

증례: 자동차 천장 내장재 제조 공장에서 발생한 MDI에 의한 직업성 천식

근로복지공단 직업성폐질환연구소

박소영, 최병순

근로자: 45세 여자

역학조사 경과: 상기 근로자는 2010년 7월 직업성 천식 진단을 받고 2010년 10월 산업재 해보상보험 요양급여신청서를 근로복지공단에 제출하였고, 근로복지공단은 직업성폐질환연구소로 역학조사를 의뢰하였다. 직업성폐질환연구소는 근로자의 업무상 질병 여부를 판단하기 위해 근로복지공단으로부터 송부 받은 자료를 검토하는 한편, 근로자를 면담하고 작업환경 및 의무기록을 확인하였다.

천식의 발병 및 경과: 41세 때인 2006년 4월부터 자동차 천장 내장재 제조 공장의 마무리(감싸기) 공정에서 근무하다가, 2009년 7월 성형 공정에서 근무하기 시작한 지 약 4개월이 지나서부터 기침, 객담이 시작되었고 시간이 가면서 호흡곤란과 천명도 시작되어 의원에서 감기약을 복용하였지만 증상이 계속되다가 직업성 천식을 의심하여 2010년 7월 00병원을 방문하였다.

검사 소견: 말초혈액 백혈구 중 호산구 백분율이 8.6%(참고치 0~5%)이면서, 유도객담 중 호산구 백분율이 3% 이상으로 증가되어 기도 염증 소견이 있었다. 오전까지 작업한 후 시행한 폐기능검사에서 FEV₁ 0.93 L(정상 예측치의 37.8%), FVC 2.50 L(78.1%)로 FEV₁/FVC가 37.1%인 중증 폐쇄성 환기장애 소견이 있었다. 기관지확장제를 투여한 후 FEV₁이 1.28 L로 투여 전보다 350 mL 및 37.6% 증가하여 기도폐쇄 가역성이 양성이었다. 5일 간의 휴가 중 측정한 최고호기유속(PEFR, Peak Expiratory Flow Rate)의 최대값이 250~330 L/min인 반면, 주간 근무 중에는 100~350 L/min로 변동폭이 크면서 시간이 지날수록 최고호기유속이 감소하면서 하루 중 변동률도 20.0%를 초과하였다.

과거력: 특이 병력 없음

작업내용 및 작업환경: 작업은 크게 발포→절단→성형→마무리 공정으로 이루어지는데, MDI (Methylene Diphenyl Diisocyanate)와 Polyol을 1.8:1의 비율로 혼합하여 발포(foaming)된 block foam을 약 3~4일 건조한 다음, 일정한 두께로 절단(slicing)한다(사진 1, 2). 다음으로 성형공정에서 접착제와 MDI의 1:1 혼합액을 분사하여(spraying) 두 장의 slice foam을 접착한 후 성형기에서 foam의 위아래 부직포와 foam을 함께 가열(120~130°C), 압축한다(사진 3). 이후 성형된 반제품의 끝부분과 구멍을 절단한 후 가장자리를 제거하거나 부직포

를 접어 본드로 부착하여 마무리 한다(사진 4). 작업장의 환기는 전체 환기 방식에 의해 이루어지고, 근로자들은 일반 면마스크와 면장갑을 착용하고 작업을 하고 있었다.



사진 1. 발포 공정



사진 2. 절단 공정



사진 3. 성형 공정



사진 4. 마무리 공정

작업환경측정: 2011년 1월 직업성폐질환연구소가 개인시료를 통해 실시한 노출평가에서 성형 공정의 노출수준이 최고 $5.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 발포($0.17\sim1.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 및 마무리($0.2\sim1.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 등의 다른 공정보다 높았지만, 역시 고용노동부의 노출기준인 $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 $1/10$ 수준이었다. 한편 block foam의 발포 원료와 성형 공정에서 slice foam의 접착제로 사용하는 MDI 벌크시료를 채취하여 분석한 결과 두 시료 모두에서 MDI가 검출되었다. 지역시료를 통한 노출평가에서는 성형기에서 1 m 떨어진 곳이 평균 $0.23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 성형 공정 평균 개인시료 농도인 $3.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 의 $1/16$ 수준이었다. 이에 MDI의 휘발성 정도를 확인하기 위해 성형기에서 7 m 떨어진 곳에서 측정한 지역시료는 평균 $0.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 오히려 더 높았는데, 이는 성형 후 반제품의 이동 적재대 바로 옆이라서 반제품에서 발생하는 잔류 MDI 가스 때문으로 판단된다. 발포기에서 2 m 떨어진 곳의 MDI 농도는 발포 공정 개인시료의 약 $1/9$ 수준이었고, slicing 설비와 휴식 테이블에서 측정한 시료에서는 MDI가 검출되지 않았다.

증례에 대한 고찰: 근로자가 성형 공정에서 작업하기 시작한 지 약 4개월이 지나면서 나타나기 시작한 기침/객담/호흡곤란/천명은 천식의 전형적인 증상이며, 유도객담에서 호산구 백

분율이 증가되어 기도 염증 소견이 있으면서 기관지확장제 투여 후 기도폐쇄 가역성이 양성 이어서, 기도 염증에 의한 가역적 기도폐쇄가 특징인 천식의 소견에도 합당하였다. 또한 MDI에 노출되지 않은 휴가 중에는 시간이 가면서 최고호기유속이 증가하고 하루 중 변동률도 낮았으나, MDI에 노출되는 작업 중에는 시간이 가면서 최고호기유속이 감소하면서 하루 중 변동률도 20.0%를 초과하였다.

근로자가 천식 유발물질로 잘 알려져 있는 MDI를 원료 및 접착제로 사용하는 공장에서 MDI 노출수준이 가장 높은 성형 공정에서 작업하기 시작한 지 약 4개월이 지나서부터 천식의 전형적인 증상이 나타났으나, 성형 공정의 MDI 노출수준 역시 노출기준과 비교하면 매우 낮다. 그 이유로는 단량체 isocyanate 중 MDI는 증기압이 매우 낮아 노출평가에서 대부분 노출기준보다 낮게 나타난다. 또한 isocyanate 노출평가에 사용하는 필터채취법은 임핀저법보다 노출수준이 과소평가되는 것으로 잘 알려져 있는데, 특히 스프레이 공정에서 그 차이가 커 임핀저법에 비하여 평균 25%만 분석되는 것으로 알려져 있다. 더구나 성형기에서 가열, 압축하기 직전에 slice foam의 접착용으로 사용하는 MDI는 혼합 MDI로 보통 단량체 MDI와 중합체 MDI가 1:1의 비율로 혼합되어 있는데, 노출평가에서는 중합체 MDI를 제외한 단량체 MDI만 평가하므로 총 MDI의 노출수준이 과소평가된다.

따라서 이 공장의 MDI 노출수준은 노출평가에서 나타난 것보다 높다고 판단되며, 더구나 MDI를 포함한 isocyanate는 피부로도 노출이 가능한데 이곳 근로자들은 일반 면장갑을 사용하며 작업하므로 작업자별 MDI 노출수준은 더 높을 수 있다. 다만 단량체 MDI 원액을 사용하는 발포 공정의 노출수준이 오히려 성형 공정보다 낮은데, 성형 공정에서는 MDI를 스프레이 방식으로 도포한 후 가열함으로써 증기압(휘발성)이 상승하는 반면 발포 공정에서는 약 15초 만에 4.5 m^3 용적의 발포기가 가득 찰 정도로 MDI와 Polyol이 빠르게 반응함으로써 증기압(휘발성)이 낮은 MDI가 극히 적은 양만 공기 중으로 유출되기 때문으로 판단된다. 이는 우레탄 분진이 많이 비산되는 slicing 설비에서 특정한 지역시료에서 MDI가 검출되지 않은 것으로도 뒷받침된다.

한편 노출수준(농도)과 직접적 관계가 있으면서 자극성 기전에 의해 발생하는 반응성 기도장애증후군과 달리, 천식 유발물질에 감작되어 발생하는 알레르기성 천식은 천식 유발물질의 노출수준(농도)이 낮더라도 반복적으로 노출되면 발생할 수 있지만 노출수준(농도)이 높으면 더 잘 발생한다.