

스티렌의 유통 · 사용 실태조사

조형열¹ · 조성현² · 김은아³ · 김병규^{4*} · 박승현⁴ · 강성규⁴

¹한국산업안전공단 전남동부지도원, ²한국산업안전공단 광주지역본부,
³한국산업안전공단 산업안전보건연구원, ⁴한국산업안전공단 산업보건국

A Survey on the Status of using Styrene in Korea

Hyung-Yoel Cho¹ · Sung-Hyun Cho² · Eun-A Kim³ · Byung-Gyu Kim^{4*} · Seung-hyun Park⁴ · Seong-Kyu Kang⁴

¹Jeonnam East Area Office, Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA)

²Gwangju Regional Office, KOSHA · ³Occupational Safety & Health Research Institute, KOSHA

⁴Occupational Health Department, KOSHA

The objective of the survey is to define and judge exposure profiles from semi-qualitative data in high risk processes using styrene. The survey was conducted in 98 factories out of 229 factories based on data from periodic work environment monitoring results for styrene. Styrene is widely utilized as a raw material for PS and co-polymers such as ABS, SAN, SBR, SBL, unsaturated polyester resins(UPR) and others. An approximate breakdown of styrene's markets in Korea is PS 30%, expandable PS 17%, ABS 33%, SAN 5%, SBL 4%, SBR 3%, UPR 1% and other 7%. Although UPR accounts for 1% of total amount of styrene, workers dealing with it are exposed to very high concentrations up to 64 ppm. Especially styrene is widely used in the laminating process of fiberglass reinforced plastics(FRP) manufacturing industry. The Applications using styrene are largely classified into two sections which are applied to styrene monomer(SM) and UPR. SM is utilized for a raw material of resins, surfactant and adhesive. UPR is employed for FRP and non-FRP. For SM control targets are mixing colors and packing in the gelcoat resins manufacturing industry(MI), for

UPR control targets out of works using UPR are 1) laminating in the MI of plastics, automobile parts and boats, 2) mixing and packing in the SMC/BMC MI, 3) molding and cutting in the other specific plastics MI, 4) mixing and coating in artificial marble product MI, 5) dipping in the electric motors & transformers MI, 6) molding in the button MI, 7) painting in the musical instrument MI. Findings from the study have given the information for the high risk processes and working practices so that occupational health professionals could focus on targeted workplaces to prevent occupational diseases. It is also useful to develop a control strategies and specific controls for high risk processes and facilities using styrene.

Key Words: styrene, laminating, FRP, risk process, occupational diseases

접수일: 2008년 7월 3일, 채택일: 2008년 12월 27일

* 교신저자: 김병규 (인천시 부평구 기능대학길 25

Tel: 032-510-0720, Fax: 032-518-6486, Email: apollo@kosha.net)

I. 서론

스티렌은 사업장에서 주로 PS(Polystyrene), ABS(Acrylonitrile-Butadiene-Styrene), SAN (Styrene-Acrylonitrile), SBR(Styrene-Butadiene Rubber), UPR (Unsaturated Polyester Resin) 등의 합성수지를 제조하는 원료로 사용된다. 이러한 합성수지는 운송기구, 생활용품, 건축용 용품 등을 제조하는데 사용된다(ACGIH, 2001).

우리나라의 2006년 스티렌 생산량은 2,710천 톤으로, 대부분은 PS와 스티렌 중합체(polymer)를 제조하는데 사용되었다. 약 24천 톤(1%)은 불포화폴리에스테르수지(Unsaturated Polyester Resin; UPR) 제조에 사용된다(CMA, 2007). UPR은 정화조, 보트, 탱크, 자동차 용품 등의 유리섬유강화플라스틱(Fiberglass Reinforced Plastics; FRP) 제품 및 옥조 등의 인조 대리석(marble)제품 제조 등에 널리 사용된다.

스티렌과 합성수지 제품(PS, ABS, SAN, SBR 등)을 생산하는 공정은 밀폐형으로 설치된 반응기 내에서 제조가 이루어지기 때문에 작업자의 스티렌 노출 가능성이 낮다(Key & Hobbs, 1980). 가장 심각한 스티렌 노출은 UPR를 이용하여 FRP 등의 제품을 생산하는 공정 중에 발생한다(SPI, 1977). 우리나라 스티렌 제조 공장의 스티렌 노출 수준은 1~6 ppm이고, FRP 제품을 제조하는 사업장의 기중 스티렌 농도는 1~50 ppm 수준이었다. 특히 돌가루와 UPR를 이용하여 옥조를 만드는 사업장의 기중 농도는 10~80 ppm의 수준이었다(강성규 등, 1993). 외국에서도 스티렌 합성공장의 기중 스티렌 농도는 5 ppm 이내이고(Miller 등, 1994) FRP 제품 제조업에서 20~300 ppm 수준이었다(Tossavainen 등, 1978). UPR에 사용

되는 스티렌은 희석용매(diluent solvent) 및 가교제(cross-linking agent)의 역할을 하며, 제품의 물리적 특성이 최상에 도달하기 위해서는 UPR에 스티렌의 함량이 30~45%일 때이다(Fradet & Arlaud 1989). 스티렌이 함유된 UPR를 유리섬유와 함께 적층작업을 할 때 약 10%의 스티렌이 공기 중으로 증발되어 고농도의 스티렌에 근로자들이 노출될 수 있다. 스티렌이 휘발성이 높음에도 불구하고 사업장에서 생산 품목에 따라서는 자동화공정보다는 수작업으로 하는 경우가 흔하다. 특히 적층(lamination) 작업은 대부분 수작업으로 이루어지기 때문에 고농도에 노출되고 있다.

스티렌의 노출에 의한 일반적인 건강장해로는 신경 및 호흡기 계통의 영향을 미친다. 주요 증상으로는 눈, 목 및 코 자극증상, 호흡기(천명음, 호흡 수 증가) 장애, 피부자극 증상(갈라짐, 발진), 쇠약, 두통, 피로, 어지러움증, 기억력 장애 등이 있다(노동부, 2006).

최근 우리나라에서는 트리클로로에틸렌(TCE)에 의한 스티븐스증후군, 디메틸포름아미드(DMF)에 의한 독성 간염, 노말 헥산(n-Hexane)에 의한 다발성 신경염 등이 중소기업 사업장에서 반복적으로 발생하고 있다. 스티렌과 같은 급성중독 유발 화학물질에 대해서는 산업안전보건법에 의한 작업환경측정을 통한 작업환경개선, 특수건강진단을 통한 근로자 건강관리가 기본적으로 이루어져야 한다. 고위험 공정을 보유한 중소기업 사업장에서 쉽게 활용할 수 있는 사업장 보건관리 기법의 개발과 전달을 위해서는 직업병발생 위험이 높은 고위험 공정에 대한 정확한 현황 및 노출 실태에 대한 정확한 자료가 생산되어야 할 필요성이 높고 이를 토대로 한 추가적인 조사 연구와 실용적 작업환경개선 모델 개발

Table 1. Selected factories from subjected factories by types of industry

| Type of industry | Subjected factories | Selected factories (Sel/Sub %) |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| M* of basic chemicals | 18 | 8(44.4) |
| M of other chemical products | 21 | 16(76.2) |
| M of plastic products | 64 | 35(54.7) |
| M of general purpose machinery | 7 | 3(42.9) |
| M of electric motors & transformers | 18 | 9(50.0) |
| M of parts for motor vehicles | 6 | 3(50.0) |
| Building of ships & boats | 17 | 8(47.1) |
| Other manufacturing | 6 | 4(66.7) |
| Others | 72 | 12(16.7) |
| Total | 229 | 98(42.8) |

* M : Manufacture

이 요구된다. 기존 국내에서 개발된 업종별 주요 유해·위험 공정 및 유해 인자에 대한 자료가 있으나 공정별 유해도 평가가 병행되지 않아 고위험 공정에 대해서는 우선 순위를 제시하지 못하고 있다. 따라서 화학물질의 생산 및 유통량, 노출 근로자수, 취급 형태, 근로자의 직무 및 직무별 노출수준 등 화학물질의 유통과 취급에 대한 전반적이며 체계적인 조사와 분석이 필요하다고 판단되었다.

산업현장에서 널리 사용되는 스티렌에 대한 국내 유통·사용 현황 및 근로자 노출 수준의 분석은 스티렌이 사용되는 주요 공정 중 직업병발생 위험도가 높은 공정을 제시하기 위하여 스티렌을 제조·취급하는 사업장을 대상으로 현장방문조사를 실시하였다.

II. 조사 방법

실태조사 대상사업장 선정 방법은 스티렌의 사용 및 취급 실태를 대표적으로 반영하여 사업장을 선정하기 위해, 한국산업안전공단 산업안전보건연구원에서 보유하고 있는 2005년도 작업환경측정결과 DB자료를 근거로 스티렌을 측정한 사업장 217개소 및 측정결과에 포함되지 않았으나 스티렌 취급을 추가로 파악한 사업장 12개소를 대상으로 표준산업분류에 의한 업종별, 근로자 수에 의한 규모별 및 지역별로 층화추출법(Stratified Sampling Method)을 사용하여 선정된 98개소를 방문 조사하였으며, 조사기간은 2007년 3월 1일부터

2007년 9월 30일까지 7개월간이었다(Table 1).

조사방법은 한국산업안전공단 지역본부, 지도원, 센터의 산업보건 전공 직원들이 해당 사업장을 직접 방문하여 체계화된 조사표를 활용하여 스티렌의 유통 및 사용량, 취급공정 및 작업형태, 환기시설 설치 및 성능, 노출근로자, 노출수준 등을 조사하였다. 조사를 실시하기 전에 조사 내용과 방법의 일관성을 유지하기 위하여 1일(8시간)의 교육을 실시하였다. 스티렌의 유통량 조사는 Chemical Market Associates, Inc.의 자료를 활용하였으며, 불포화 폴리에스테르 수지의 유통량은 국내 제조사 중 A사의 영업보고서를 참조하였다. 환기시설의 성능평가는 조사자가 열선풍속계 등을 활용하여 직접 평가하였으며, 노출근로자는 조사 당시 스티렌을 취급하는 작업자의 수이며, 노출수준은 각 사업장에서 실시한 2006년도 작업환경측정 결과 값을 활용하였다. 각 사업장별 조사된 자료는 현장조사자가 한국산업안전공단 통합전산시스템에 등록한 후 연구자가 이를 취합하여 업종·공정 및 사용 용도별로 사업장수, 사용량, 노출 근로자수 및 노출수준 등을 분석하였다. 또한, 사용 용도별 노출 위험이 높은(노출농도 20 ppm 이상) 업종 및 공정을 고위험군으로 선정하였다.

III. 조사 결과 및 고찰

1. 유통 실태(The status of circulation)

Table 2. Process & application used by type of industry

| Type of industry | Process(No.) | Application | No. of factory |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------|
| M of basic chemicals | Mixing(9), Take out(1), Molding(1), Packing(1) | Raw material of resin, surfactant & SMC/BMC | 8 |
| M of other chemical products | Mixing colors(3), Mixing(4), Packing(4), Dilution(10), Lamination(2), Coating(1) | Raw material of resin, surfactant & adhesive, FRP material | 16 |
| M of plastic products | Mixing(14), Molding(11), Lamination(18), Coating(7), Cutting(3), Assembling(1) | FRP material, marble & others | 35 |
| M of general purpose machinery | Dipping(1), Lamination(1), Painting(1) | Insulating varnish, FRP material, Painting | 3 |
| M of electric motors & transformers | Dipping(8), Molding(1) | Insulating varnish | 9 |
| M of parts for motor vehicles | Lamination(2), Molding(1), Coating(1) | FRP material & others | 3 |
| Building of ships & boats | Lamination(8), Coating(5) | FRP material | 8 |
| Other manufacturing | Painting(2), Molding(3), Mixing(1) | Painting of musical instrument, Button material | 4 |
| Others | Dipping, Mixing, Lamination etc.(14) | FRP material, Insulating etc. | 12 |
| Total | 139 | | 98 |

우리나라의 스티렌 유통 실태로서 공급되는 스티렌 양은 2006년 기준 3,148천 톤이며 국내 제조업체의 생산량 2,710천 톤, 수입량은 438천 톤이다. 스티렌은 국내에서 폴리스티렌 641천 톤(30%), 발포폴리스티렌 355천 톤(17%), ABS 수지 717천 톤(33%) 등 합성수지 및 SBR 61천 톤(3%) 등 합성고무 제조의 원료로 사용된다.

합성수지 및 합성고무를 제조하는 공정은 밀폐형 반응기에서 반응에 의한 장치공정으로 반응기에서 스티렌 노출의 위험은 극히 적으며, 또한, 합성수지나 합성고무를 원료로 플라스틱 가공품이나 고무제품으로 제조하는 공정에서 폴리머인 상태로 성형되므로 스티렌 증기 발생이 극히 적다. 그러나 국내에서 스티렌을 1%(24천 톤)정도 사용되는 UPR은 스티렌 함량이 약 30~50%이며, 사업장에서 액체 상태로 사용되고 있고, 사용 후 휘발되기 때문에 스티렌 증기 발생이 높다. 그러므로 사업장에서 스티렌에 의한 노출로 가장 문제가 되는 부분은 UPR를 취급하는 공정에서 작업으로, 스티렌을 원료로 생산하는 합성수지 중에서 UPR를 제조하여 유통하는 실태파악이 필요하다. 국내에서 UPR를 생산하는 제조업체는 A사, B사, C사 등 메이저 3개사를 포함하여 약 20개 업체가 있다. 2004년 UPR의 생산량이 104,800톤에서 2006년 89,300톤으로 점차 감소하고 있다. 2006년 기준 89,300톤의 UPR 중에서 FRP용으로 55,700톤(62%), 비 FRP용으로 33,600톤(37%) 사용되고 있다.

2. 사용 실태(The status of use)

스티렌 유통·사용실태조사 사업장에 대한 업종별 사용 공정 및 용도로는 조사 사업장 98개소 중에 스티렌을 취급하는 공정은 139개 공정으로, 적층공정(32개)에서 스티렌을 가

장 많이 취급하고 있으며, 배합 28개, 성형 18개, 코팅 17개, 합침 12개 등 순으로 취급되고 있다(Table 2). 사용 용도별로는 스티렌을 취급하는 공정 139개 공정 중에서 FRP원료(34개 공정)의 용도로 가장 많이 사용되고 있으며, 수지원료 및 절연용 13개, 기타성형용 10개, 마블용 9개 등 순으로 사용되고 있다.

스티렌을 취급하는 근로자는 총 592명으로 취급 근로자 수가 가장 많은 업종은 플라스틱제품 제조업에서 196명이며, 기초 화학물 제조업 136명, 기타 화학제품제조업 122명 등 순으로 취급하고 있었다(Table 3). 스티렌(Styrene monomer; SM)을 취급하는 양은 매월 평균 89,752톤이며, UPR를 취급하는 양은 926.82톤으로 조사되었다. 스티렌을 가장 많이 취급하는 업종은 기초 화학물 제조업(47,676톤/월)이며, UPR을 가장 많이 취급하는 업종은 플라스틱제품 제조업(553.93톤/월)으로 조사되었다.

3. 노출 실태(The status of exposure)

스티렌의 사용 용도별로 스티렌모노머(SM)는 합성수지, 접착제, 계면활성제 원료로 사용되며, 합성수지 중 UPR은 FRP용과 비FRP용으로 구분된다. FRP용은 FRP 원료, SMC(Sheet Molding Compound) / BMC(Bulk Molding Compound) 원료, 기타(가압, 기계 등)성형 원료 등으로 나뉘지며, 비 FRP용은 마블원료, 절연용, 단추원료, 도장용, 코팅용, 기타 등으로 구분된다.

가. 스티렌(SM)의 노출실태

스티렌(SM)을 직접 원료로 사용하여 합성수지, 접착제, 계면활성제 등을 제조하는 사업장은 총 98개소 중 18개소(18%)이며, 그 중에서 합성수지 원료로 13개소, 접착제 원료로 3개

Table 3. Exposure worker & amount used by type of industry

| Type of industry | Exposure worker | Using amount(ton/monthly) | |
|-------------------------------------|-----------------|---------------------------|--------|
| | | SM | UPR |
| M of basic chemicals | 136 | 47,676 | 137.55 |
| M of other chemical products | 122 | 42,076 | 5.2 |
| M of plastic products | 196 | 0 | 553.93 |
| M of general purpose machinery | 5 | 0 | 3.28 |
| M of electric motors & transformers | 15 | 0 | 9.18 |
| M of parts for motor vehicles | 19 | 0 | 12 |
| Building of ships & boats | 44 | 0 | 24.2 |
| Other manufacturing | 18 | 0 | 48.5 |
| Others | 37 | 0 | 132.98 |
| Total | 592 | 89,752 | 926.82 |

Table 4. Exposure status by application of styrene monomer

| Application | Industry | Factory | Process (No.) | way of work | Exposure worker | Con. range (ppm) | Using amount(T/M) | Control* target |
|-------------|-------------------------|---------|------------------|-------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|
| Total | | 18 | (25) | | 201 | | 89,752 | |
| Resins | Basic chemicals | 3 | Mixing(3) | Auto | 105 | 0.29~0.84 | 47,586 | × |
| | Other chemical products | 10 | Mixing colors(3) | Semi-auto | 20 | 19.57~48.77 | 47,586 | ○ |
| | | | Dilution(10) | Auto | 34 | 0~4.1 | 47,586 | × |
| | | | | Semi-auto | 4 | 16.44 | 47,586 | × |
| Packing(4) | Semi-auto | 19 | 16.44~24.1 | 47,586 | ○ | | | |
| Adhesive | Other chemical products | 3 | Mixing(3) | Auto | 15 | 0.08~0.41 | 58 | × |
| Surfactant | Basic chemicals | 1 | Mixing(1) | Auto | 1 | 0 | 90 | × |
| | Other chemical products | 1 | Mixing(1) | Auto | 3 | 0 | 51 | × |

*Criteria of control target : work above 20 ppm(TWA-8hr)

Table 5. Exposure status by application of FRP for UPR

| Application | Industry | Factory | Process (No.) | way of work | Exposure worker | Con. range (ppm) | Using amount(T/M) | Control target |
|------------------|---------------------------|---------|------------------------|-------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------|
| Total | | 48 | (71) | | 299 | | 553.48 | |
| FRP material | Plastic products | 20 | Mixing(3) | Semi-auto | 5 | 2.39~3.78 | 41.50 | × |
| | | | Molding(2) | Manual | 8 | 0~16.18 | 8.00 | × |
| | | | Lamination(18) | Manual | 63 | 0.23~42.51 | 112.52 | ○ |
| | | | Others(4) | Manual | 14 | 0~30.0 | 0.85 | △ |
| | Parts for motor vehicle | 2 | Lamination(2), coat(1) | Manual | 18 | 44.39~48.22 | 7.00 | ○ |
| | Building of ships & boats | 8 | Lamination(8), coat(5) | Manual | 44 | 1.00~24.39 | 24.20 | ○ |
| | Others | 4 | Lamination(4), coat(2) | Manual | 33 | 0~24.00 | 8.86 | △ |
| SMC/BMC material | Basic chemicals | 4 | Mixing(5) | Semi-auto | 15 | 5.48~28.17 | 137.55 | ○ |
| | | | Packing(1) | Manual | 9 | 29.31~32.48 | 0 | ○ |
| | | | Others | Manual | 6 | 5.48~20.22 | 0 | × |
| Other material | Plastic products | 7 | Mixing(4) | Semi-auto | 13 | 1.79~10.34 | 155.00 | × |
| | | | Molding(6) | Semi-auto | 44 | 9.27~39.73 | 7.00 | ○ |
| | | | Cutting(2) | Manual | 18 | 13.33~23.91 | 40.00 | ○ |
| | Others | 3 | Others(7) | Semi-auto | 17 | 5.47~11.17 | 11.00 | × |

△ : lamination process out of others

소, 계면활성제 원료로 2개소에서 스티렌을 취급하고 있다. 스티렌 취급근로자는 총 201명이며, 합성수지 원료로 사용되는 공정에서 182명, 접착제 원료는 15명, 계면활성제 원료는 4명이 스티렌을 취급하고 있었다(Table 4).

스티렌을 직접 원료로 사용하는 공정 중 노출기준(TWA-8 시간 : 20 ppm) 초과 공정은 스티렌을 합성수지 원료로 사용되는 기타 화학제품 제조업의 조색과 포장공정으로 고위험 공정(High risk)으로 중점관리(Control target)가 필요한 공정으로 나타났다. 겔코트 조색 공정은 주로 교반기(혼합기)를 사용하며 국소배기장치가 설치되어 있다라도 교반에 의한 회전 속도에 비해 제어풍속이 낮아 작업자에게 고농도(최고 48.77 ppm)로 노출되고 있었다. 포장 공정은 주로 수작업에 의한 작업으로 국소배기장치가 미설치된 경우가 많아 노출수준이 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다.

나. UPR(FRP용도)의 노출실태

UPR은 FRP용으로 FRP 원료, SMC/BMC 원료, 기타 특수성형 원료 등에 사용된다. FRP용으로 사용하는 사업장은 98개소 중 48개소(49%)이며, 그 중에서 FRP 원료의 용도로 34개소, SMC/BMC 원료로 4개소, 기타 특수성형의 원료로 10개소에서 UPR를 취급하고 있다. 취급근로자는 총 299명이며, FRP 원료로 사용되는 공정에서 취급하는 근로자는 185명, SMC/BMC 원료는 30명, 기타 특수성형은 84명이 취급하고 있다. UPR의 사용량은 매월 평균 553.48 톤으로, FRP 원료

202.93 톤, SMC/BMC 원료 137.55 톤, 기타 특수성형의 원료 213 톤이 사용되고 있다.

UPR를 FRP용으로 사용하는 공정에 대한 조사결과 노출기준을 초과하는 고위험 공정으로 중점관리가 필요한 공정은 FRP 원료의 적층공정, SMC/ BMC 원료의 배합 및 포장공정, 기타 특수성형의 원료로 사용되는 성형 및 재단공정으로 나타났다(Table 5).

FRP 제품(정화조, 보트, 자동차 부품, 저장탱크 등)의 성형 작업에서는 절단된 유리섬유 매트에 UPR을 롤러나 붓으로 적시고, UPR에 적신 유리섬유는 겔 코트(Gel Coat)된 몰드에 올려놓아 롤러로 적층하고 다시 그 상부에 적신 유리섬유를 올려놓는 적층하는 절차가 반복된다. 스티렌이 발생하는 작업표면이 넓으며 보통 국소배기장치가 미설치되거나 부적절하게 설치된 경우가 많고, UPR액을 담아두고 있는 용기의 상부 덮개가 미설치되어 있어 작업장에 스티렌 증기가 확산되어 노출수준이 높은 공정(43.08~49.22 ppm)으로 조사되었다.

BMC 배합 및 포장 공정은 UPR 및 부원료(탄산칼슘, 유리섬유 등)를 투입해서 반죽상태로 배합을 하고 반죽상태의 BMC 제품을 계량해서 비닐시트에 포장하는 작업을 수행하며 국소배기장치의 성능이 미흡하여 작업자들의 스티렌 노출농도는 29.31~32.48 ppm으로 높은 것으로 조사되었다.

건축용 판넬을 제작하기 위해 SMC를 제품의 크기에 맞게

Table 6. Exposure status by application of non-FRP for UPR

| Application | Industry | Factory | Process (No.) | way of work | Exposure worker | Con. range (ppm) | Using amount(T/M) | Control target |
|-----------------|--------------------------------|---------|---------------|-------------|-----------------|------------------|-------------------|----------------|
| Marble material | Plastic products | 9 | Mixing(9) | Semi-auto | 19 | 0.55~42.45 | 252.98 | ○ |
| | | | Molding(4) | Manual | 6 | 1.98~15.32 | 33.00 | × |
| | | | Coating(5) | Manual | 10 | 1.19~21.3 | 17.02 | ○ |
| Insulation | Electric motors & transformers | 13 | Dipping(11) | Auto | 7 | 0~18.34 | 5.00 | × |
| | | | | Semi-auto | 9 | 0~25.67 | 3.86 | ○ |
| | | | | Manual | 3 | 33.00~43.42 | 2.30 | ○ |
| | | | Others(2) | Manual | 3 | 3.14~8.96 | 0.14 | × |
| Button material | Other manufacturing | 2 | Molding(4) | Semi-auto | 5 | 18.23 | 15.00 | × |
| | | | | Semi-auto | 6 | 4.27~30.12 | 16.00 | ○ |
| Painting | Other manufacturing | 4 | Painting(4) | Manual | 12 | 0.41~63.82 | 17.72 | ○ |
| Coating | Sawmilling & planing of wood | 2 | Coating(2) | Semi-auto | 3 | 5.90~6.55 | 10.20 | × |
| Others | Others | 2 | Others(7) | Manual | 9 | 0.08~3.68 | 0.12 | × |
| Total | | 32 | (43) | | 92 | | 373.34 | |

재단하는 작업에서는 작업장소에 국소배기장치가 미설치되어 있으며, 작업자가 수작업으로 SMC를 재단하므로 직접 노출되어 스티렌 노출농도는 9.27~23.91 ppm으로 높게 나타났다.

다. UPR(비FRP용)의 노출실태

UPR를 비 FRP용으로 마블원료, 절연용, 단추원료, 도장 및 코팅용 등에 사용된다. 비 FRP용으로 사용하는 사업장은 98개소 중 32개소(33%)이며, 마블원료 9개소, 절연용 13개소, 단추원료 2개소, 도장 및 코팅용 6개소 등 UPR를 취급하고 있다. 취급근로자는 총 92명이며, 마블원료로 사용되는 공정에서 취급하는 근로자는 35명, 절연용 22명, 단추원료 11명, 도장 12명, 코팅 및 기타에 12명이 취급하고 있다. UPR의 사용량은 매일 평균 373.34 톤으로, 마블원료 303 톤, 절연용 11.3 톤, 단추원료 31 톤, 도장용 17.72 톤 등이 사용되고 있다.

UPR를 비 FRP용으로 사용하는 공정 중 중점관리가 필요한 공정은 마블원료의 배합 및 코팅공정, 절연용의 함침공정, 단추원료의 성형공정, 도장용의 도장공정 등이다(Table 6).

마블(세면대 및 욕조 등)을 제조하기 위해 UPR과 탄산칼슘, 탈크(Talc) 등을 일정비율로 배합한 후 몰드에 겔코트액을 스프레이 또는 붓으로 코팅한 후 코팅된 몰드에 배합된 원료를 주입, 성형, 건조하여 제품을 완성하는 전체 공정에서 배합 공정에서 스티렌 노출농도가 42.45 ppm으로 매우 높은 것으로 조사되었다. 겔코트 스프레이 작업에서도 스티렌이 용제로 사용되어 분사되므로 기중 스티렌 농도는 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다.

전기 모터, 변압기 등을 절연하기 위해 구리선으로 와인딩(winding) 된 제품을 UPR이 저장되어 있는 함침조에 디핑(dipping)한 후 건조시키는 작업시 스티렌 발생이 높았다. 디핑한 후 제품에 묻어 있는 UPR액을 빨리 탈착시키기 위해 압축공기를 분사하게 되어 스티렌이 빨리 증발하게 되므로 근로자의 노출 수준을 증가시키는 것으로 조사되었다. 악기류를 제조하는 공정 중에서 목재에 도장하는 작업시 높은 농도의 스티렌에 노출되는 것으로 나타났으며, 도장 부스 내에서의 작업에서도 배기 성능이 불량하여 노출수준은 노출기준을 초과하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

스티렌은 중추신경계 손상 및 말초 신경독성을 유발하는 물질이며, 알러지성 피부질환 및 직업성 천식을 유발할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 우리나라에서는 강화유리 섬유(FRP) 제품 제조공정에서 고농도의 스티렌 노출이 확인

되고 있어 산업보건 측면에서 관심을 받고 있는 물질이지만 우리나라에서는 2000년 이후 직업적 스티렌 노출과 관련하여 보고된 직업병이 발생된 사례는 없으나 해외에서 스티렌 노출과 관련된 기관지 천식, 중추신경 손상, 말초신경병증 등의 발생사례가 보고되었다. 현재 우리나라의 스티렌 취급 사업장의 노출농도와 해외의 직업병 발생사업장의 노출농도와 비교해 보면 우리나라에서도 이러한 직업병이 발생할 가능성이 높은 것으로 조사되었다. 그러나 스티렌 노출 발생 업종 및 공정, 근로자의 스티렌 노출에 대한 다양한 연구 및 조사가 미흡하였다.

이번 조사를 통해 스티렌에 대한 국내 주요 제조, 취급 및 사용 현황, 근로자 노출 정보 등에 대한 기본 현황을 파악하고 유해도 등급을 계층화(Hierarchy)를 통해 산업위생학적 관점에서 적절한 관리 및 개선대책의 추진이 필요한 고 유해? 위험공정을 확인하였다.

작업환경측정 사업장과 신규발굴사업장 229개소를 대상으로 98개소(42.8%)가 조사되었으며, 조사사업장의 업종별 분포는 플라스틱제품 제조업 35개소, 기타 화학제품 제조업 16개소, 전동기, 발전기 및 전기변환장치 제조업 9개소 등 순으로 조사되었다.

조사사업장 98개소 중에 스티렌을 취급하는 공정은 139개 공정으로, 적층공정(32개)에서 스티렌을 가장 많이 취급하고 있으며, 배합 28개, 성형 18개, 코팅 17개, 함침 12개 등 순으로 취급되고 있다. 스티렌을 취급하는 공정 139개 공정 중에서 FRP성형(34개 공정)의 용도로 가장 많이 사용되고 있으며, 수지원료 및 절연용 13개, 특수성형용 10개, 마블용 9개 등 순으로 사용되고 있다.

스티렌을 직접 취급하는 근로자는 총 592명이며, 노출되는 근로자는 총 893명으로 조사되었다. 취급 근로자 수가 가장 많은 업종은 합성고무 및 플라스틱물질 제조업에서 133명으로 가장 많은 근로자가 취급하고 있으며, 건축용 플라스틱제품 제조업 132명, 그외 기타 화학제품 제조업 84명 등이 스티렌을 취급하고 있다.

취급 근로자 수가 가장 많은 공정은 배합공정으로 177명 취급하고 있으며, 적층공정 137명, 성형공정 77명, 희석공정 38명 등 순으로 취급하고 있다. 스티렌에 가장 높은 노출농도를 보유하고 있는 업종 및 공정은 악기 제조업의 도장공정에서 63.82 ppm으로 조사되었으며, 자동차 부품 제조업의 적층 공정에서 49.22 ppm, 도료, 인쇄잉크 및 유사제품 제조업의 조색공정에서 48.77 ppm, 전동기, 발전기 및 전기변환장치 제조업의 함침공정에서 43.42 ppm, 건축용 플라스틱제품제조업의 적층공정에서 42.51 ppm, 기타 플라스틱제품제조업의 배합공정에서 42.45 ppm 등으로 조사되었다.

조사사업장의 총 139개 공정 중 작업빈도는 매일 정상작업

97개(70%), 매일 단시간작업 31개(22%), 간헐작업 11개(8%) 공정에서 작업을 수행하고 있으며, 작업방법은 자동 작업 24개(17%), 반자동 작업 41개(30%), 수작업 74개(53%) 공정에서 작업을 수행하고 있었다.

스티렌을 취급하는 공정 중 중점관리 대상(고 유해위험 공정)은 합성수지의 원료로 사용되는 조색 및 포장공정, FRP성형용의 적층 및 성형공정, SMC/BMC를 원료로 사용하는 배합, 취출 및 포장공정, 특수성형용의 재단 및 성형공정, 마블성형용의 배합, 성형 및 코팅공정, 절연용의 함침공정, 단추성형의 성형공정, 도장용의 도장공정 등이다. 스티렌의 노출을 최소화하기 위한 방안으로는 왁스 등의 첨가제를 포함하는 UPR사용, 공학적 작업환경개선(국소배기장치 설치, 작업공정 주위를 밀폐조치, 롤러 가드 및 긴 손잡이 롤러 사용, 저압의 스프레이 사용, 스프레이 부스 설치 등), 작업지침 준수, 개인보호구 착용 등이 있다.

국내 화학물질의 유통 및 사용실태에 대한 업종별 공정별 구체적인 정보를 DB화 하여 산업보건 전문 인력의 사업장 기술지도시 사전에 화학물질 취급공정에 대한 산업보건학적 정보를 제공하고, 작업환경측정 및 특수건강진단 등 민간 산업보건 전문기관의 작업환경평가 및 화학물질관리 컨설팅 등에 활용될 것으로 기대된다. 향후 근로자의 노출 수준이 높은 유해 · 위험공정에 대한 추가적인 조사와 연구, 노출평가, 작업환경개선 및 근로자 건강보호방안 등 개선대책 개발이 집중되어야 할 것이다.

REFERENCES

- 노동부. 건강진단 실무지침-제3권 유해인자별 건강장해. 2006.
- 한국산업안전공단 산업보건연구원. 스티렌 폭로 근로자들의 기증 및 혈중 스티렌과 요중 만델릭산의 관계 분석. 강성규, 양정선, 김기웅, 이종성, 조영숙, 정호근. 1993.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Documentations of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices. 7th ed., ACGIH, Cincinnati, 2001.
- Chemical Market Associates, Inc. 2007.
- Fradet, A. & Arlaud, P. 1989. Unsaturated Polyesters. In: Allen, G. & Bevington J.C. Comprehensive Polymer Science. The Synthesis, Characterization, Reactions & Applications of Polymers. Vol. 5; Step Polymerization. Oxford, UK; Pergamon Press, PP. 331-334.
- Key JA, Hobbs FD. Report 5-Ethylbenzene and styrene. Prepared for emission standards and engineering division, Office of Air Quality Planning and Standards, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, September 1980. 67 pp.
- Marketing Report for UPR by A company, 2007.
- Miller RR, Newhook R, Poole A. Styrene production use and human exposure. Crit Rev Toxicol 1994;24(S1):S1-S10
- The Society of the Plastics Industry, Inc. 1977.
- Tossavainen A. Styrene use and occupational exposure in plastics industry. Scand J Work Environ Health 1978;4(suppl.2):7-13.