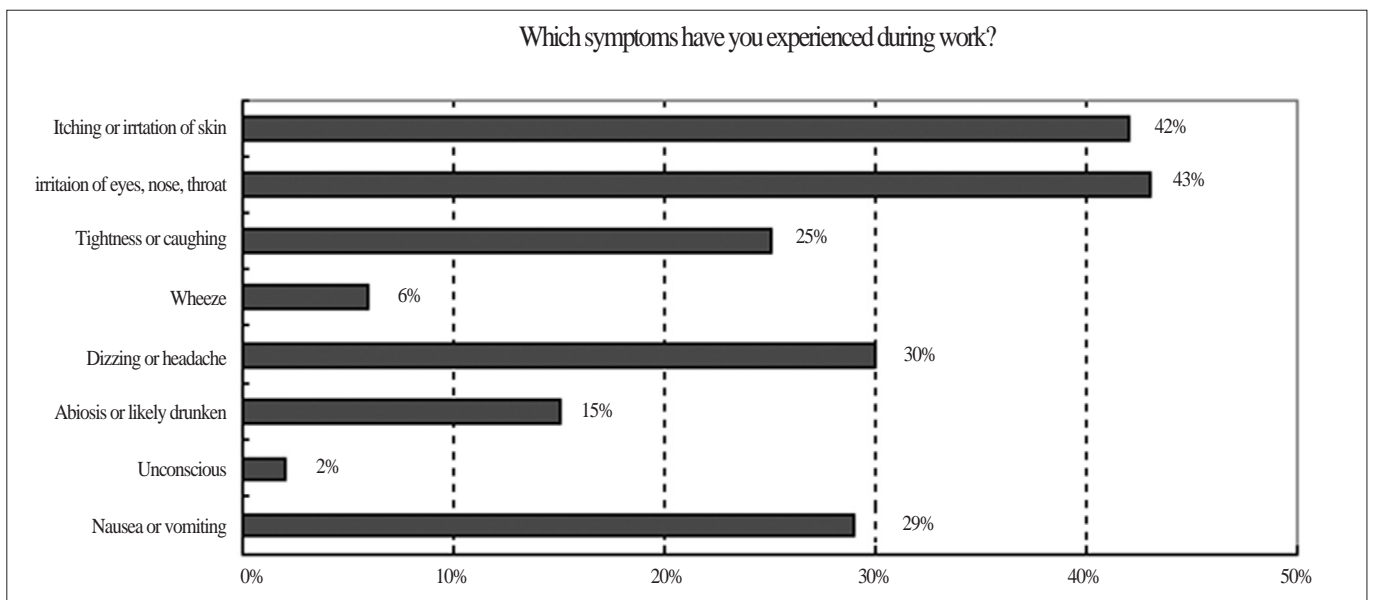


Fig 5. Major symptoms for petrochemical workers.

많이 지적하고 있다. 그러나 현재까지 진행된 작업환경측정에 대한 만족도 조사에서는 불만족과 무응답이 76%로 나타났고, 측정결과에 대한 불신과 정확한 설명의 부재를 불만족스러운 원인으로 지적하고 있어 현재의 측정제도가 석유화

학장치산업 근로자들의 건강 위험도를 정확히 평가해 내고 있지 못함을 알 수 있다.

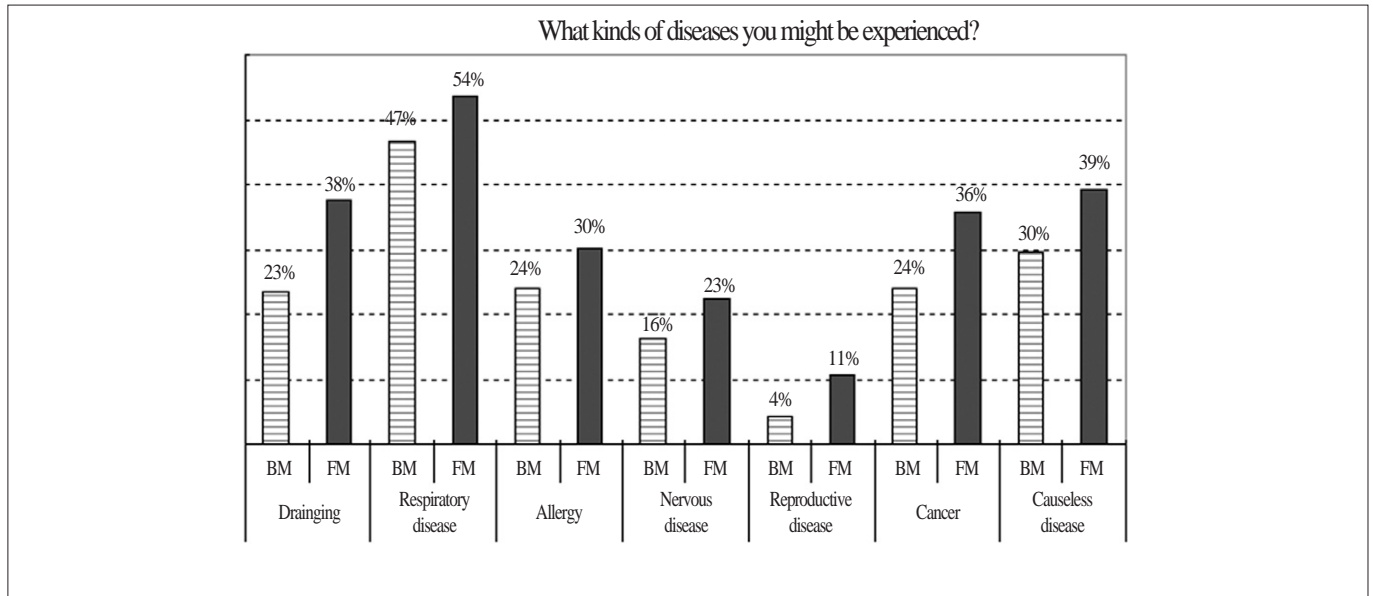


Fig 6. Major diseases perceived by petrochemical workers.

Table 2. Detection rate of personal samples to benzene reported by work environment measurement, 1996-2004

| Sampling time | Detection | | Non-detection | | Total | |
|---------------|------------|-----|---------------|-----|-------|-----|
| | N | % | N | % | | |
| 1996 | First half | 0 | 0 | 7 | 100 | 7 |
| | Last half | 4 | 33 | 8 | 67 | 12 |
| 1997 | First half | 10 | 22 | 36 | 78 | 46 |
| | Last half | 8 | 25 | 24 | 75 | 32 |
| 1998 | First half | 0 | 0 | 20 | 100 | 20 |
| | Last half | 13 | 34 | 25 | 66 | 38 |
| 1999 | First half | 19 | 100 | 0 | 0 | 19 |
| | Last half | 19 | 86 | 3 | 14 | 22 |
| 2000 | First half | 5 | 12 | 36 | 88 | 41 |
| | Last half | 8 | 15 | 44 | 85 | 52 |
| 2001 | First half | 7 | 23 | 24 | 77 | 31 |
| | Last half | 3 | 7 | 41 | 93 | 44 |
| 2002 | First half | 11 | 17 | 55 | 83 | 66 |
| | Last half | 2 | 4 | 55 | 97 | 57 |
| 2003 | First half | 6 | 11 | 50 | 89 | 56 |
| | Last half | 5 | 7 | 65 | 93 | 70 |
| 2004 | First half | 6 | 7 | 78 | 93 | 84 |
| | Last half | 3 | 5 | 60 | 95 | 63 |
| Total | | 129 | 17 | 631 | 83 | 760 |

2. 과거 작업환경측정결과보고서(1996년~2004년) 분석

여수산단 석유화학산업 9개 사업장을 대상으로 1996년~2004년까지의 작업환경측정보고서(총 162권) 중 82권의 보고서의 수거가 가능하였으며, 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

기존 측정보고서 분석결과 벤젠에 대한 개인시료 측정 수는 총 760개이며, 129개 시료만이 검출되었고 83%는 불검출로 보고되었으며 전체 개인시료 중 단위작업에 대한 단시간 측정시료는 두 건 밖에는 없었다(표 2). 검출 시료 129개에 대한 농도 분포를 살펴보면 표 3과 같이 0.0032 ppm ~ 10.45 ppm의 범위로 검출되었고 기하평균은 0.22 ppm 수준이었다.

우리나라의 벤젠에 대한 8시간 기중평균 노출기준은 2003

년 7월 까지 10 ppm 이었으며, 2003년 7월 이후 현재까지 1 ppm으로 설정되어 있고, 미국 정부산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서는 0.5 ppm(ACGIH, 2007), 그리고 가장 엄격한 기준을 제시하고 있는 미국 국립산업안전보건연구원(NIOSH)에서는 0.1 ppm을 권고하고 있다(NIOSH, 1997). 불검출 시료를 포함하여 총 760개의 개인 측정시료 결과를 각 기관의 노출기준 값을 중심으로 나누어 분포를 살펴보면 10 ppm을 초과한 시료는 760개 측정시료 중 단 한건이었으며, 89%의 시료는 0.1 ppm을 초과하지 않고 있다(그림 7).

3. 단위 작업별 현장 측정결과

Table 3. Descriptive statistics on samples with benzene detected, 1996-2004

(unit : ppm)

| Company ID | N | Geometric mean | Arithmetic mean | Minimum | Maximum |
|------------|-----|----------------|-----------------|---------|---------|
| A | 3 | 0.24 | 0.45 | 0.108 | 0.131 |
| B | 1 | 0.01 | 0.01 | 0.010 | 0.01 |
| C | 7 | 0.03 | 0.09 | 0.003 | 0.29 |
| D | 21 | 0.49 | 1.30 | 0.040 | 10.45 |
| E | 11 | 0.30 | 0.44 | 0.091 | 1.42 |
| F | 4 | 0.66 | 2.75 | 0.015 | 6.50 |
| G | 9 | 0.30 | 0.52 | 0.030 | 1.92 |
| H | 73 | 0.19 | 0.62 | 0.003 | 5.46 |
| Total | 129 | 0.22 | 0.74 | 0.003 | 10.45 |

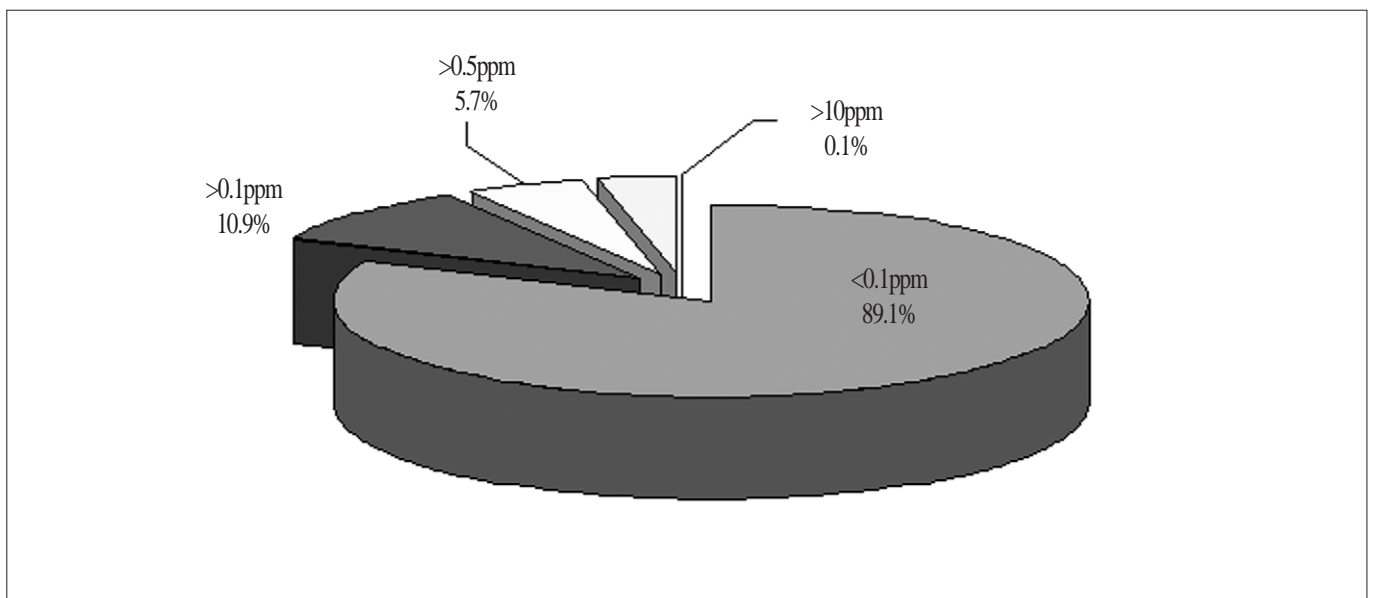


Fig 7. Distribution of personal exposure to benzene, 1996-2004.

Table 4. Summary of benzene short-term exposure monitored by tasks in normal, 2002-2005 (unit: ppm)

| Task* | N | GM ¹⁾ | AM ²⁾ | Min ³⁾ | Max ⁴⁾ |
|------------------|-----|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Analysis | 6 | 0.353 | 0.610 | 0.101 | 2.270 |
| Chemical make-up | 3 | 0.580 | 0.580 | 0.580 | 0.580 |
| Cleaning | 5 | 0.619 | 0.677 | 0.390 | 1.297 |
| De-watering | 15 | 33.717 | 99.731 | 1.636 | 741.093 |
| Draining | 4 | 6.989 | 19.633 | 0.300 | 38.876 |
| Gauging | 13 | 2.813 | 13.276 | 0.206 | 98.261 |
| Overhaul | 13 | 1.649 | 7.924 | 0.199 | 53.600 |
| Routine check | 23 | 0.103 | 0.243 | 0.006 | 0.567 |
| Sampling | 72 | 1.064 | 15.281 | 0.026 | 542.910 |
| Top-loading | 145 | 0.824 | 1.289 | 0.023 | 12.651 |
| Others | 13 | 0.990 | 1.978 | 0.136 | 9.661 |
| Total | 312 | 0.982 | 10.185 | 0.006 | 741.093 |

*: $p < 0.001$, 1) GM: geometric mean, 2) AM: arithmetic mean, 3) Min: minimum, 4) Max: maximum

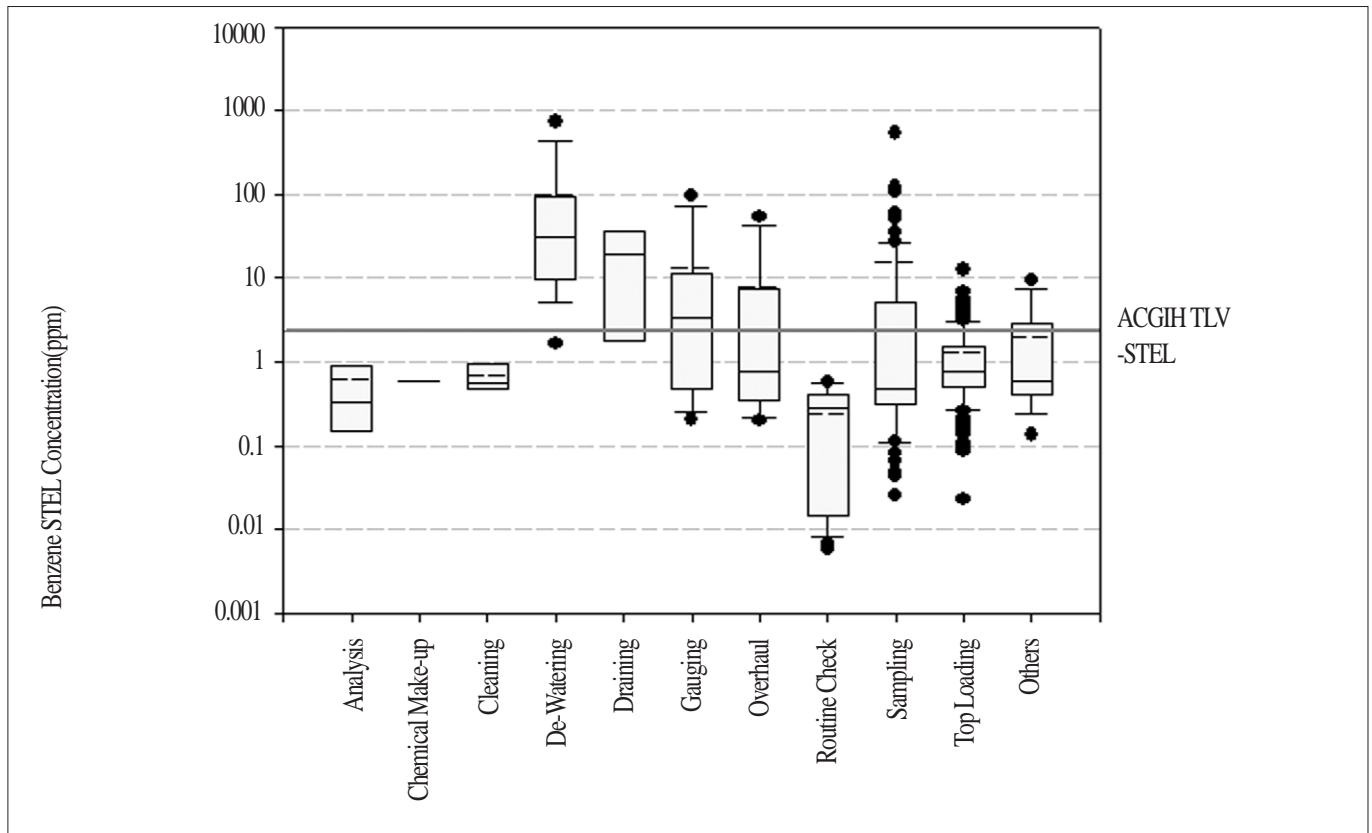


Fig 8. Distribution of benzene short-term exposure by tasks in normal operation.

벤젠 노출이 가능한 벤젠 생산 혹은 납사를 이용한 석유화학장치산업 9개 사업장의 현장 운전을 담당하는 fieldman과 샘플링/분석을 담당하는 실험실/품질관리 담당자, 그리고 유지보수를 담당하는 공무원부와 출하 작업자들을 대상으로 정상작업(normal) 조건하에 단위 작업별 단시간 노출 수준을 평가하였다.

2002년부터 2005년까지 총 15가지의 단위작업을 대상으로 312건의 단시간 노출 수준을 평가한 결과 기하평균은 0.98 ppm, 산술평균은 10.2 ppm 이었으며, 최대 741 ppm까지 고 노출되고 있음이 확인되었다(표 4).

벤젠에 대한 단시간 노출수준은 단위작업별로 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며($p < 0.001$), 특히 de-watering, draining, gauging, overhaul, sampling 등이 주요 고노출 위험 작업이라고 할 수 있다(그림 8).

IV. 고찰

벤젠은 전 세계적으로 19세기 중반부터 사용되기 시작했으나 만성적인 건강영향이 최초로 알려진 것은 1897년 Santesson이 스웨덴 자전거 타이어 공장에서 네 명의 작업자가 치명적 재생불량성 빈혈에 걸렸다는 보고에 의해서였다. 그 후 동물실험 결과 벤젠이 골수에 영향을 주는 혈액독성이 있다고 밝혀졌고 1928년 Delore와 Bergamono에 의해 급성립프구성 백혈병 케이스가 발표되면서 사람에게 백혈병을 유발할 수 있음을 알게 되었다. 1938년 이후 Vigliani와 Saita 등에 의해 벤젠과 백혈병과의 보다 분명한 관계가 있음이 알려졌다(Vigliani EC and Saita G, 1964), 이 당시 신발공장에서 근무한 작업자들은 접착제에 들어 있는 벤젠에 의해 공기 중 25 ~ 600 ppm 수준으로 노출되었다고 보고하고 있다. 과거 1955년에서 1961년까지는 주로 터키의 이스탄불에 있는 신발공장에서 솔벤트로 벤젠을 사용했는데, Aksoy 등은 1971년에 신발공장에서 근무한 작업자들을 대상으로 벤젠에 의한 다양한 백혈병 발생 사례를 발표하면서 공기중 농도 10 ppm 이하에서도 벤젠에 의한 백혈병 발생이 가능함을 주장하였다(Aksoy, 1974). 1976년 Infante 등은 pliofilm 제조 공장에서 근무하는 작업자들을 대상으로 35년간 추적 조사한 결과 벤젠에 의한 만성적 노출(공기중 농도 0 ~ 10 ppm)이 백혈병 유발 위험성을 높인다고 주장하였고(Infante and Rinsky, 1977), 1985년 Aksoy는 기존의 연구결과에 근거해 벤젠에 대한 공기 중 노출기준을 1 ppm 까지 낮추어야 한다고 주장하였다(Aksoy, 1985). 미국 산업안전보건청에서는 노출기준 개정을 위해 미국석유험회(American Petroleum Institute, API)와의 법정 논쟁을 거쳐 오늘날의 기준인 8시간 평균 1 ppm, 단시간 기준

(STEL) 5 ppm, 감시농도(Action level) 0.5 ppm으로 설정하게 된다. 벤젠의 노출기준 하향 조정과 관련된 논리적 배경에는 벤젠이 백혈병을 유발하는 것은 확실하지만 어느 정도까지 공기 중 낮은 농도에서 만성적으로 노출될 경우 백혈병이 걸릴 수 있는가에 초점이 모아졌었다. 즉, 낮은 농도에 만성적으로 누적 노출(cumulative effect)되었을 경우 백혈병을 발생시킨다는 것이다. 그러나 1996년 Schnatter 등은 Infante 등이 1970년대에 연구하였던 Pliofilm 코호트 연구결과를 순간노출의 개념으로 재해석하여 벤젠에 노출도농도가 증가 할수록 사망 확률이 높아지는 경향이 있음을 제시하였다(Schnatter et al. 1996). ACGIH에서는 이러한 Schnatter 등의 연구결과를 인용하여 벤젠에 의한 백혈병 발생은 낮은 농도에 오랫동안 누적 노출되어야만 발생하는 것이 아니고 짧은 기간이라도 높은 농도에 노출될 경우 백혈병이 발생할 수 있다는 용량률 효과(dose-rate effect)를 근거로 8시간 평균 기준(0.5 ppm) 이외에 단시간 노출기준 제정이 필요하다고 판단하여 2.5 ppm을 권고하였다(ACGIH, 2002).

최근 2003년에 Collins 등은 화학공장에 근무하는 4,417명의 작업자를 대상으로 벤젠에 의한 혈액암 발생으로 인한 사망률 조사 연구를 통해 간헐적인 고 노출(intermittent peak exposure)에 의해 다발성 골수암(multiple myeloma)에 의한 사망 확률이 유의하게 증가하였음을 확인했다고 보고하고 있다. Collins 등은 특히 100 ppm 이상에 1년 중 40일 이상 간헐적으로 고 노출 되었을 경우 만성적인 노출보다도 벤젠에 의한 골수암 발생 위험이 더욱 크다고 강조하고 있다(Collins et al., 2003).

최상준 등(2005)은 원유정제업체 근로자들을 대상으로 벤젠을 비롯한 화학물질에 대해 단기간 고 노출 특성을 갖고 있음을 밝힌 바 있다. 본 연구에서도 동일하게 확인되었는데, 원유정제업체를 포함하여 석유화학장치산업 근로자들의 벤젠 노출 패턴은 평소 8시간 평균 노출수준은 낮지만 de-watering, draining, gauging, overhaul, sampling과 같은 간헐적인 작업에 따라 수 백 ppm에 짧은 순간 노출될 수 있는 특성이 있다. 따라서 석유화학장치산업 근로자들의 벤젠에 의한 혈액암 발생 위험을 최소화하기 위해서는 순간적인 고 노출 위험을 줄여야 하며 이를 위한 관리 대책이 필요하다고 할 수 있다.

본 연구에서 여수산단 내 석유화학 업체를 대상으로 현장 작업자들의 작업환경에 대한 인식 상태와 과거 10년간 작업환경측정 제도에 의해 실시해 온 벤젠 측정결과 분석을 통해 작업자들의 체감 위험도와 측정결과 사이에 큰 괴리가 있음을 확인하였다. 작업자들은 여전히 벤젠 노출 위험과 그로 인한 질병 발생 위험 및 증상을 호소하고 있으나 측정결과는 측정시료의 83%가 불검출로 나타날 정도로 매우 낮은 수준

을 나타내고 있다. 이는 석유화학산업 근로자들의 단시간 고노출 특성을 고려하지 않은 채 8시간 평균 노출수준만을 측정해 왔기 때문이다. 과거 측정결과 보고서를 검토한 결과 총 760건의 개인 측정자료 중 단시간 노출수준을 측정한 자료는 1997년에 sampling 작업에 대한 2건 뿐이었으며, 20분 동안 측정된 벤젠 농도는 각각 15.1 ppm과 20.77 ppm 이었다. 그러나 이 2건의 결과도 2007년까지 노동부 노출기준에는 벤젠에 대한 단시간 노출기준이 없었기 때문에 8시간 평균 농도로 측정치를 환산한 후 8시간 평균 노출기준과 비교하여 기준 미만으로 평가하고 있었다. 따라서 그동안 여수산업 내 석유화학업종에 종사하는 근로자들의 벤젠 노출 위험도에 대한 관리는 8시간 평균 노출수준에 중심을 두었다고 할 수 있으며, 이는 단시간 고노출의 패턴은 그대로 유지되어 왔다고 할 수 있다.

여수산업이 조성된 이후 1990년대 중반에 공단 가동으로 인해 발생한 석유화학업종에서 배출된 각종 오염물질과 이로 인한 환경변화로 인해 생태계 파괴 및 지역주민들의 건강유해성의 증가 가능성 등이 사회적 문제로 쟁점화 되기 시작하였다. 이에 노동부와 산업보건연구원은 학계, 노동계, 경영자 대표 및 정부 관계자 등이 참여하는 실무위원회를 구성하고 여천공단내 사업장의 작업환경 및 근로자 건강상태에 대한 최초의 '작업환경 실태조사'를 1996년 ~ 1997년 동안 실시하였다(한국산업안전공단, 1997). 실태조사는 사업장 보건관리 기초조사와 유해물질 폭로평가, 건강영향평가로 구성되었고, 여천공단 입주업체 중 석유화학제품 제조업 전 업체와 여천공단에 10년 이상 입주해 온 업체 등 28개소를 대상으로 벤젠을 포함한 유기용제 34종, 금속 10종, 가스 14종, 무기산 5종 그리고 기타 10종 등 총 83종 1,815건을 측정하였다. 측정결과 당시 노출기준을 초과한 건수는 톨루엔 1건, 염화비닐 3건, 황산 5건 뿐이었다. 노동부에서는 조사팀의 실태조사 결과 '작업환경측정·유해물질 폭로평가 및 건강영향평가결과를 종합해 볼 때 현재 여천공단의 근로자에게 작업환경으로 인한 뚜렷한 건강영향은 없는 것으로 판단되며, 일상적인 작업하에서 여천공단 근로자들은 유해물질에 대한 노출이 작업환경 노출기준의 1/1,000 ~ 1/10 수준으로 낮은 농도이므로 현재까지의 지식으로는 향후에도 인체에 특별한 건강장해를 유발할 우려는 없으나, 저농도 장기노출로 인한 건강장해 발생 개연성에 대비하여 여천공단 입주업체가 공동으로 장기적이고도 지속적인 관찰 및 자료축적을 할 필요가 있다'고 발표하였다(노동부, 1997).

즉 이 당시 실태조사 결과 작업환경 노출수준은 매우 낮은 것이었다. 그러나 이 당시 조사에는 (1)산단 내 사업장의 정규직만을 대상으로 하였다는 점, (2)대정비작업, 탱크 보수작업 등 위험작업을 제외한 정상조건에서의 작업환경만을

조사하였다는 점, (3)유해물질 노출평가는 8시간 평균노출측정을 위주로 실시하였기 때문에 석유화학 및 장치산업 근로자들의 단위작업별 단시간 고노출 특성을 반영하지 못한 점 등의 한계를 갖고 있다. 따라서 실제 작업환경 중 유해물질의 노출 위험을 과소평가했다고 판단된다.

이후 2001년 여수산업 내 모 업체의 근로자 1명이 백혈병으로 사망한 후 업무관련성을 평가하기 위해 한국산업안전공단에서는 여수산업 11개 사업장을 대상으로 역학조사를 실시하게 된다. 역학조사는 벤젠 노출이 가능한 석유화학업종 11개 사업장의 전·현직 근로자의 인사자료를 이용하여 건강보험 이용자료, 사망신고자료, 암등록 자료 등을 분석하여 조혈계 암의 발생 위험이 얼마나 큰가를 평가하는 방식이었다. 총 10,774명을 대상으로 조사한 결과 14명의 조혈기암 및 림프종이 발견되었고 이 가운데 13명은 모두 1995년 이후에 발생하였고 전체 발생 암 중 조혈계 암이 차지하는 비율이 일반 인구집단에 비해 높은 것으로 나타났다(한국산업안전공단, 2002). 이후 노동부에서는 벤젠의 노출기준을 기존 8시간 평균 10 ppm에서 1 ppm으로 10배 강화하였고, 석유화학장치산업과 같은 옥외 근무 환경도 작업환경 측정의 대상에 포함시켰으며, 벤젠 취급자를 건강관리수첩 교부 대상으로 확대 하였다.

여수산단을 대상으로 한 1997년 작업환경실태조사와 이후 2001년 역학조사 결과를 비교해 보면 여수산업 근로자들의 조혈계암 발생 위험은 8시간 평균 노출수준에 대한 관리만으로는 적절하지 않음을 알 수 있다.

석유화학 업종에 대한 단시간 고노출 위험도의 특성은 2002년 울산 모 석유화학 업체를 대상으로 한 역학조사(한국산업안전공단, 2003a)와 2003년 한국산업안전공단에서 실시한 벤젠 취급 석유화학 업체에 대한 대보수 작업 평가에서도 확인되고 있다(한국산업안전공단, 2003b).

벤젠에 대한 건강영향과 관련된 기존 연구결과(Schnatter et al. 1996, Collins et al. 2003)를 검토해 볼 때 만성적인 누적노출을 관리하는 것도 중요하지만 간헐적인 단시간 고노출 위험에 대한 관리도 매우 중요함을 지적하고 있었고 선진국의 경우 이러한 연구결과를 토대로 8시간 노출기준과 함께 단시간 노출기준을 제정하여 관리하고 있음을 알 수 있었다(ACGIH, 2002). 최근 노동부에서도 벤젠의 단기간 노출기준을 5 ppm으로 제정 공포한 후 2008년부터 시행하도록 하고 있다(노동부, 2007). 따라서 석유화학업종을 중심으로 조성된 여수국가산업단지 석유화학산업 근로자들의 벤젠 노출로 인한 조혈계 암 발생 위험을 적절히 예방하고 관리하기 위해서는 비록 짧은 시간이지만 고노출 위험이 있는 장치 개방 작업의 종류를 정확히 파악하고 최대한 밀폐형(closed type) 장치로 개선해야 한다. 또한 이렇게 파악된 단위작업에 대해

주기적인 단시간 노출 평가를 실시하여 단시간 고노출 위험을 관리해야 한다. 특히 석유화학 업체는 주기적으로 장치를 완전히 개방하고 보수하는 대보수 작업(Turnaround, TA)을 실시하는데 현재까지는 간헐적인 임시작업이라는 이유로 작업환경측정을 실시하지 않고 있다. 그러나 본 연구에서도 현장 작업자들이 벤젠 노출 위험도가 가장 크다고 지적하는 기간이 대보수 작업이며, 한국산업안전공단(2003b)의 조사결과에서도 대보수 작업 기간이 정상작업 조건보다 벤젠 노출 위험이 크다고 밝히고 있으므로 향후 석유화학업종에 대한 대보수 작업 기간 중 작업환경측정을 의무화 할 필요가 있다.

V. 결론

본 연구에서는 여수산단의 석유화학산업을 대상으로 현장 근로자들에 대한 설문조사와 기존 작업환경측정보고서의 검토, 그리고 실제 현장에서 단위 작업별 단시간 노출 수준을 측정된 자료를 종합하여 벤젠 노출 실태를 평가해 보았다.

설문조사 결과 현장의 작업자들은 현재의 작업환경에서 호흡기계통 질환, 암, 기타 원인 모를 질병의 발생에 대한 우려와 관련 증상을 호소하고 있었고 특히 *sampling, draining, gauging* 등과 같은 일상 근무 기간 중 장치가 개방되고 내용물이 노출되는 작업과 정기적인 대보수 작업 기간 동안에 벤젠을 비롯한 화학물질에 대한 노출위험을 크게 느끼고 있었다.

여수산단 내 9개 석유화학 업체를 대상으로 단위작업별 벤젠 노출 수준을 측정된 결과 단시간 노출 수준은 기하평균은 0.98 ppm, 산술평균은 10.2 ppm 이었으며, 최대 741 ppm까지 고노출되고 있음이 확인되었다. 특히 *de-watering, draining, gauging, overhaul, sampling* 등이 벤젠에 대한 주요 고노출 위험 작업으로 나타나 설문조사 결과와 일치하였다. 그러나 기존 측정정보고서 검토결과 단위작업별 단시간 노출평가 자료는 전체 측정 자료 중 1% 미만이었으며 대부분 8시간 평균 노출수준을 측정하고 있었고, 이렇게 측정된 자료도 벤젠의 불검출율이 80%를 넘고 있어 석유화학 업종의 단시간 고노출 특성을 고려하지 못한 채 8시간 노출 평가만이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

이상의 연구결과를 토대로 석유화학장치산업 근로자들의 벤젠에 대한 노출 수준을 낮추고 조형계 암으로부터 보호하기 위해서는 다음과 같은 관리대책과 후속 연구가 필요하다고 판단된다.

첫째, 현재 8시간 노출평가 위주로 실시해 온 작업환경측

정은 고노출 위험이 있는 장비 개방 작업의 종류를 파악하고 가능한 밀폐형 장치로 개선되어야 한다. 또한 작업환경측정은 단위작업에 대한 단시간 노출수준 위주로 평가의 접근 방향이 바뀌어야 한다.

둘째, 단시간 노출수준 평가를 위해 벤젠을 비롯한 1,3-Butadiene, VCM(Vinyl Chloride Monomer) 등의 발암물질과 단시간 노출기준 제정이 필요한 물질에 대한 검토를 통해 현행 노출기준을 제·개정해야 한다. 최근 노동부에서 발표한 개정안에는 벤젠과 1,3-Butadiene은 단기간 기준이 제정되었으나 VCM은 여전히 누락되어 있다.

셋째, 석유화학장치산업은 정상 운전조건보다는 대보수 작업 기간에 노출 위험성이 가장 큼에도 불구하고 일상작업이 아니라는 이유로 작업환경측정의 대상이 이루어지지 않고 있다. 그러나 석유화학장치산업에 있어서 대보수 작업은 주기적으로 수행되는 일상적 작업이라고 보아야 하며, 특히 이 기간 동안 참여하는 다수의 건설근로자에 대한 조사도 함께 이루어져야 한다. 따라서 이러한 석유화학장치산업의 특성을 고려한 대보수 작업 기간에 대한 안전보건 관리 지침이 만들어질 필요성이 있다.

넷째, 벤젠에 의한 직업성 암의 현행 인정 기준은 총 누적 노출량이 10 ppm·year로 되어 있는데, 이는 석유화학장치산업에 종사하는 근로자들의 단시간 고노출 특성과 이로 인한 용량률 효과(dose rate effect)를 고려하고 있지 않은 것이므로 이후 추가적인 연구를 통해 보완이 필요하다고 판단된다.

VI. 감사의 말씀

본 연구에 협조해 주신 여수국가산단 내 석유화학업체 근로자 여러분께 감사드립니다.

REFERENCES

- 노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 노동부고시 제 2007-25호;2007.
- 노동부. 『여천공단 근로자 건강관리 및 작업환경 실태조사 결과』 발표 및 후속조치 추진. 노동부 보도자료;1997.
- 최상준, 백남원, 김진경, 최연기, 정현희 등. 원유정제업 작업자들의 유기용제에 대한 노출 평가. 한국산업위생학회지 2005;15(1):27-35
- 한국산업안전공단 산업보건연구원. 여천공단 근로자 건강관리 및 작업환경 실태조사;1997.
- 한국산업안전공단 산업안전보건연구원. 여천지역 벤젠 노

- 출 사업장 역학조사 결과보고서. 역학조사 센터 02-4-34;2002.
- 한국산업안전공단 산업안전보건연구원. SK(주) 울산 Complex 역학조사 보고서. 외부요청 역학조사 역학 02-01-02;2003a.
- 한국산업안전공단 산업안전보건연구원. 화학공장의 정상·보수 작업시 벤젠 노출실태 및 저감방안. 연구원 2003-64-499;2003b.
- 한국석유화학공업협회. 석유화학편람 2007;2007.
- 환경부. 2003년도 화학물질 배출량 조사결과;2005.
- Aksoy M, Erdem S, DinCol G. Leukemia in shoe-workers exposed chronically to benzene. *Blood* 1974;44:837-841
- Aksoy M. Benzene as a leukemogenic and carcinogenic agent. *Am J of Ind Med* 1985;8:9-20
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). 2007 TLVs and BEIs;2007.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation for Benzene. Cincinnati, OH: ACGIH;2002.
- American Petroleum Institute(API). Chemistry and petroleum for classroom use in chemistry courses. Washington, D.C.:API;1971.
- Collins JJ, Ireland B, Buckley CF, Shepperly D. Lymphohaematopoeitic cancer mortality among workers with benzene exposure. *Occup and Environ Med* 2003;60:676-679
- Delore P, Bogramano J. Leucemie aigue en cours d' intoxication benzenique. *J Med Lyon* 1928;9:227-233
- Infante, P.F., Rinsky R.A, et al.: Leukemia in benzene workers. *Lancet* ii;1977. p. 76-78.
- National Institute for Occupational Health and Safety(NIOSH). NIOSH Manual of Analytical Methods, 4th ed. DHHS (NIOSH) Publication No. 94-113;1994.
- National Institute for Occupational Health and Safety(NIOSH). Pocket guide to chemical hazards, DHHS (NIOSH) Publication No. 97-140;1997.
- Santesson GG. Uber chroische Vergiftungen mit Steinkohlen benzin. Vier Todesfalle *Arch Hyg* 1897;31:336-376
- Schnatter R.A., Nicolich M.J. et al. Determination of leukemogenic benzene exposure concentrations: Refined analyses of the Pliofilm cohort. *Risk Analysis* 1996;16(6):833-840
- Vigliani EC, Saita G: Benzene and leukemia. *New Engl J Med* 1964;271:872-876