

폭약 및 폭탄 제조시 발생하는 시클로나이트의 작업자 노출수준 평가

정지연[†] · 이지현 · 김은영 · 이승훈

용인대학교 환경과학대학

Worker's exposure assessment of cyclonite in explosive compounds and bomb manufacturing companies

Jee Yeon Jeong[†] · Jee Hyeon Lee · Eun Young Kim · Seung Hoon Lee

College of Environment and Science, Yongin University

Cyclonite is a white powder and is very explosive. It can cause seizures (a problem of the nervous system) in human and animals when large amounts are inhaled or eaten. Research papers for workers exposure assesment of the cyclonite are very a few in the world. A field study was conducted at explosive compounds and bomb manufacturing companies to evaluate workers exposure to cyclonite. The airborne average concentration of cyclonite in explosive compounds manufacturing company was $4.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (range: ND - $59.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$), and that of cyclonite in bomb manufacturing company was $31.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (range: ND - $291.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Package process and assembly process in both companies were considered the high potential of exposure to cyclonite. Even though all airborne concentrations of cyclonite were lower than occupational

exposure standard (MOEL: $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$), exposure to cyclonite can also occur through dermal contact during manufacture, handling, and clean-up of cyclonite. So control measures for protecting skin absorption of cyclonite were needed for preventing adverse health effect by cyclonite exposure.

Key Words: Cyclonite, Explosive compounds, Bomb, Exposure

접수일: 2010년 12월 14일, 채택일: 2011년 3월 19일

† 교신저자: 정지연(경기도 용인시 용인대학교 환경과학대학 산업환경보건학과,
TEL: 031-8020-3208, E-mail: jyjung@yongin.ac.kr)

I. 서론

시클로나이트(cyclonite)는 RDX(research department explosive), 또는 Hexogen이란 이름으로도 불리는 백색 내지 투명한 고체의 결정가루로서 분자량 222.12, 비중 1.82(20 °C에서), 녹는점 205.5 °C, 증기압이(4.10×10^{-9} mmHg, 20°C에서) 극히 낮은 물질로서 폭발력이 강해 주로 화약류(explosives) 제조에 사용된다(NLM, 2011).

화약류란 가벼운 타격이나 가열 같은 외부요인에 의해 짧은 시간에 화학변화를 일으킴으로서 급격히 많은 열과 가스를 발생하게 되어 순간적으로 큰 힘을 얻을 수 있는 물질을 말한다.

두 가지 이상의 비폭발성 물질을 기계적으로 혼합하여 비로소 폭발성을 나타내는 것을 폭발성 혼합물이라고 하고, 그 중에서도 공업적으로 이용 가치가 있는 것을 혼합 화약류(explosive mixtures)라고 한다. 이것과는 달리 단일화합물로부터 성립되는 화약류를 화합화약류(explosive compounds)라 하며, 시클로나이트는 화합화약류로 분류될 수 있다(기술시험 연구회, 2006).

시클로나이트 자체는 자연계에 존재하지 않는 합성물질로 여러 방법으로 합성되어질 수 있으나 주로 사용하는 방법은 니트로화법과 베크만법이 있다(Wikipedia, 2010). 니트로화법에 의한 합성법을 살펴보면 우로트로핀을 -5 ~ 0 °C로 냉각된 질산에 조금씩 넣으면서 강하게 교반시켜주어 니트로화 반응을 일으킨 후 숙성, 여과, 건조 등의 과정을 거쳐 시클로나이트를 합성하는 방식이다. 베크만공정에 의한 시클로나이트 합성과정을 살펴보면 헥사민(hexamine)에 질산, 질산암모늄, 초산, 그리고 무수초산을 반응시켜 만들어진 결정체를 여과시킨 후 재결정화 과정을 거쳐 시클로나이트를 합성하는 공정이다(Army 1986). 이 밖에도 HMX(cyclotetramethylenetetranitro amine)에 직접 니트로화 반응을 일으켜 시클로나이트를 합성하는 방법이 있으나 생산 효율 측면에서 베크만공정보다는 떨어진다고 한다(Budavari et al, 1989).

시클로나이트는 위약 민감한 고폭약인 관계로 자체로 사용하기 보다는 약간 덜 민감한 물질인 컴포지션 계열의 폭약으로 만들어서 사용되고 있는데, 다른 폭발물 첨가제, 가소제(plasticizer), 감감제(desensitizer)와의 혼합물 형태로 조제되는데 시클로나이트의 함량, 첨가제의 종류 등 구성성분의 비율에 따라 컴포지션 A, 컴포지션 B, 컴포지션 C, 그리고 HBX 같은 폭약류로 분류된다.

컴포지션 A 계열의 폭약은 시클로나이트에 왁스를 코팅시켜 만든 알갱이 형태의 폭약으로, 사용되는 시클로나이트의 입자크기 및 코팅되는 왁스의 양에 따라 컴포지션 A-1, A-

2, A-3, A-4 그리고 A-5로 세분화되며, 주로 로켓 그리고 지뢰 등에 사용된다.

컴포지션 B 계열의 폭약은 시클로나이트와 TNT의 혼합물로서 감감제가 혼합물에 첨가되기도 하며, 군사용 추진제, 로켓, 그리고 지뢰 등에 사용된다.

컴포지션 C 계열의 폭약은 시클로나이트와 가소제, 오일 및 다른 폭발물질과의 혼합된 폭약으로 혼합물의 구성 비율에 따라 컴포지션 C-1, C-2, C-3, 그리고 C-4로 나누어지며, 로켓이나 포탄 등의 기폭제, 그리고 플라스틱 폭탄 제조에 사용된다.

HBX 폭약은 시클로나이트와 TNT, 분말 상 알루미늄, 그리고 왁스 등의 혼합물로 미사일, 수중폭파 등에 사용된다.

신경계는 시클로나이트의 호흡기 혹은 소화기 노출에 의해 영향을 받을 수 있는 가장 중요한 목표장기이다(Hollander and Colbach 1969; Ketel and Hughes 1972; Kneppshield and Stone 1972; Merrill 1968; Stone et al. 1969; Woody et al. 1986).

급성 호흡기 노출에 의해 간질발작이 발생하기도 했고(Kaplan et al, 1965), 이태리의 트리메틸렌트리니트라민(trimethylenetrinitramine)을 제조하는 공장의 작업자들에서 간질성 발작이 발생하였다는 보고도 있다(Bingham et al, 2001). 미국에서 경우 군인이 사고성으로 시클로나이트를 마시고 나서 혼동, 과잉행동, 간질발작 등을 일으킨 것이 보고되기도 하였다(ACGIH, 2001).

본 연구는 조사대상 물질이 폭약이라는 특성상 외국에서도 취급 근로자의 노출수준에 대한 평가 연구는 극히 제한적으로 발표되었고, 국내에서는 지금까지 보고된 적이 없는 시클로나이트 취급근로자의 노출수준을 평가하여 그 결과를 제시하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 연구대상

국내에서 2006년 현재 시클로나이트 취급과 관련된 사업장은 시클로나이트를 원료물질로 사용하여 고폭약류를 제조하는 사업장 1개소와, 그리고 이 고폭약류를 사용하여 고폭탄을 제조하는 사업장 2곳, 그리고 시클로나이트가 함유된 도폭선을 외국에서 수입하여 사용하는 사업장이 1개소인 것으로 파악되었다.

도폭선을 수입하여 사용하는 사업장 경우 도폭선을 일정한 길이로 절단하여 사용하는 공정만 있어 작업시 시클로나이트의 노출수준이 극히 미미할 것으로 판단되어 현장조사 사업장에서 제외하였다.

Table 1. The analytical conditions of high pressure liquid chromatography

Parameter	Conditions
Column	Nova-Pak C18 Cartridge 4 μ m, 3.9 x 150 mm
Mobile phase	42% acetonitrile/58% water
Flow rate	1 mL/min
UV detector	230 nm
Retention time	4.505
Injection volume	10 μ l

Nova-Pak C18 Cartridge, 4 μ m, 5 x 100 mm Nova-Pak C18 Cartridge, 4 μ m, 3.9 x 150 mm (WAT037520)

Table 2. The amount of cyclonite produced and used in Korea

Chemical	No of company	No of employee	Produced (ton)	Used(ton)	Imported (ton)	Exported(ton)
Cyclonite	5	2,891	253	427	1	0

시클로나이트를 사용하여 고폭약류를 제조하는 사업장 1개소와 이러한 고폭약류를 사용하여 폭탄을 제조하는 사업장 1개소를 대상으로 현장조사를 실시하였다. 시클로나이트 자체를 합성하는 사업장, 즉 고폭약류 제조사업장 경우 조사 당시 공장설비를 이전하는 단계에 있어 조사를 실시할 수 없었다.

2. 연구방법

조사대상사업장에 대한 예비조사를 실시한 결과, 시클로나이트 노출과 관련된 전체 공정의 총 근로자 수는 교대작업이 있기는 하지만 1 교대 당 3-7명 정도로 매우 적었다. 따라서 각 공정의 근로자 수도 1-3명 정도에 불과했고, 일반제조업의 공정과는 달리 작업특성상 설비가 가동되는 공정 주변에 계속 머물러서 작업하는 경우가 적었다. 따라서 조사 대상 사업장의 시료채취는 가능한 시클로나이트 노출과 관련된 전 공정에서 개인시료와 지역시료를 병행한 시료채취 전략을 수립하였다.

시클로나이트 시료채취는 유리섬유 여과지(37-mm, 2- μ m pore size, SKC, USA)를 패드와 함께 폴리스티렌재질의 3단 카세트에 장착하여 사용하였으며, 분당 약 1L 정도에서 하루 6시간 이상 시료를 채취하였고, 모든 시료채취용 펌프(Gilian, Gil air, USA)는 시료채취 전과 후에 거품 유량보정기를 사용하여 유량을 보정하였다. 시료가 채취된 유리섬유 필터는 아세토니트릴 용매로 추출하기 위해 4 mL 바이엘 병에 넣고 추출용매 3 mL를 정확히 넣은 후 즉시 마개를 막고 30분 동안 초음파 처리하면서 필터에 포집된 시클로나이트를 추출한 후 고속액체크로마토그래피(Waters, Alliance, USA)를 이용하여 분석하는 PV2135 방법을 사용하였으며, 분석조건은 Table 1

과 같다(OSHA, 2010).

III. 연구결과

1. 국내제조 및 사용현황

Table 2는 환경부에서 매 4년 단위로 실시하고 있는 전국 화학물질 유통량 조사 자료 중 시클로나이트에 대한 조사자료를 정리한 것이다. 국내에서 2002년 현재 시클로나이트를 취급하고 있는 업체는 5개 업체로, 연간 총 253톤을 생산하고 있으며, 수입량은 1톤 정도이고 사용량은 427톤 정도 되는 것으로 조사되었다(환경부, 2004).

환경부의 전국화학물질 유통량조사결과(Table 2)에서 나타난 2,891명의 근로자가 모두 시클로나이트를 취급하는 것은 아니다. 이번 현장조사를 통해 확인한 결과 국내에서 시클로나이트를 취급하는 사업장 수는 3개사였고, 취급량은 연간 약 700톤 정도였으며, 취급근로자 수도 50명 미만인 것으로 파악되었다. 두 조사 간에 특히 큰 차이를 보이는 것은 취급근로자 수 측면인데, 환경부 조사결과는 시클로나이트를 취급하는 사업장의 전체 근로자수를 바탕으로 계산된 근로자 수이고, 본 조사는 실제 시클로나이트 취급 공정 근로자 수를 바탕으로 확인된 숫자이기 때문에 그 차이가 큰 것으로 판단된다.

시클로나이트의 노출근로자 수는 다른 화학물질의 노출 근로자 수에 비해 매우 적고, 또한 향후 동 물질을 취급하는 근로자 수의 증가가 많이 이루어질 것 같지는 않다. 그 근거는 시클로나이트가 방산물자로 시클로나이트를 이용한 제품의 수출이 어렵고, 국내에서의 소요량도 어느 정도 일정한

수준에서 머물 수밖에 없기 때문이다.

미국의 경우 1984년 기준으로 시클로나이트의 연간 생산량은 7,200톤을 생산하고 있으며, 이와 관련하여 시클로나이트에 노출되는 근로자 수는 약 500여명 인 것으로 추정하고 있다(ACGIH, 2001).

2. 주요발생원 및 공정

시클로나이트를 이용하여 컴포지션 계열의 폭약을 제조하는 공정 경우 군수공장의 공정 특성상 폭발 등 비상상황 발생시 인명피해를 최소화해야 하기 때문에 근무하는 작업자 수도 필수 인원을 중심으로 매우 적은 인원이 작업을 하고 있는 것으로 조사되었다. 컴포지션 폭약 제조 공정의 경우 원재료(시클로나이트, 왁스, 오일 등)를 혼합기(또는 코팅기, 상압 하에서 100℃ 전후에서 운전)에 투입하여 밀폐된 상태에서 내용물을 교반하여 시클로나이트에 왁스 등을 코팅하게 된다. 코팅된 컴포지션 폭약은 건조실로 운반하여 1일 이상 건조 시킨 후(65~66℃) 건조된 폭약을 일정 무게씩 달아 포장하는 공정으로 이루어지고 있었다. 따라서 컴포지션 계열의 폭약제조 공정에 있어 노출이 가장 높을 것으로 예상되는 공정은 혼합기의 원료투입과정과 포장공정이며, 이 중에서도 포장공정에 있어서 노출이 높을 것으로 예상되었다.

컴포지션 폭약 제조 외의 공정에 있어 시클로나이트에 노출될 수 있는 공정은 이러한 고폭약류를 이용하여 고폭탄류를 제조하는 공정을 들 수 있다. 현재 국내의 경우 컴포지션 A계열과 B계열의 폭약류를 사용하여 고폭탄류를 제조하고

있는 것으로 파악되었다.

컴포지션 B계열을 이용한 고폭탄류 제조는 컴포지션을 용융시켜 탄체에 주입하여 폭탄을 제조하는 공정을 갖고 있는데, 근로자 노출이 발생 할 가능성 있는 공정은 용융기에 원료물질 주입공정, 그리고 탄체에 용융된 원료물질을 주입하는 공정, 그리고 신관 등을 탄체에 조립하는 공정이었다.

컴포지션 A계열의 폭약을 이용한 폭탄제조방식은 B계열과 같이 폭약을 용융시켜 사용하는 것이 아니라 화약류에 직접 프레스를 가하여 펠렛을 만든 다음 자탄 탄체에 주입하는 방식으로 이루어지 지고 있었고, 펠렛을 만드는 공정은 무인 공정이다. 따라서 노출이 발생할 가능성이 있는 공정은 조립 공정과 검사공정으로 파악되었다.

3. 노출수준 평가결과

작업장 공기 중 유해물질의 농도는 대부분 정규분포 보다는 기하정규분포를 하는 것으로 알려져 있다(Paik et al, 1983). 이번 5개 사업장에서 측정한 시클로나이트 공기 중 농도분포를 알아보기 위해 유의수준 5%에서 Shapiro & Wilk 검정을 실시한 결과 Fig. 1에서 보는 것처럼 검출한계 미만의 값을 포함한 경우 정규 또는 대수정규분포를 하지 않았으나(p=0.021) 제외한 경우 대수정규분포를 하는 것으로 나타났다(p=0.054).

Table 3은 이번조사에서 얻은 자료를 바탕으로 시클로나이트의 공기 중 농도에 대한 농도수준에 대한 통계치이다.

이번 조사에서 채취한 총 31개 시료의 시클로나이트 산출

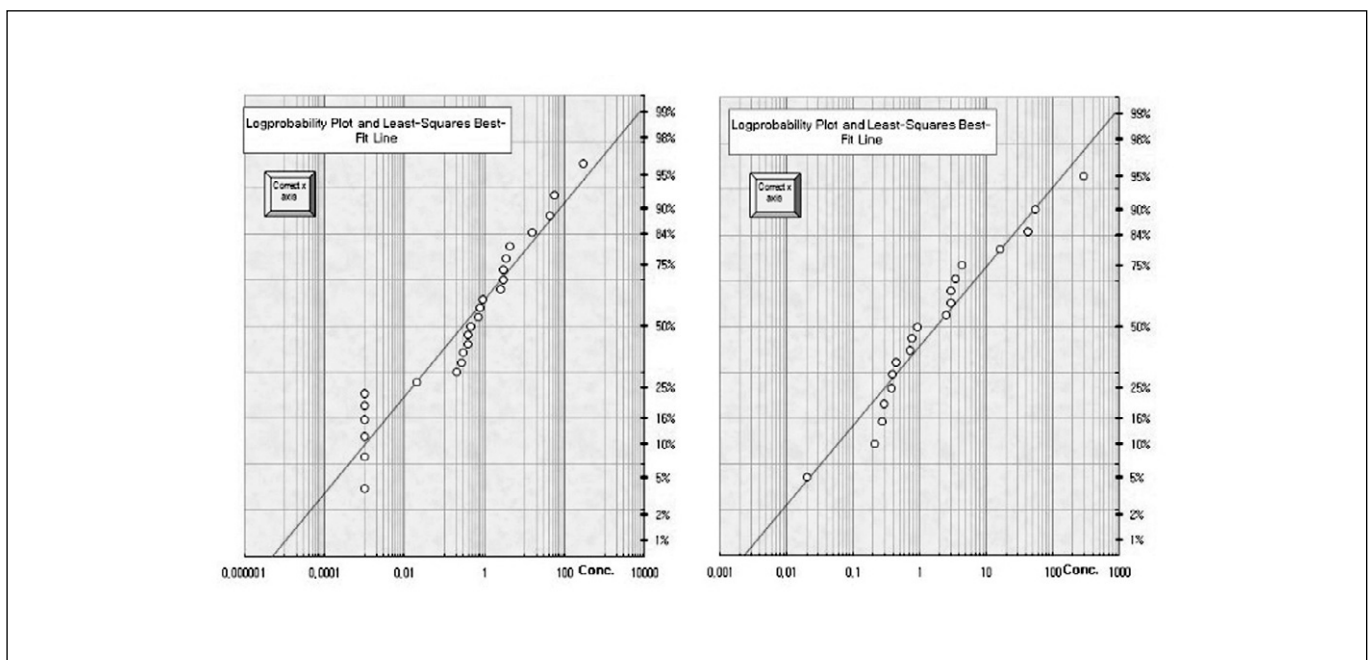


Fig. 1. Distribution of airborne cyclonite concentration.

Table 3. Statistic of airborne concentrations of cyclonite by 8 hour time-weight average

Chemical	No of samples	AM [§] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SD ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GM [¶] ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	GSD ^{**}	Range ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
A*	19(14)	4.10	12.38	0.22	12.97	ND~59.92
B [†]	12(9)	31.49	83.30	1.25	31.62	ND~291.41
Total	31(23)	15.47	53.46	0.44	20.18	ND~291.41

*: Company produced explosive compound, [†]: Company produced bombs, (): No of area samples, [§]: Arithmetic mean, ^{||}: Standard deviation, [¶]: Geometric mean, **: Geometric standard deviation, ^{††}: Not detected (LOD: 2 $\mu\text{g}/\text{sample}$).

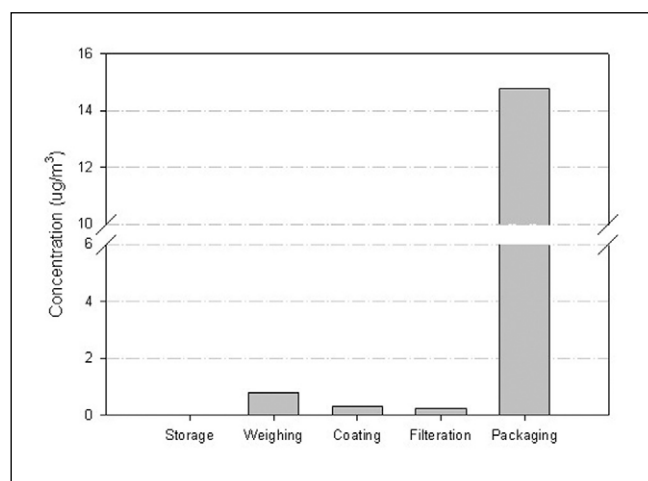


Fig. 2. Distribution of airborne cyclonite mean concentration by explosive compounds production process.

평균 농도는 15.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으나, 기하평균 농도로는 0.44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였다. 'A' 사업장은 고폭약류를 제조하는 사업장으로 산술평균 농도 값은 4.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 폭탄류를 제조하는 사업장인 'B' 사업장의 산술평균농도인 31.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비해 약 8 배 정도 낮은 농도 분포를 보였다. 폭약류제조사업장이 폭탄 제조사업장에 비해 상대적으로 공기 중 시클로나이트의 농도가 낮은 이유는 폭약류제조사업장 경우 포장공정을 제외하고는 모두 취급되는 시클로나이트가 젖은 상태를 유지하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

전체시료 31개 중 우리나라 고용노동부의 노출기준 (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)과 미국 ACGIH의 노출기준 (500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 그리고 미국 NIOSH의 노출기준 (1,500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과한 시료는 1건도 없었다(고용노동부, 2010; ACGIH, 2010; NIOSH 2005). 그러나 측정치 중 최대값은 가장 엄격한 노출기준인 우리나라와 미국 ACGIH 기준의 절반정도에 해당하는 수준이었다.

Fig. 2는 고폭약류 생산사업장의 생산공정에 따른 공기중 시클로나이트의 평균농도분포를 나타낸 것이다.

고폭약류 생산사업장에 있어서 가장 높은 농도를 나타낸 공정은 포장공정(산술평균농도: 14.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)이었으며, 다른 공

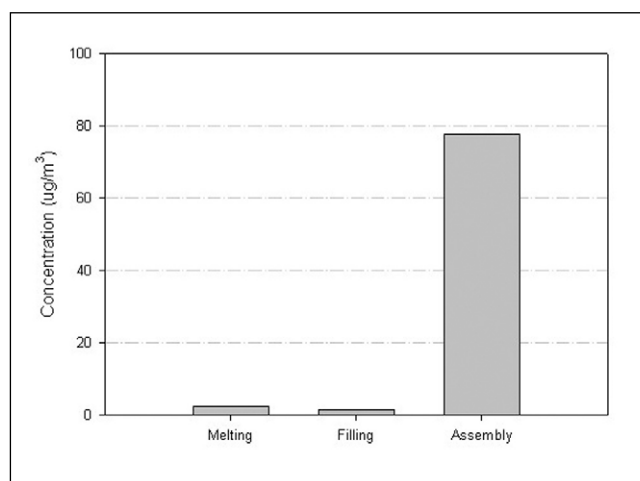


Fig. 3. Distribution of airborne cyclonite mean concentration by bomb production process.

정의 산술평균농도(원료계량: 0.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 코팅: 0.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; 여과: 0.25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 포장공정에 비해 매우 낮은 농도 수준을 보였다. 특히 고폭약류 생산을 위해 사용되는 원료물질인 시클로나이트를 보관하는 저장소에서 전혀 검출이 되지 않았다.

포장공정이 다른 공정에 비해 높은 농도분포를 보인 이유는 포장 전단계의 공정은 모두 시클로나이트가 젖은 상태로 취급되는 공정으로 공기 중으로 비산될 가능성이 낮은 공정이나 포장공정의 경우 시클로나이트가 왁스 등으로 코팅, 여과 된 후 건조실에서 완전 건조된 뒤 분말상태로 존재하는 공정이며, 또한 이 공정에서 수작업으로 제품의 포장작업을 하는 관계로 다른 공정에 비해 근로자의 노출가능성이 높은 공정이었다. 따라서 시클로나이트를 이용한 고폭약류 제조 공정에서 가장 노출저감 방안에 관심을 가져야 할 공정은 포장공정인 것으로 이번 조사 결과 나타났다.

여과공정이나 원료투입 공정에서 농도가 생각보다는 낮게 나타난 이유는 두 공정에서 물질의 취급형태가 매우 습한 상태이기 때문인 것으로 보인다. 그러나 이러한 공정에서도 호흡기를 통한 노출은 낮을지 모르지만 작업형태로 판단컨대 피부흡수가 이루어질 가능성은 충분히 있는 공정이라고

판단된다.

Fig. 3은 고폭약류를 사용하여 고폭탄을 제조하는 사업장의 각 공정 별 공기 중 시클로나이트 평균농도 분포를 나타낸 것이다.

용융, 충전 및 조립공정에 대한 측정결과, 조립공정(산술 평균농도: $77.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이 다른 2개 공정의 산술평균농도(용융: $2.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$; 충전: $1.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해 매우 높은 시클로나이트 농도분포를 보였다. 조립공정의 경우 일부시료가 노출기준($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$)의 절반수준(감시기준)을 초과한 경우도 있었다. 이는 시클로나이트가 함유된 고폭약류가 용융되어 탄체에 주입된 후 고형상태로 굳어진 다음, 신관의 주입을 위해 드릴로 탄체 상부에 구멍을 내는 작업과, 탄체외부에 묻어 있는 폭약류를 제거하는 작업공정으로 이 공정에서 입자상 형태로 시클로나이트가 공기 중으로 발생되기 때문인 것으로 보인다.

IV. 고 찰

시클로나이트에 대한 직업적 노출은 동 물질을 함유한 제제를 취급하는 작업자들이다. 이러한 작업자들의 주요 노출 경로는 시클로나이트가 주로 입자상 물질이기 때문에 작업 공정(건조된 시클로나이트 파우더를 dumping 하는 작업, 입자크기를 선별하는 체질작업, 오염된 작업장 바닥을 청소하는 작업)에 따라 먼지 형태로 작업장 공기 중으로 발생될 수 있으며, 따라서 호흡기를 통한 흡수가 주요 노출경로가 될 수 있다(Hathaway and Buck, 1977; Kaplan et al., 1965).

Bishop 등이(1988)이 군수공장에서 시클로나이트 취급 근로자의 노출수준을 평가한 결과 $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다는 보고와, Hathaway와 Buck (1977)가 조사한 자료에 따르면 시클로나이트 취급근로자의 8시간 시간가중평균 노출수준이 평균 $280 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (최대 노출농도: $1570 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이었다고 보고하고 있다.

이번 조사결과와 해외에서 보고되었던 시클로나이트 공기중 농도수준을 비교해보면 국내가 해외보다는 낮은 수준임을 알 수 있다. 이는 조사시점의 차이, 즉 국내의 경우 최근에 측정된 결과로, 공정에서 사용되는 기기 및 설비의 수준이나 작업방법의 개선으로 인한 결과가 아닌가 판단된다.

영국에서 발표된 시클로나이트를 포함한 화약류 제조업체에서 이들 물질의 노출과 조혈기계질환간의 관련성을 연구한 환자-대조군 연구에 의하면 비록 조혈기계 질환자 사례수가 적어 통계적인 유의성은 없었으나 교차비(odds ratio)는 3.8로 매우 높았다고 보고하면서 이들 업종에 대한 작업환경 관리에 관심을 가져야 한다고 주장하고 있다(West and Stafford, 1997).

시클로나이트에 대한 또 다른 노출경로로 피부 흡수를 들 수 있다. 시클로나이트를 취급하는 작업자 경우 대부분 수작업으로 이루어지는 공정이 많고 따라서 적당한 보호구를 착용하지 않고 작업 시 피부를 통한 흡수도 충분히 가능하다(Kaplan et al., 1965). 이번 현장조사에 있어서도 건조된 고폭약류를 포장하는 공정의 경우 취급물질이 건조된 분말상이고 또한 피부흡수가 용이한 물질임에도 불구하고 보호장갑 등 특별한 개인보호구 착용없이 수작업으로 이루어지고 있었다. 따라서 공기중의 농도가 비록 높지 않다고 할지라도 피부를 통한 시클로나이트의 인체흡수를 고려하면 근로자들의 시클로나이트 노출로 인한 건강장해를 완전히 배제하기는 어렵다고 판단된다. 또한 이번 폭탄제조 사업장에서 측정된 최고농도가 현행 시클로나이트의 노출기준의 절반을 초과하였다는 점은 향후 노출기준을 초과할 가능성이 충분이 있다는 것을 의미하므로 노출수준관리에 대한 지속적인 관리 필요성은 있다고 하겠다.

V. 결 론

국내에서는 지금까지 보고된 적이 없는 고폭약 및 폭탄 제조사업장의 시클로나이트 취급근로자 들을 대상으로 실시한 시클로나이트의 작업시 노출수준에 대한 주요 평가결과는 다음과 같다.

1. 고폭약류를 제조하는 사업장이 폭탄을 제조하는 사업장에 비해 공기중 시클로나이트의 농도가 낮았다. 고폭약류 제조사업장의 공기중 시클로나이트의 산술평균농도는 $4.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하평균농도: $0.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 농도범위는 ND - $59.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 폭탄을 제조하는 사업자의 경우 산술평균농도는 $31.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (기하평균농도: $1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 농도범위는 ND - $291.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다.

2. 고폭약류 제조사업장 경우 포장공정이 다른 공정에 비해 공기중 시클로나이트의 농도가 높았으며, 폭탄제조사업장 경우 조립공정이 충전이나 용융공정에 비해 높게 나타났다.

3. 폭탄제조사업장에서 측정된 최고농도가 현행 시클로나이트의 노출기준의 절반을 초과하였다는 점은 향후 노출기준을 초과할 가능성이 충분이 있다는 것을 의미하므로 노출수준 관리에 대한 지속적인 관리 필요성이 있으며, 시클로나이트의 경우 호흡기를 통한 노출뿐 아니라 피부를 통해 노출된다는 점을 고려하면 포장공정과 같은 경우 피부흡수를 방지할 수 있는 보호장갑 등의 개인보호구 착용에도 특별한 관심을 기울여야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- 고용노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준(고시 제 2010-44호); 2010.
- 기술시험연구회. 화약류 관리/제조. 원화; 2006.
- 환경부. 전국화학물질 유통량 조사(2002) 결과. 환경부; 2004.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Documentation of Thresholds limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indeces, 7th edition. Cincinnati: ACGIH; 2001.
- ACGIH. TLVs and BEIs based on the documentation fo the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. Cincinnati: ACGIH; 2010.
- Army. Database assessment of pollution control in the military explosives and propellants production industry. Aberdeen Proving Ground, MD: US. Army Toxic and Hazardous Material Agency. Report no. AMX-TH-TE-85037; 1986.
- Budavari S, O'Neil MJ, Smith A, et. al. The merk index: an encyclopedia of chemical, drugs, and biologicals. Eleventh edition. NJ: Merk&Co., Inc; 1989.
- Bingham E, Cohrssen B, Powell CH. Patty's toxicology, 5th ed. New York: John Wileyand Sons Inc.;2001.p.614
- Hathaway JA, Buck CR. Absence of health hazards associated with RDX manufacture and use. J Occup Med 1977;19:269-272
- Kaplan AS, Bergought CF, Peczenik A. Human intoxication from RDX. Arch Environ Health 1965;10:877-883
- Ketel WB, Hughes JR. Toxic encephalopathy with seizures secondary to ingestion of an explosive material composition C-4: A clinical and electroencephalographic study. Neurology 1972;22:871-876
- Knepshield JH, Stone WJ. Toxic effects following ingestion of C-4 plastic explosive. In: Drug abuse: Current concepts and research. Springfield, IL: Charles C. Thomas; 1972.
- Hollander AI, Colbach EM. Composition C-4 induced seizures: A report of five cases. Military Medicine 1969;134:1529-1530.
- US National Library Medicine(NLM). Hazardous substance data bank.[cited 2011 March 11]. Available from: URL:http://www.http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/htmlgen?HSDB
- Merrill SL. Ingestion of an explosive material, composition C-4: A report of two cases. U.S. ARV Med Bull 1968;35(1):1.
- National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH). Pocket guide to chemical hazards and other databases [DHHS(NIOSH) Pub. No 2005 -149]. Cincinnati, Ohio; NIOSH: 2005.
- OSHA. OSHA sampling and analytical method PV2135, Cyclonite(RDX).[cited 2010 December 11]. Available from http://www.osha.gov/dts/sltc /methods /partial /pv2135/pv2135.html.
- Paik NW, Walcott RJ, Brogan PA. Worker exposure to asbestos during removal of sprayed material and renovation activity in building containing sprayed material. Am Ind Hyg Assoc J 1983;44(6):428-432.
- Stone WJ, Paletta TL, Heiman EM et al.. Toxic effects following ingestion of C-4 plastic explosive. Arch Intern Med 1969;124:726-730.
- West RR, Stafford DA. Occupational exposures and haematological abnormalities among ordance factory workers: a case control study. Leukemia Research 1997;21(7):675-680.
- Wikipedia. Nippoo/Chemistry.[cited 2010 December 9]. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/user: nippoo /chemistry.
- Woody RC, Keams GL, Brewster MA et al. The neurotoxicity of cyclotrimethylene -trinitramine (RDX) in a child: A clinical and pharmacokinetic evaluation. Clin Toxic 1986;24:305-319.