

## 가스계 소화약제의 안전성

가스계 소화약제의 위험성과 안전성에 대한 호주의 Orion Safety Industrial 사(<http://orionsafety.com.au>)에서 제공하는 기술자료를 번역, 요약·정리한 내용을 소개

소화설비에 주로 사용하는 가스계 소화약제로는 이산화탄소, 할론 1301과 할론 1211(BCF) 등이 있으며, 할론가스의 대기 방출이 지구의 오존층을 파괴하는 것이 밝혀져 몬트리얼 의정서에 의해 국제적으로 생산 및 사용이 제한됨에 따라 할론 소화약제를 대체할 수 있는 새로운 소화약제가 개발되었거나, 개발 중에 있다.

가스계 소화약제는 사람의 흡입이 용이하기 때문에 소화약제가 사용된 장소에서 사람을 가스 노출로부터 보호하는 것은 매우 어려운 일이므로, 가스계 소화약제와 관련된 위험성을 잘 이해할 필요가 있다.

우리가 고려하여야 할 4가지 주요 위험 요소는 다음과 같다.

- 1) 심한 독성(Acute Toxicity)
- 2) 심장 감수성(Cardiac Sensitization )
- 3) 분해 부산물(Breakdown Products)
- 4) 산소 감소(Oxygen Depletion)

### 독 성 (Toxicity)

심한독성(보통 독성으로 표현)은 ALC (Approximate Lethal Concentration : 근

【표 1】 소화약제의 LC<sub>50</sub> 수치

가스 종류	LC <sub>50</sub>	시험 동물	시 간
이산화탄소	9-8 %	사람 ?	5분
Ha lo n 1301	80 %	쥐	4시간
Ha lo n 1211	24 %	쥐	15분
Ha lo n 2402	5.5 %	쥐	15분
FM 200	80 %	쥐	4시간
FE 13	65 %	쥐	4시간
Triodide	27.4 %	쥐	15분
NAFS 3	64 %	쥐	4시간

사치사농도)와 LC<sub>50</sub> 2가지 방법을 이용하여 측정한다.

ALC는 치명적인 결과가 발생하기 시작할 수 있는 수준의 측정값을 의미하고, LC<sub>50</sub>은 시험용 동물의(시험에서 규정된 시간동안) 50%가 치사하는 농도로 결정된다.

만약 가스계 소화약제가 위에서 언급된 ALC 보다 높은 농도로 사용된다면 시스템의 작동으로 인해 사람이 부상당하거나 사망할 위험성은 상당히 증가된다.

이것은 사람이 사망할 수 있는 농도의 직접적인 평가기준이 되므로, 독성(toxicity)은 우리가 고려할 첫 번째 위험 요소가 된다.

그림 1은 표준소화농도를 LC<sub>50</sub>으로 나눈 비율을 표시하고 있으며, 각 소화약제에 대한 비교값이 1이상일 때, 그 소화약제는 사람에게 심각한 위험을 줄 수 있다는 것을 의미한다.

그림 1에서 알 수 있듯이 2개의 가스계 소화약제만이 사람에게 독성을 줄 수 있는 농도로 사용되었다.

### 심장 민감성(Cardiac Sensitization)

심장 민감성(Cardiac sensitization)은 할로겐화 소화약제가 관련되는 위험성 문제이다. 일부 화학물질이 혈액 안으로 유입되면, 심장은 아드레날린에 민감한 반응을 보이게 되고, 아드레날린은 심장박동(heart rate)을 증가시킨다.

공포나 심한 작업으로 인하여 아드레날린이 더욱더 증가되면, 심장은 더 심한 자극을 받게 된다. 이 같은 과도한 자극이 심장마비를 유발시킬 수 있다.

대다수 사람들은 평상시에는 심장 민감 인자에 의한 영향을 받지 않을 수 있지만, 긴급한 상황에서는 영향을 받을 수도 있다.

할로겐화 가스의 심장 민감도 영향은 NOAEL(no observed adverse effect level)과 LOAEL(lowest observed adverse effect level)로 표시된다.

- ▶ NOAEL(no observed adverse effect level) : 심장에 독성이 미치지

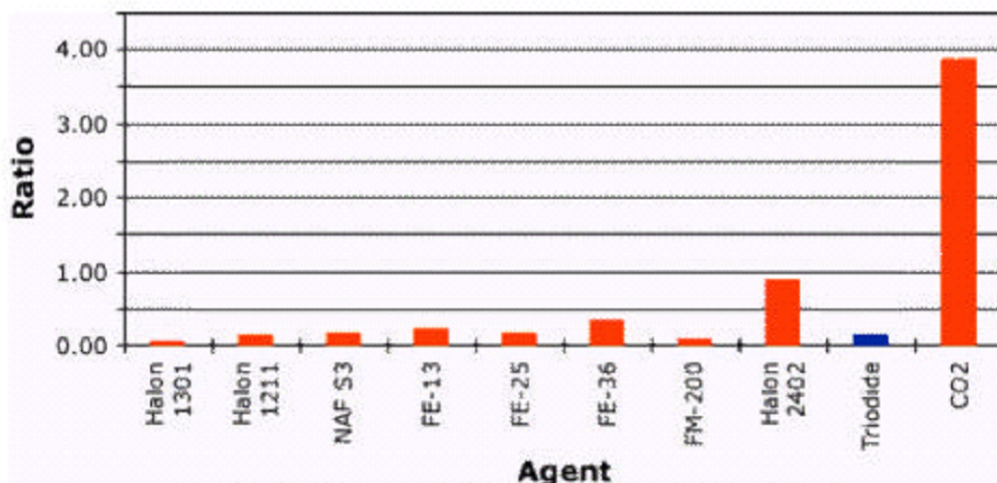


그림 1 독성비교(설계농도에 대한 LC50 비율)

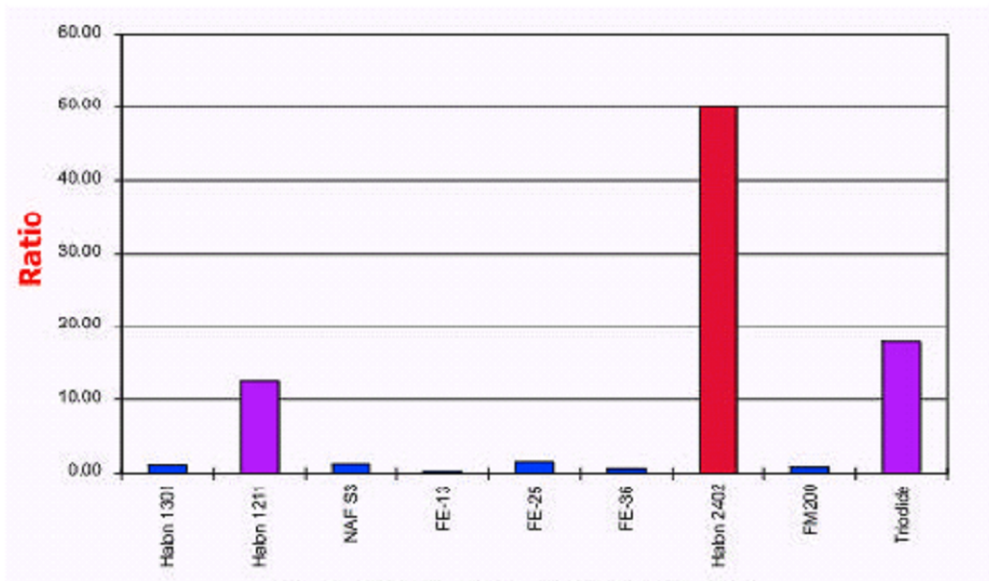


그림 2 설계농도에 대한 NOEL 비율

지 않는 최대농도

- ▶ LOAEL (lowest observed adverse effect level) : 심장에 독성이 미치는 최저농도

그림 2는 일반적으로 사용하는 할로겐화 화재진압가스의 설계농도를 NOEL 수치로 나눈 비율을 표시한 것이다.

그림에서 보면, 3가지 가스가 NOEL 값보다 수 배 이상의 매우 높은 값을 나타내고 있으나, NOEL(또는 LOAEL)이 매우 높다는 것은 LC<sub>50</sub>의 높은 것과 같은 의미는 아니다.

LC<sub>50</sub>과는 다르게, NOEL 이나 LOAEL과 사람의 위험성과는 직접적인 관계가 없으며, LOAEL 값을 초과하는 가스 농도에 의한 노출이 바로 사망이나 부상자가 발생된다는 것을 의미하지는 않지만, 최악의 환경 조건 하에서는 틀림없이 좋지 않은 결과가 발생할 가능성이 있다.

#### 분해 생성물(Decomposition Products)

분해생성물도 할로겐화 소화가스의 위험 요소이다. 분해생성물의 종류와 발생량은 소화가스를 형성하는 화학물질에 따라 좌우된다.

화재를 화학적인 반응에서 소화하는 할로겐화 물질은 물리적인 방법(냉각)에 의해 소화하는 다른 물질보다는 낮은 수치의 분해생성물을 발생시킨다.

그림 3은 가스계 소화약제들에 대한 분해생성물의 발생량을 표시한 것이다.

할론 1211, 할론 1301과 Triodide는 모두 기본적으로 연소과정의 화학반응을 억제하여 화재를 소화하며 그 결과 효과적으로 화재를 소화하고 낮은 분해생성물이 발생하게 된다.

분해생성물의 농도는 단지, 다른 화학물질에 의해 발생된 수치의 상대적인 지표라는 것을 유의할 필요가 있으며, 실제적인

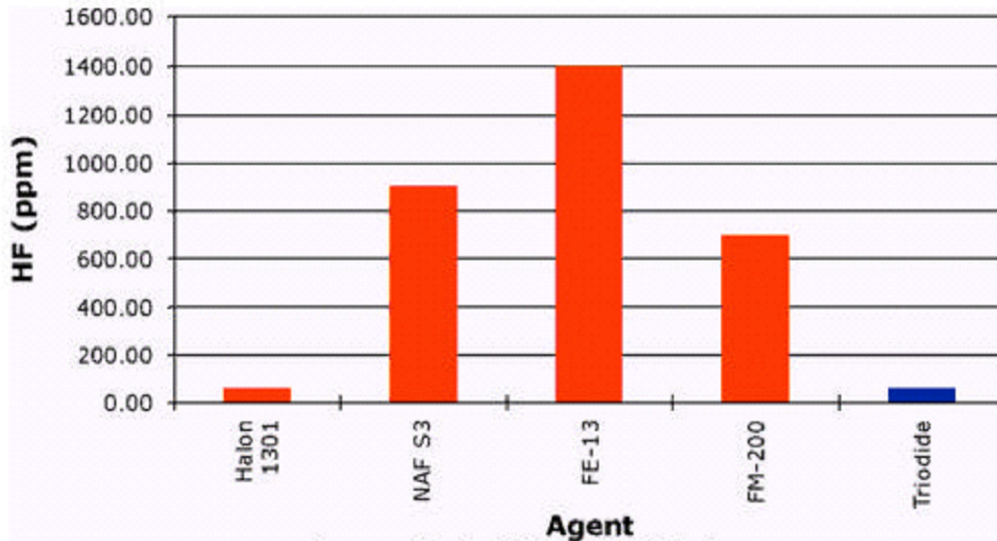


그림 3 : 소화약제의 분해생성물 비교

농도는 실 체적에 따른 화재크기에 따라 달라 질 수 있다.

즉, 작은 실내에서 커다란 화재가 발생했을 때 분해생성물의 발생량은 더욱더 증가될 것이다.

분해생성물은 매우 높은 독성을 가질 수 있으므로 분해생성물의 위험성에 대한 세심한 주의가 필요하다. 표 2는 일반적인 분해생성물의 LC<sub>50</sub> 수치를 표시하고 있다.

표의 분해생성물들은 이산화탄소나 그 외 다른 소화용 가스보다도 매우 낮은 LC<sub>50</sub> 수치를 나타내고 있다.

### 산소 감소(Oxygen Depletion)

산소농도의 감소가 불활성가스의 대표적인 위험이다.

공기중의 보통 산소농도는 20%이며, 산소농도가 9% 이하로 감소되면, 일정시간 동안 사람이 생존할 수 있는 산소량이 부족한 상태가 된다.

불활성가스 시스템은 일반적으로 약 10.5%의 산소농도를 유지하도록 설계되나, 경우에 따라서는 더 낮은 산소농도로 설계되는 경우도 있다.

【표 2】 분해생성물의 LC<sub>50</sub> 수치값

가스 종류	LC <sub>50</sub>	시험 동물	시 간
phosgene	0.034%	쥐	30분
Hydrogen Chloride	0.3%	쥐	1시간
Hydrogen Chloride	0.12%	쥐	1시간
Carbon Dioxide	9-18%	사람 ?	5분

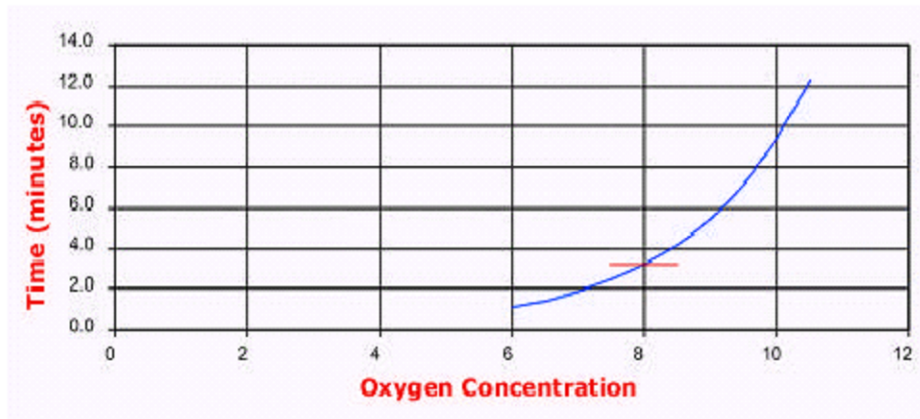


그림 4 : 저 산소농도 하에서 무의식 상태가 되는 시간

산소감소의 효과는 천천히 발생되며, 8% 이하의 산소농도에서도 사람이 의식을 잃게 되는 시간은 수분이 걸릴 수 있다.

그림 4는 산소농도에서 무의식 상태가 되는 시간을 설명하고 있으며 이것은 David Purse의 연구논문을 인용하였다.(분해생성물의 독성 평가 : SFPE Handbook of Fire Protection Engineering)

#### 위험성 평가(Risk Assessment)

화재소화용 가스의 위험요소 측면에서, 우리는 위험요소들에 대해 다양한 측정방법을 제시하고 있다.

LC<sub>50</sub>은 가스의 독성측정방법으로 가장 널리 사용하고 있으며, 이 농도는 가스의 치사위험을 직접적으로 관련시켜 설명할 수 있다.

우리는 어떻게 해서 빈번한 노출사고가 발생하는가를 알아야 하며, 독성위험은 가스나 그것이 발생시킬 수 있는 분해생성물 모두에 적용하여야 한다.

심장민감도(cardiac sensitization)의 경

우, 우리는 다양한 가스에 대한 NOAEL과 LOAEL 값을 가지고 있으나, 이 같은 수치를 사람이 노출의 결과로 사망할 수 있는 위험과 연관시키는 것은 쉬운 일은 아니다.

위험의 정도를 더욱더 잘 인식하기 위해서 우리는 가스계 소화약제의 역사를 조사할 수도 있다. 3가지의 가스(이산화탄소, 할론 1211 및 할론 1301)가 오랫동안 사용하여 왔으므로, 그것에 의한 자료들이 새로운 가스에 대한 위험의 지표로 제공될 수도 있다.

#### 이산화탄소(Carbon Dioxide)

이산화탄소는 모든 시스템에서 LC<sub>50</sub>이나 치사농도(lethal concentration)를 훨씬 초과하여 사용되고 있으므로, 장시간 계속되는 경우에는 우발적인 노출이 치명적이 될 수 있고, 최저 표준설계농도인 30%에서 5분 이상 노출은 대부분 치명적인 결과를 초래할 수 있다.

이산화탄소 소화기로 인한 사망사고는 알려지지 않는 않지만, 지난 25년 동안 140

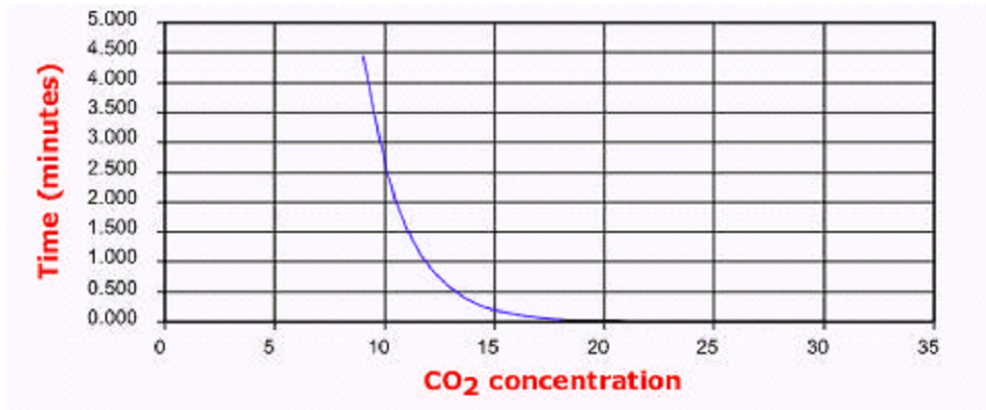


그림 5 : 이산화탄소에 의해 무의식상태가 되는 시간

건 이상의 전역방출방식에 의한 사고가 Stephanie Skaggs 박사에 의해 확인되었고, 이들 사망사고의 대부분(65%)이 선박에서 발생되었다. 이 같은 자료는 많은 나라로부터 수집되었으며, 140명의 사망자는 5분 이상 지속된 우발적인 노출의 사고를 평가한 자료에 의한 것이다.

아주 짧은 노출시간은 치명적인 사고가 되지 않을 지는 몰라도, 뇌에 산소공급을 감소시키는 결과로 인한 뇌 손상을 유발할 수 있다.

이 같은 사고를 방지하기 위해서 사람들은 가스가 방출된 후 약 2~3분 이내에 대피를 하여야 한다.

이산화탄소는 30%이상의 농도에서 치명적일 뿐 아니라 사람이 매우 빠르게 무의식 상태가 되므로(20~30초 이후), 신속한 피난을 실시하는 것이 매우 중요하다.

Purser의 연구에 의하면, 그림 5는 각각의 이산화탄소 농도에서 무의식 상태가 되는 시간을 나타내고 있으나, 그림에서는 높은 농도에서 무의식 상태에 이르는 시간이 실제보다 낮게 표시되고 있다.

30% 이산화탄소농도에서 실시한 다른 인간시험 결과는 20~30초가 무의식 상태

로 되는 시간으로 발표하였다.

상기의 그림에서 암시하듯이 이산화탄소 시스템에 의해 방호된 실로부터의 피난이 매우 중요하다.

Skaggs에 의해 확인된 140명 사망자 중 65% 이상이 선박에서 발생했고, 이것은 선박내 기계실 공간 등의 어려운 피난조건이 선박에서의 사상자가 상대적으로 높은 숫자로 나타나는 요인인 것으로 판단된다.

### 할론(Halon)

할론 1211의 심장민감특성(the cardiac sensitizing nature)이 확인될 때까지는 할론 1211은 휴대용 소화기로 넓게 사용되었고 또한 승무원이 탑승한 지역 내에 전역 방출방식으로도 사용되었다.

Fremantle급 페트롤 보트에는 모든 제어실과 기계실 공간에 할론 1211이 설치되었다.

이와 같은 동급 배의 운행 중 치명적인 사상자를 발생시키지 않은 할론 1211의 5% 또는 그 이상의 농도에 사람이 노출된 약 60~90의 비화재 방출이 있었다는 것을 추측할 수 있다.

이러한 상황이 사람이 상주하는 지역에 할론 1211이 설치된 장소에서 반복되었을 것이다. 이 같이 사람의 노출이 있었음에도 불구하고 사망자가 발생했다는 보고는 없었다. 이것으로 우리는 할론 1211의 심장민감특성은 주요한 안전성 위험을 대표하지 않는다는 추측을 할 수 있다.

할론 1211는 소화기로 폭 넓게 사용되고 있다. 소화기 사용자 중 3명의 사상자가 발생된 것으로 알려졌다.(흡입에 의해 발생한 경우 이외에)

한 명은 이스라엘에서 다른 두 명은 영국에서 발생한 3명의 희생자 모두 군용 수송기에서 발생했고, 3명의 희생자는 수송기 내에서의 화재를 BCF 소화기로 소화한 후 발생하였다.

또한 군용 수송기와 관련하여 오스트레일리아에서도 사건이 발생되었으나 사망원인은 알려지지 않았다.

노출과 관련된 화재와 비화재로부터의 다른 결과는 할론 1211의 주요 위험은 분해생성물이지만 심장민감성(cardiac sensitization)이 아니라는 것을 암시하고 있다.

가장 위험한 분해생성물은 포스겐이며, 이것은 할론 1211과 새로운 HCFC 소화제(NAF 와 FE-241)와 같은 염소함유 소화약제로부터 발생된다.

군용 수송기와 같이 매우 제한된 공간에서 화재발생시 할론 1211소화기를 사용하는 것은 상대적으로 이들 열분해물질의 농도가 커지는 결과를 발생시킬 수 있다.

## 결론(Conclusions)

소화가스의 설계농도가 LC<sub>50</sub>을 초과하거나, 화재 진화 후 LC<sub>50</sub>을 초과하게 되면

독성 생성물 때문에 소화용 가스의 사용은 사람에게 큰 위험을 가져올 수 있다.

이산화탄소가 모든 소화약제 중 가장 나쁜 안전기록을 가지고 있으므로, 특히 선박에 적용하는 경우 이산화탄소의 사용을 제한할 수 있는 규제가 필요하다.

이산화탄소 시스템을 설계하는 경우, 피난방법과 피난시간에 대한 검토가 필요하고, 희생자를 줄이기 위해서 유지보수 중에 우발적인 시스템 방출이 발생하지 않도록 세심한 주의가 요구된다.

피난이 어려운 지역에서는 이산화탄소의 사용과 관련하여 지속적인 훈련과 규제가 병행되어야 만이 소화약제가 더욱더 안전하게 사용될 수 있다.

새로운 소화가스가 HF와 그 외의 재합성물(recomposition products)을 할론 1211로부터 발생한 분해가스량 보다 6~10배를 발생시킬 수도 있다. 우리는 이 같은 높은 분해물에 대한 경험이 없지만 3명의 사상자를 유발시킨 할론 1211의 분해생성물의 정도를 알고 있다면, 새로운 소화약제에 의한 위험도 실체화 할 수 있을 것이다.

제한된 공간 내에서 소화기를 사용하거나 큰 화재가 발생할 수 있는 공간 내 전역방출방식의 적용은 HCFC와 HFC 약제로 인하여 높은 위험지역이 될 수도 있다.

## 참고문헌

1. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Toxicity Assessment of Decomposition Products, David A Purser.
2. Dr Stephanie Skaggs, "Examining the Risks of Carbon Dioxide as a Fire Suppressant". NMERI Conference, 1998.
3. MSDS Halon 2402, Great Lakes

Chemicals Corp.

4. A Chattaway, J Grigg, D Spring, Kidde International UK, "Halon Replacement Decomposition Product Studies", HOTWC May 1996.
5. F M MacDonald, E Simonson, "Human Electrocardiogram During and After Inhalation of Thirty Percent Carbon Dioxide", J.Appl.Physiol., Vol 6, 1953, 304-310

- ▶ ODP(Ozone Depletion potential) : 어떤물질 1kg이 파괴하는 오존량/CFC-11 1kg이 파괴하는 오존량
- ▶ ALT (Atmospheric lifetime) : 대기권 잔존지수 ☹

— 정리: 위험조사부 차장대우 신병철

#### ☞ 가스계 소화약제의 안전성 평가 용어 정의

- ▶ NOAEL(NO Observable Adverse Effect Level) : 심장에 독성이 미치지 않는 농도<제품의 시험 중 어떤 목적에 관해 어떤 농도에서 전혀 해로운 효과가 나타나지 않는 적절한 안전농도 : NFPA 2001 기준은 작업자들이 항상 빠른 시간 내에 탈출할 수 없다는 것을 깨닫고 NOAEL을 상주공간 내의 최대 사용농도로 인정한다.>
- ▶ LOAEL(Lowest Observable Adverse Effect Level) : 심장에 독성이 미치는 최저농도<제품의 시험작업 중 어떤 목적에 관해 해로운 효과가 증명된 농도로 US EPA는 상주자가 빠른 시간 내에 밖으로 탈출할 수 있다면 상주공간에서는 LOAEL 농도 내에서 사용 할 수 있도록 추천한다.>
- ▶ LC<sub>50</sub> : 동물의 반이 사망하는 농도
- ▶ LC<sub>100</sub>: 모든 동물이 사망하는 최소농도
- ▶ ALC(Approximate Lethal Concentration) : 사망에 이르게 할 수 있는 최소농도
- ▶ GWP(Glabe Warming Potential) : 물질 1kg이 기여하는 온난화 정도/CFC-11 1kg이 기여하는 온난화 정도