



農業에서 放出되는

# Methyl Bromide의 환경영향 경감방법

기술부

**M**ethyl Bromide는 Le Gouplil(1932)에 의해 실충활성을 지니고 있다는 사실이 보고된 이후 식물검역용과 후에 창고, 제분소, 배, 철도화물열차 등의 훈증소독에 널리 사용되게 되었으며 1940년 미국에서 토양훈증제로서 유효하다는 사실이 밝혀져 현재 널리 사용되고 있다. 유해생물에 대한 MB의 작용성은 타약제와 비교하여 효과가 탁월하지는 않다. 그러나 바이러스, 박테리아, 곰팡이, 선충, 해충, 잡초 등의 생물에는 효과가 있으며 특히 바이러스에 대한 효과가 있는 것은 이 약제외에는 없다.

또한 생물의 전 발육과정에 효과가 있으며 작용기작의 특성상 저항성과 내성이 생길 가능성이 없다. MB의 증기압( $1.9 \times 10^6 \text{ Pa}$ ,  $20^\circ\text{C}$ )이 높아 저온(지온은  $5^\circ\text{C}$  이상)에서도 훈증이 가능하다. 현재는 이러한 조건을 만족시킬수 있는 MB의 대체약제나 방제기술은 없다. 그런데 성층권의 오존층 파괴에 대하여 Brom은 염소의 50배이상 파괴능력

을 갖고 있으며 Brom의 공급원이 MB라는 사실이 밝혀졌다. MB는 현재 2015년의 완전폐지를 위하여 사용이 규제되고 있다. 1992년 MB의 소비량은 세계적으로 7만5천톤으로써 일본이 9천4백톤이었고 1993년 1994년은 1만톤을 넘었으나 1995년에는 8천7백톤까지 감소했다. 용도는 토양 훈증제가 세계에서 76%를 점하며 일본에서도 66%로 가장 많았다. MB의 규제현황과 배경 및 현재 진행되고 있는 토양 훈증으로부터의 MB 방출억제 기술개발의 개요를 소개한다.

## MB의 규제현황

MB는 1992년 제4회 Montreal 의정서협정국 회의에서 오존층 파괴물질로 규제대상물질이 되었다. 또한 1996년 사용규제조치가 결정되어 선진국은 1991년을 기준으로 2001년부터 25% 삭감, 2005년부터 50% 삭감, 2010년은 100% 삭감 즉 완전폐지토록 되었다.

그러나 최근('97. 9. 15 ~ 9. 17) 캐나다 몬트리올 회의에서 선진국은 MB를 2005년까지 완전폐지하고 2001년에는 '91년 기준 50%를 삭감하며 개발도상국은 2015년까지 완전폐지기로 합의했다. 단 불가피한 농업분야에 대한 사용제한 제외 여부는 아직 결정되지 않았다.

## MB의 최근 동향

현재 대기중의 MB는 평균으로 북반구는 약 11pptv( $\times 10^{-12}$ , 체적비), 남반구는 9pptv의 농도로 존재한다. 이 농도차는 양반구의 방출원과 Sink(흡수, 분해선)의 크기와 대기중에서의 수명에 기인하고 있다. MB에는 인위적기원과 자연적기원이 있으며 이들 방출량의 정확한 평가가 곤란하여 불확실성이 크게 잔존하고 있다. 사용량이 가장 큰 토양소독에서의 방출량 평가는 전체사용량 5만7천톤중 가장 확실한 값이 3만2천톤(16.7~47.3)으로 예상하고 있다.

기타 방출원으로는 해양이 6만톤(26~100)으로 가장 많고 화전과 사반나의 화재등 Biomass 연소가 2만톤(10~50), 휘발유가 1만5천톤(0.5~22)이다. 저장원(Sink)로서는 대기, 해양, 토양이 있으며 전체 18만톤(132~232)으로 추산되고 있다. 또한 대기중 MB농도의 증감경향을 나타내는 명확한 자료는 현재 없다. 그 원인은 시료 보존기간중에 외견상의 MB농도증가가 확인되었고 그 증가정도도 시료에 따라 차이를 보이는 등 과거에 채취한 대기의 분석이 곤란하다는 점에 있다.

최근의 오존층과피계수(ODP)의 재평가에서는 MB의 ODP는 0.43이라 보고되었다. 이것은 WMO에 의한 평가치 0.6보다도 약간 적으며 대기중의 수명은 1.3년(0.8~1.7)에서 0.8년(0.6~1.4)까지 짧게 되어있다. 이상과 같이 MB의 환경동태에 대해서는 불확실한 부분이 남아있다. 그런 이유때문에 MB의 사용규제가 대기중의 농도에 어

느정도 영향을 미치느냐를 예상하기란 쉽지않다.

## MB에 의한 토양혼중

MB에 의한 토양혼중은 토양표면을 고분자 필름으로 피복하여 토양표면 혹은 토양중에 MB를 방출하여 토양중의 농도를 일정기간 유지하여 목적인 효과를 얻는 것이다. 주요 토양혼중법을 알아본다.

**Hot gas법** Polyethylene 및 폴리염화비닐 등의 고분자 필름등으로 토양표면 등을 피복하고 외부 gas통에서 도입관을 이용하여 gas상태의 MB를 피복자재 밑으로 주입하는 방법이다. 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 방법으로 특히 온실토양혼중에 적용하고 있다.

**Cold gas법** 개폐장치를 부착한 MB의 작은문을 토양표면에 설치하고 위에서 설명한 필름으로 토양표면을 피복한후 개폐장치를 열어, 액체상태의 MB를 방출하여 피복자재밑에서 기화시키는 방법이다. 많은 국가에서 일반적으로 행하고 있는 방법으로 주로 노지에서 사용되고 있다.

**하우스 전면 혼중법** 하우스 전체를 MB가 빠져나가지 못하도록 밀폐한후 분출장치를 작동시켜 MB를 분출시킨다.

**기계회 주입법** 토양중 25~30cm 깊이에 액체상태의 MB를 주입할 여러개의 노즐과 주입과 동시에 토양표면을 필름으로 피복할 기계를 장착한 트랙타로 행하는 방법이다. 대규모 포장에 적합하며 주로 미국에서 행해지고 있다.

**單木위지(site)사용법** 과수원등에서 이병주 또는 이식 부위에 전용주입 노즐을 사용하여 토양내에 MB를 사용하는 방법이다.

## MB방출 flocks 측정

토양혼중에 사용되는 MB의 대기 방출비율은 총사용량의 30~85%로 추산된다. 우리들은 토양

훈증의 대기방출량 평가에서 많은 불확실성을 해소하고 방출억제 기술개발을 위해 일본에서 널리 사용되고 있는 Cold gas법에 의한 훈증을 실시하여 MB의 방출기작을 밝혀냈다. 대기방출량 평가는 각종방법으로 이루어지고 있지만 측정결과에는 큰 차이가 있다. 주요원인을 보면 토양의 산도(pH), 유기물함량, 수분량, 처리방법에 있다고 생각되지만 연구에 의해 그것들이 주요 원인이 아님이 밝혀졌다.

지금까지의 보고에서는 피복기간중 방출속도의 1일 변동에 대하여 고려하지 않았으며 야간측정에 의한 것이 대부분이었다. 그런데 방출 flocks는 기온이나 일사량에 민감하게 반응하고 1일 변동은 10배이상이었다.

이렇게 해서 이들요인을 조합한 model에 따라 방출 flocks를 어느정도 완전히 재현하는 것이 가능했다. 이 모델을 이용하여 과거에 보고된 자료를 당시의 기상자료와 1일 변동을 고려하여 재분석한 결과 종래의 방출량 평가는 농정도 적어 종래의 평가가 과대평가 되었다는 사실을 밝히게 되었다.

## MB의 방출 억제기술

토양훈증에 의한 MB의 방출억제기술이 절실히 요구되어 짐에 따라 현재 세계적으로 몇가지 방법이 시험되고 있는바 그 문제점을 알아본다.

### Barrier性 필름을 이용하는 방법

Barrier性 필름을 이용하여 피복기간중의 누출을 억제함으로써 투약량을 줄이고 토양중에서의 분해를 촉진시켜 대기로의 방출을 억제하는 기술이다. 문제점은 투약량의 저감화(低減化)정도가 불확실하다는 것이며 다음의 이유 때문이다.

일반적으로 가스상 물질의 효과는 노출농도와 노출시간의 積(곱)에 의존한다는 Haber의 법칙이 있다. 이 노출농도와 노출시간과의 積(곱)(ct

product 또는 CTP)은 상대적 효과의 판단기준이 된다. 이 법칙에서는 실제 훈증할 때 훈증기간이 결정되면 필요한 노출농도를 계산할 수 있다는 의미가 있으며 그 예는 표1과 같다. MB의 노출농도에는 필요로 하는 한계값이 있으나 토양훈증에서는 확실치 않다. 종래의 효과시험에서는 초기 투약량 만으로 판단되었으며 훈증기간중의 토양중 농도 측정은 행해지지 않았다. 이 때문에 한계값과 CTP의 설정이 어려워 투약량을 어느수준까지 낮출수 있는지는 확실치 않다. 그 효과를 정확히 파악하기 위해 토양훈증에 대한 효과시험에서는 투약량과 정시적 농도추이를 파악할 필요가 있다.

그외에 해결해야 할 문제점으로 이용가능한 barrier성 필름의 공급제한과 고가인점 그리고 사용한 필름의 폐기 등을 들 수 있다. 각종 나이론 필름을 사용한 시험에서는 피복 7일간 투약량에 대한 대기로의 방출비율은 필름을 통해 1.4%, 처리구 주위로의 누출이 6.2%로서 총 7.6%였다. 그러나 피복자재를 제거한 후에도 계속 측정된 결과 총 33%가 대기로 방출되었다. 즉 방출을 줄이는 문제에 대해서는 피복제거후의 문제가 크다는 점을 시사하고 있다.

### 고분자 필름과 수막을 결합시킨 방법

기계화 주입법을 개량한 것으로 MB의 토양내로의 주입과 동시에 관개(4 또는 8mm 상당)를 하고 토양표면을 피복하는 것으로 초기의 많은 방출을 방지할 수 있다. 그러나 이것은 주입법에만 적용가능하며 Hot gas법 및 Cold gas법과 같이 토양표면에 MB를 사용하는 방법에는 관개후 MB가 토양중으로 확산되는 것을 방해한다.

### 깊은토양 주입법

종래의 기계화 주입법을 개량하여 깊이 68cm, 노출간격 1.68m로 깊게 주입한후 노출에 의해 파쇄된 토양표면을 roller packer로 눌러주는 것이다. 이 시험에서는 토양표면은 고분자 필름으로 피복

**표 1. MB에 대한 각종 생물의 감수성\*과 토양혼증(피복 1주간)에 필요한 토양중 평균농도**

생물종	Concentration Time Product (mg t <sup>h</sup> )	ppm(v/v)**
고등식물(종자제외), 응애류	200~600	300~890
곤충류	50~200	75~300
선충류	600~1,000	890~1,500
균류, 박테리아, 바이러스	2,500~4,000	3,700~6,000

\* : MAFF/PSD Advisory Committee on Pesticides, (1992) Evaluation of Fully Approved or Provisionally Approved Products : Evaluation of Methyl Bromide.

\*\* : 피복 7일간(168시간), 지온 15℃ 경우 필요한 평균토양중 Methyl Bromide 농도(체적혼합비)

하지 않는다. 대기로의 방출량은 1.9~4.9%로 적으며 충분한 억제효과가 있다. 그러나 혼증개시 28시간후에 토양 25cm 깊이에서의 MB농도는 측정장소에 따라 10배를 넘는 경우가 있다. 토양표면을 피복하지 않기 때문에 보다 낮은 층에서 필요한 농도가 유지되는가에 대한 정보는 없다.

#### 미생물 분해에 의한 방법

황산암모늄과 석회를 시비해서 초산세균을 활성화하고 이 초산세균에 의해 MB를 산화 분해토록 하는 방법이다. 석회처리로 토양 pH를 5.6~7.7이 되도록 하는데 이것도 MB의 분해가 촉진되게 한 한가지 요인일 것이다. 그러나 석회와 같은 알칼리성 비료를 시용 또는 다습토양에서의 혼증은 약해를 일으킬 가능성이 있으며 시용후 1개월 정도 기간을 둘 필요가 있다. 특히 셀러리, 카네이션 등이 약해를 받기 쉽다. 이 방출억제 기술에 대해서는 신중한 검토가 필요하다.

#### 투약시기의 선택

이것은 간단히 실행할 수 있는 방출억제기술로 제안하고 싶다. 앞서 설명한 바와같이 피복필름을 통한 MB의 방출은 일사량과 기온에 의존하고 있다. 그래서 저녁이나 흐린날에 투약을 하였으며 종래의 피복재료를 사용한 경우에도 초기의 많은 방출을 억제할 수 있다. 이 때문에 토양내로의 확산을 촉진하고 맑은날 주간에 투약한 경우보다 전

반적으로 수십%정도의 방출억제가 가능했다. 이것은 새로운 투자를 하지 않고도 방출을 억제할 수 있는 방법이며 바로 실행해도 괜찮다.

토양혼증을 하고 있는 현장에서서는 노력경감을 위해 피복자재 주변을 충분히 묻어주지 않고 수도관 등을 대신 사용하는 경우가 있는데 이것은 피복자재 주변에

서 많은 누출이 있으며 과잉투약으로 이어진다.

하우스 전면 혼증에 대해서도 생력화 측면에서 매력적이지만 다른 혼증방법으로 대체하여 투약량을 억제할 필요가 있다.

또한 Cold gas법 등에서는 토양표면에 직접 피복할 경우 좌우로의 가스확산이 방지되기 때문에 주변에 효과가 고르게 나타나지 않아 과잉투약을 하게 하는 원인이 된다. 피복자재와 토양표면 사이에 공간을 뒀으로써 효과증진과 투약량 억제가 가능하다. 혼증기간은 여름 3일, 겨울은 3~10일이 최적이나 가능하면 여름 혼증은 피하고 혼증기간을 늘리는 것이 바람직하다.

#### 결론

토양병해 방제는 약제에만 의존하지 말고 종합적인 병해충 방제에 따라해야 한다. 각종 시험이 수행되고 있지만 아직까지 MB를 대체할만한 약제와 방제기술은 없다. 혼증제는 그 물리화학적 성질에서 보면 농약중에서도 특이한 것이다. 혼증제의 환경동태는 현재까지 대부분 연구되어 있지 않으며 당연히 자료도 축적되어 있지 않다. 현재 수행되고 있는 연구를 기회로 MB의 환경동태를 명확히 파악하고 환경부하가 적은 시용기술을 개발하는 것이 다른 혼증제의 환경동태 파악과 사용기술 개선에 도움이 될 것으로 본다. **농약정보**