

유기용제 세척제 고찰

C-클리너 대표 한상국(skhan08@hanmail.net 010-8775-1300)

1. 전 세계적으로 **1-브로모프로판(브롬계/1-BP)**, **트랜스-1,2-디클로로에틸렌(염소계/TDCE)**가 TCE 대체세정제의 주성분입니다. 인체.환경에 유해성이 약하면서 공비화합물(Azeotropy)을 형성할 수 있기 때문입니다. 이들 원액을 어떻게 가공하여 ①부식(녹) ②인화성 ③백색금속반응을 방지하며, ④세척력 ⑤재생력(Life Cycle)을 얼마나 향상시키느냐가 각 메이커들의 품질을 가릅니다. 당사의 일렉솔-M은 1-브로모프로판, 일렉솔-T는 트랜스-1,2-디클로로에틸렌이 주성분입니다(**TCE대체제**).

2. 미국.일본.대만.중국 등 태평양연안산업국가들에서는 현재 1-BP가 친환경세척제(TCE대체제)의 주류를 형성하며 TDCE는 진입단계입니다. 1-BP는 세척액으로서의 화학적속성(세척력.비인화성.휘발성.끓는점)은 우수하나 생식독성(1B)에 관한 논란이 있습니다. TDCE는 인체.환경유해성에 대한 규제가 없으나, 세척력저하/인화성(인화점2°C)/낮은끓는점(재생을저하) 등의 단점이 있습니다.

3. 한국고용노동부는 허용기준설정물질(중대사고발생우려물질38종)에 TCE외에 MC(CAS75-09-2)와 1,2-Dichloropropane을 추가했으나 1-BP/TDCE는 제외했습니다(2020년). 반면 한국환경부는 화평법시행과 더불어 2020.11 1-BP에 대해 EU-CLP의 생식독성1B(약생식독성)를 근거로 유독물질로 지정했습니다. **하지만 2021.5 화관법개정에서 1년에 1-브로모프로판을 120톤 미만으로 사용하는 업체는 (화학사고예방관리계획서/영업허가 등이 면제됨으로써) 사용상 별다른 걸림돌은 없습니다.**

탄화수소계(비정밀세정/인화성)				할로겐계(정밀.증기세정용)		
탄소(C)/수소(H)/산소(O)만의 결합물로서, 세척력/휘발성은 약하고, 인화성(폭발성)은 강하지만, 유해성(법규제)은 할로계 세척제보다 약함				탄화수소계에 할로겐족의 염소(Cl)/브롬(Br)/불소(F)를 결합하여 세척력을 높이고 난연성으로 전환시킴		
	1-BP	탄화수소계	TCE	염소계(5종류가 전부임)		
끓는점	69°C	150-200°C	87°C	염소	물질명	
점도	0.48	0.9-1.2	0.54	4개	PCE(퍼클로로에틸렌)	C2Cl ₄
KB값	130	14~19	130	3개	TCE(트리클로로에틸렌)	C2Cl ₃
표면장력	25.9	21~24	26.4	2개	MC(메틸렌클로라이드)	CH ₂ Cl ₂
인화점	없음	45~100°C	없음		TDCE(T-1,2-디클로로에틸렌)	C ₂ H ₂ Cl ₂
비중	1.3	0.7~0.8	1.5		DCP(1,2-디클로로프로판)	C ₃ H ₆ Cl ₂
연소범위	4~8%	0.6~5%	7~15%	*독성은 결합된 염소 수에 비례함		
비고	할로겐	연소지속성	할로겐	브롬계		
*KB값은 유분을 분해하는 힘(세척력)의 크기임				1-브로모프로판(1-BP): 브롬계의 유일한 세척제		
*표면장력/점도는 낮아야 정밀세척에 좋음				불소계		
*탄화수소계 세척기는 방폭설비/유증기채집기/간접가열히터 등 필수임				불소계는 불소(난연성/안정제)와 TDCE(고인화성/주성분)의 혼합물로서 법규제는 약하나, 세척력은 약하고, 증발량은 많으며, 가격은 비쌈		
EX)디메틸카보네이트(CAS616-38-6/C ₃ H ₆ O ₃)						
노말헥산(CAS110-54-3/C ₃ H ₁₄) 백등유						

1. 화학적 속성

물질명	1-BP	DBM	TCE	DCP	TDCE	MC
CAS No.	106-94-5	74-95-3	79-01-6	78-87-5	156-60-5	75-09-2
끓는점	70°C	97°C	87°C	96°C	48°C	40°C
인화점	69°C		없음	14°C	2°C	없음
분자식	C3H7Br	CH2Br2	C2HCl3	C3H6Cl2	C2H2Cl2	CH2Cl2
비고	일렉솔M	디브로모.		디클로로.	일렉솔T	메틸렌클.
증기압(상온)	110mmHg	34	58	50	471	349

*증기압이 낮으면 휘발이 늦어 건조시간이 많이 걸리고(DBM), 높으면 자연증발량이 많음(MC)

*끓는점이 높으면(DBM.DCP) '액의 수명'이 짧고, 증기조에서 이물질까지 끓여 올림(세척불량)

*1-BP(1-브로모프로판)인화점: EPA(미국환경부)와 OSHA(미국노동위생국)는 Non-Flammable임

2. 법규제 요약

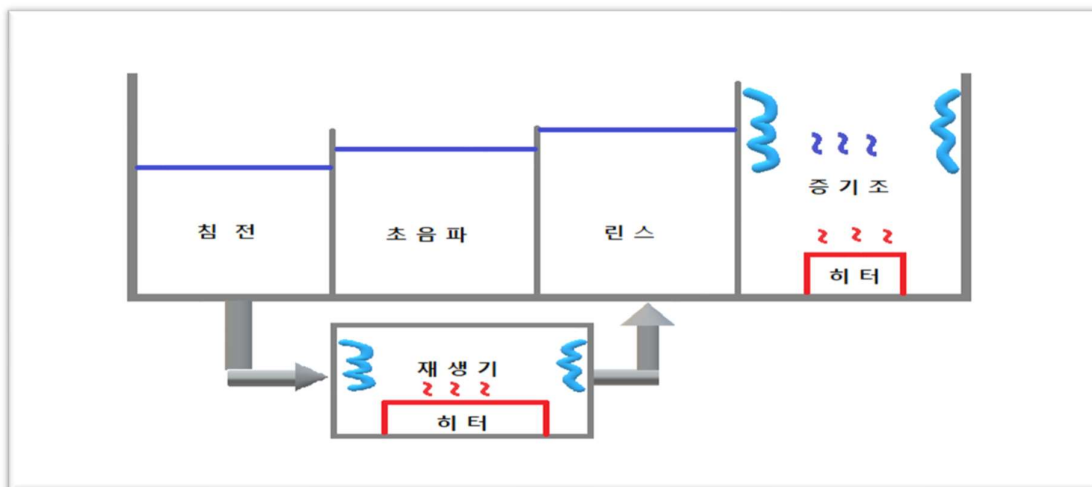
고용노동부는 허용기준설정물질, 환경부는 유해화학물질(유독.제한.허가.금지)/특정대기유해물질
이 법규제의 핵심입니다(특정대기유해물질은 기준치초과 배출시 사업장폐쇄까지 가능함).

	물질명	1-BP(일렉솔M)	TCE	DCP	TDCE	MC
노	발암성		O	O		O
동	허용물질		O	O		O
부	특별관리	O(생식독성1B)	O(발암)	O(발암)		O(발암)
환	유독물질	O(생식독성1B)	O(급성.발암)	O(급성.발암)		O(발암)
경	제한물질		O			
부	특정대기		O(50ppm)			O(50ppm)
소	위험물	4류2석유	비적용	4류1석유	4류1석유	비적용
방	지정수량	1,000리터		200리터	200리터	

*허용물질: 행정처분(과태료.공무원현장지도) *특별관리물질: 행정처분 없음(경고성)

3. 세척기 구조

냉각코일과 재생기가 부착된 다조식 증기세척기입니다.



4. 증기세정의 역할

정밀탈지와 **사용량절감**(재생사용)에 그 목적이 있습니다. 증기세정은 목욕의 샤워에 비유됩니다. 샤워가 목욕의 마지막에 맑은 물로 몸을 헹구듯, 증기세정도 세척공정의 마지막에 가장 깨끗한 증기로 세척물을 세정합니다. 증기조의 액이 욕안으로는 더럽더라도 그 증기는 이물질이 없는 original 상태입니다. 이물질들(절삭유.수분)의 끓는점은 일반적으로 세척제끓는점보다 높기 때문에 증기화되지 못하고, 끓고 있는 액체에 갇히는 원리입니다. 따라서 끓는점이 높은 세척제는 이물질 까지도 같이 증기화시킴으로써 세척불량을 야기시킵니다(**70-80°C끓는점이 이상적임**). 또한 증기세정은 세척제사용량을 절감시킵니다. 냉각코일은 세척액의 증발(유실)을 차단하고, 기체를 액화시켜 재생사용이 가능케합니다.

5. 증기세정용 세척제

서방선진공업국들에서 사용된적이 있거나, 현재 사용중인 증기세정용 유기용제는 염소계의 PCE / TCE / MC / TDCE 및 브롬계의 1-브로모프로판(nPB)이 전부입니다. 시중에 유통중인 나머지 유기용제세척제들은 증기세정제로는 부작용(부식발생.짧은교체주기 등)이 빈발합니다. 그 이유는 화학물질의 속성상 첫째, **공비혼합물(Azeotropy)**을 형성할 수 없으며, 둘째, **열화현상**에 민감하여 지속적인 증기세정이 불가능하기 때문입니다(구체적인 것은 후술함). 당사의 일렉솔-M(주성분:1-브로모프로판)은 공비혼합물이면서 열화현상과는 무관한 (증기세정에 최적화된) 세척제입니다.▶친환경은 논외로 치고, 탈지력만을 따진다면 TCE가 우수하지만, 열화현상에 의한 '액의 수명'이 짧아 '액 전체'를 수시로 교환해야 하는 단점이 있습니다. 일렉솔-M의 세척력은 TCE이상이며, '**액 전체교환 없이 보충만 하면서 계속 사용합니다.** 왜 이게 가능할까요? 일렉솔M은 열화현상이 적고(내열성이 강함), 공비화합물(함께끓음/Azeotrophy)이기 때문입니다. 세척제의 이상적 끓는점은 70-80°C이고, 증기압은 150mmHg이하입니다. 이 구간에서 열화현상 저하와 결로현상(재생율) 상승의 조화를 이루기 때문인데 일렉솔M(**70°C,130mmHg**)은 이에 부합합니다. TCE(87°C)/DCP(96°C)는 끓는점이 높아 액의 수명이 짧으며(강한 열화현상), MC(메틸렌클로라이드)는 열화현상은 약할지라도, 낮은 끓는점(40°C)과 높은 증기압(349mmHg)으로 자연 증발량이 많아 재생율이 현저히 낮습니다.

1)열화(熱禍)현상과 '액 전체교환(액의 수명)'과의 관계

열화현상은 열(증기조.재생조의 히터)로 인하여 세척제가 상처입는 것을 뜻합니다. ▶염소계화합물(PCE.TCE.DCP.TDCE.MC)을 끓이면 염소(Cl)가 탄소고리로부터 분리되고, 이러한 염소는 수소(H)와 결합해서 **HCl(염화수소)**이라는 강산을 생성하고, 이는 액을 산성화시켜(액의 pH가 7→1쪽으로 변함) 세척물/세척기의 **녹을 유발시킵니다**. 또한 열로 인하여 상처받은(염소가 분리된) 염소계화합물은 **세척력을 저하시킵니다**. 이 두가지를 방지하려면 수시로 '액 전체'를 교환해주는 수밖에 없습니다. **끓는점이 높을수록 열화현상에 민감합니다**. 예컨대 디클로로프로판(DCP/96°C)의 교환주기가 TCE(87°C)보다 짧은 이유는 첫째, DCP의 끓는점이 TCE보다 높아 열화현상에 더 민감하며 둘째, DCP(C₂H₅Cl₂)의 결합된 염소 갯수(2개)가 TCE(C₂HCl₃)의 3개보다 적기 때문입니다. TCE는 열에 의해 3개의 염소 중 1개를 잃더라도 나머지 2개로 세척력을 유지하나, DCP는 2개의 염소 중 1개만 잃어도 '액의 수명'이 끝납니다. 브롬계화합물인 1-브로모프로판(원액)도 같은 열화현상으로 **HBr(브롬화수소)**이라는 강산을 생성하여 부식의 원인이 됩니다. 1-브로모프로판(70°C)도 열화현상이 있지만, 일렉솔M(>90% of 1-Bromopropane)은 적절한 안정제를 투입하여 HBr을 완전히 중화

시킵니다. 따라서 적당량의 신액이 보충된다면 '전체 액갈이' 없이 몇 년씩 보충만 하면서 사용가능합니다. 동일 세척기에서 일렉솔M의 소모량은 TCE의 50%, DCP의 35% 정도인데, 일렉솔M은 '전체 액갈이'를 하지 않기 때문입니다. 염소계세척제도 HCl을 봉쇄하는 안정제를 투입하지만, 생성되는 HCl의 양이 안정제의 기능을 압도할 정도로 많기 때문에 '액 전체 교환'을 피할 수 없습니다. 매일 작업 전 PH를 측정하여 6이하로 떨어져 있으면 '액 전체 교환'을 해야 하고, PH6이하로 떨어지는 기간이 짧다면 세척제의 교체를 시도해야 합니다. 주성분이 2개 이상으로 구성돼 있는 세척제는 열화현상에 특히 취약합니다. 두개의 상이한 끓는점을 1개의 끓는점으로 맞추면서 무리한 열이 가해지기 때문입니다. 좋은 세척제는 주성분(90%이상)이 하나입니다.

<사례1>

A사는 자동차부품절삭가공회사입니다, TCE사용시에는 1개월당 6드럼을 소모했으나, 일렉솔M으로 교체 후에는 3드럼으로 줄었습니다. 그 이유는 첫째, TCE는 열화현상으로 인하여 수시로 세척액 전체교체를 했으나 일렉솔-M은 (열화현상이 없고 공비가 유지됨으로 액전체교환 없이) 보충만하는 시스템이며 둘째, 일렉솔-M의 건조속도가 TCE보다 빨라 증기조에서 완전건조돼 재생율이 좋아졌기 때문입니다. TCE/디클로로프로판/DBM 등은 (열화현상으로 인한) 세척액전체의 수시교체가 정석입니다. 정상적으로 운용되는 세척기의 일렉솔M의 사용량은 TCE의 50%, 디클로로프로판의 35%안팎입니다. 이들 염소계 세척제들은 액의 전체교환을 주기적으로 해야하지만 일렉솔M은 보충만해도 액성이 살아 있습니다. 이는 일렉솔M의 내열성이 강하고 공비가 유지되기 때문입니다.

<사례2>

B사는 4조식증기세척기에다 TCE 및 디클로로프로판을 세척제로 사용하는데 몇 년 동안 액전체갈이를 하지 않고 보충만 하면서 사용중입니다. 왜 이게 가능할까요? 이 공장은 세척액을 비정상적으로 과도하게 사용중입니다. 신액투입을 너무 많이 하니 열화현상으로 손상된 세척액을 신액으로 덮어버린 경우입니다(인해전술). 시냇물처럼 신액이 계속 과다투입되고, 다른 쪽에서는 계속 빠져나가는 구조이기에 액성이 항상 살아 있습니다만, 세척제소모량은 적정량을 훨씬 초과합니다.

2)공비(共沸/함께끓음/Azeotropy)와 '액 수명'과의 관계

일렉솔M은 오래 사용하더라도 공비가 유지됩니다. 신액일 때는 정상적이다가 시간이 좀 지나면 액성이 틀어지는 건 대부분 공비가 맞지 않기 때문입니다. 공비란 2개 이상의 액체성분으로 이루어진 용액이 끓을 때, 기체상태와 액체상태가 동일한 성분비가 되는 현상을 말합니다. 증기세척용 세척제는 공비의 유지가 핵심입니다. 공비가 유지되면 오래 사용한 액과 신액과의 품질차이가 거의 없습니다. 공비가 어긋나면 각 조의 화학적 성질이 원액과 달라져(액의 산성화) 부식 및 세척력저하의 원인이 됩니다. 공비가 유지돼야 세척제의 모든 성분들(첨가제 등)이 항상 고르게 날아가며, 또한 부족분이 고르게 보충돼 항상 신액과 같은 상태를 유지할 수 있습니다. 모든 유기용제가 공비화합물을 형성할 수 있는건 아닙니다. 지금까지 선진공업국들에서 공비가 유지된 세척제는 PCE/TCE/MC/TDCE/1-브로모프로판이 전부입니다.

<사 례3>

B임플란트 제조사 사례입니다. 동일한 세척기에서 TCE를 5년 사용 후 1-브로모프로판계 세척제로 교체한지 10달만에 세척기(SUS재질)에 녹이 슬었습니다. 다행히 세척물은 티타늄이라 부식될 수 없었습니다. 세척기의 부식을 놓고 세척기제작사와 세척제제조사간에 다툼이 있었지만 '세척제 제조사의 책임'으로 판정났습니다. 세척기 제작사는 '세척기 책임이라면 TCE사용시의 5년은 왜 멀쩡

했냐?’고 주장했던 것입니다. A사는 세척기를 새로 맞추었고, 세척제는 같은 1-브로모프로판계인 일렉솔-M(C-클리너)으로 바꿨습니다. 현재 일렉솔-M이 8년째 사용중입니다. A사의 사례는 전형적인 **열화현상과 공비의 틀어짐**에 있었던 것입니다. TCE도 열화현상이 있습니다만 주기적으로 전체 교환을 해가면서 썼기 때문에 하자가 없었습니다. 새로운 세척기와 함께 투입됐던 일렉솔-M은 ‘액의 전체 교환’ 없이 8년째 보충만하면서 사용중입니다. 일렉솔M의 우수한 **내열성(耐熱性) 및 공비유지**가 입증된 사례입니다.

<사례4>

C사는 자동차부품프레스공장입니다. (4조식증기세척기에서) 세정 후 세척물에 무늬가 자주 생기고, 독립된 건조기에 따로 넣어 추가건조시킨 후 선별작업을 합니다. 세척제의 **공비**가 맞지 않아(세척제 구성성분들의 날아가는 속도가 각기 다름) 무늬가 생겼으며, 세척제의 증기압이 낮아 **세척기내에서 (짧은 시간내에) 완전건조**가 이뤄지지 않은 것입니다. 일렉솔-M으로 교체 후 무늬가 생기지 않았으며, 짧은 시간내에 증기조안에서 완전건조가 이뤄졌습니다. 별도의 추가건조를 하지 않아 생산성이 높아졌고, 세척제소모량이 줄었으며, 작업장 공기도 쾌적해졌습니다.

3)끓는점/증기압이 재생율(결로結露현상)에 미치는 영향

끓는점이 높으면(80℃이상) 열화현상으로 ‘액 수명’이 짧아지고, 이물질까지 끓여올려 세척불량을 야기하며, 또한 증기압도 낮아져 세척기내에서 (짧은 시간내에) 완전건조가 이루어지지 않아 세척시간이 오래 걸립니다. 끓는점이 낮으면 증기압이 높아 재생율이 떨어지고(세척액 과다사용), 실내공기가 오염됩니다. 결로(이슬맺힘)현상이란 증기조/재생조의 증기와 냉각코일의 온도차이에 의해 냉각코일에 (증기가) 액체로 맺히는 현상입니다. 증기압은 세척제의 표면에서 증발하는 힘의 크기로서 증기압이 크면 자연증발량이 많고, 증기압이 작으면 (과다한 건조시간으로 인하여) 세척시간이 오래 걸립니다. 세척제의 재생율이 좋기 위해서는 끓는점은 70℃가 넘어 냉각코일과의 온도차이가 많이 나야하며, 증기압은 100-150mmHg가 좋습니다. MC처럼 증기압이 크면(끓는점 ↓) 자연증발량이 많고, DCP처럼 증기압이 낮으면(끓는점 ↑) 휘발성도 낮아 세척기 내에서 완전건조 되지 않고 세척기 밖에서도 일부 건조돼 실내공기가 탁하고 세척제소모량도 많습니다.

물질명	끓는점	증기압(상온)	결로(재생)	KB Value
MC	40℃	349mmHg	B급	130
일렉솔T(TDCE)	40	471	B	90
TCE	87	58	A	130
일렉솔M(1-BP)	70	130	A	130

(KB Value:세척력지수)

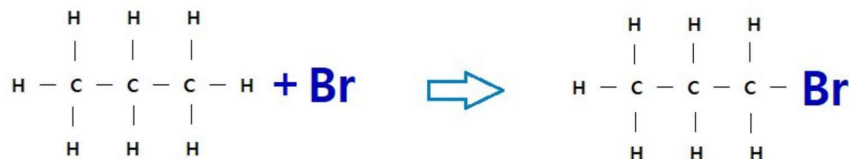
6. TCE 대체제

1)1-브로모프로판(1-BP/CAS106-94-5)과 ‘트랜스-1,2-디클로로에틸렌(TDCE/ CAS156-60-5)+플로오르계혼합물’이 공업선진국들의 TCE대체제들입니다. 시중에는 이외에도 여러 제품들이 있습니다만 사용하다 보면 중대한 문제점(인화성,세척력,부식성)들이 발생합니다. 화학적으로 안정되고 정말 친환경이라면 선진국에서 먼저 채택하지 않았을까요? TDCE는 **친환경성이 우수하지만, 인화점2℃의 고인화성물질이며, 끓는점(47℃)이 너무 낮아 (MC처럼) 재생력이 떨어지고, 세척력도 TCE의 70% 안팎입니다.** TDCE는 플로오르계(F) 안정제를 혼합하여 비인화성으로 전환시키는 게 관건인데, 플로오르 가격이 매우 비싸고, 고급제조기술입니다. 미국,일본에서 제대로 된 제품은 드럼당(250kg)

최소 3,500\$을 상회합니다. 전 세계적으로 할로겐계 세척제는 **TCE.MC→1.1.1-TCE→1-브로모프로판(nPB)→TDCE**의 순으로 발전하고 있습니다. 1.1.1-TCE는 오존층파괴물질로 생산이 금지됐습니다. 현재 미국/일본/호주/대만/영국/중국 등에서는 1-브로모프로판이 가장 보편적이고, TDCE는 시작하는 단계입니다. 국내 일부에서 디브로모메탄(CAS74-95-3/DBM)을 TCE대체제라고 홍보하고 있습니다. 법(화평법)규제에 허점이 있기 때문인데 곧 시정될 것으로 예상됩니다. **일본정부는 DBM을 강변이원성(DNA)물질로 지정하여 TCE와 동급으로 규제하고 있으며**, EU/미국 등 전 세계 어느 나라도 DBM을 세척제로 사용하지 않습니다. DBM은 농약/살균제의 첨가제로 사용되고 있습니다(구체적인 것은 후술함). 한국에서 DBM을 세척제로 전용하는 현상은 1-브로모프로판의 유독물질지정에 대한 풍선효과이며, 일시적일 것으로 예상됩니다.

2)1-브로모프로판(>90% of Elecsol-M)

현재 선진공업국들의 가장 대표적인 증기세정용 세척제들의 주성분은 1-브로모프로판입니다. 브로모프로판(**C3H7Br**)은 프로판(C3H8)의 H(수소)와 Br(브롬)을 치환시켜 얻어집니다. 브롬은 할로겐족 원소로서 에너지 준위가 높은 물질입니다. 에드벌룬이 현수막을 공중으로 끌어 올리듯, 활성이 강한 브롬이 프로판의 에너지를 증대시켜 세척물의 Oil(절삭유)을 분리시킵니다. TCE도같은 원리로서 에틸렌에 활성이 강한 염소(Cl/할로겐족) 3개를 결합시킨 것입니다. 1-브로모프로판은 화학적속성측면에서는 현재 최적의 증기세정용 유기용제입니다(TCE대체제). 반면 법적측면에서는 유독물질(생식독성1B)로 지정돼(2020.11) 화관법의 규제를 받지만, 연간사용량이 120톤 미만인 업장은 화관법규제가 사실상 면제되고 있습니다(자세한 것은 법적규제에서 후술함). 생식독성1B는 생쥐에게서는 '정자운동감소.정자수감소 등'의 생식독성이 발견되나, (생쥐보다 덩치가크고 면역력이 강한) 인체에는 생식독성증거가 없는 물질입니다. 즉 1B는 약생식독성물질입니다. 이러한 약생식독성(1B)에 대해 한국고용노동부/미국/일본/호주/대만/중국 등은 '인체에는 중대한 유해성이 없음'으로 법적규제를 가하지 않고 있으며, 1-브로모프로판이 가장 보편적인 TCE대체제로 통용되고 있습니다. 한국환경부는 발암성/환경유해성/급성독성/변이원성에 대해서는 법규제를 가하지 않았습지만,생식독성1B를 근거로 유독물질로 지정했습니다(2020.11).



7. TCE사용가능여부

수도권(서울.경기)에서는 수도권대기오염방지법 및 특정대기유해물질 등으로 인하여 TCE사용이 원천적으로 불가능합니다. 환경부는 또한 TCE영업허가(사용승인)를 수도권에서는 일절 불허하고 있습니다. 안산시화공단/부천공단의 입주초기에 정부로부터 TCE사용승인을 득한 업체도 간혹 있지만, 공장이 증개축만되어도 지자체는 TCE사용승인을 곧바로 취소할 정도입니다. 수도권이외의 지역에서는 환경부승인(영업허가)을 득한 업체만이 사용가능합니다만 승인이 사실상 어렵고 설령 승인을 득한다손 치더라도 공무원의 수시점검을 받게 됩니다. TCE를 환경부(지방자치단체)승인 없이 사용 시 공장폐쇄까지 가능합니다. 수출품은 TCE세척에 제약이 있습니다. 한국에서 TCE로

세척한 제품이 TCE금지국가들(중국/동남아 등)로 수출되면 국제법위반에 해당됩니다. 수출품은 수입국의 법규를 준수해야하기 때문입니다. 대기업들이 협력사들로 하여금 TCE사용을 금지시키는 이유입니다. TCE사용하면서 작업환경측정을 받았기 때문에 TCE사용승인(영업허가)을 득했다는 착각하는 업체들도 있습니다. 작업환경측정은 고용노동부 소관이고, 사용승인(영업허가)는 환경부 관할이라 전혀 별개의 사안입니다.

8.디브로모메탄(DBM브롬계/CAS74-95-3)

	독성의 세기: 결합된 염소(Cl)/브롬(Br)의 갯수에 비례함
염소계 세척제	PCE(C2Cl ⁴ /CAS127-18-4) > TCE(C2HCl ³ /79-01-6) > MC(CH2Cl ² /75-09-2)
브롬계 세척제	디브로모메탄(CH2Br ² /CAS74-95-3) > 1-브로모프로판(C3H7Br /106-94-5)

DBM(CH2Br2/끓는점:98℃/비인화성) + DMC(C3H6O3/끓는점:90℃/인화점:18℃)	
법규제	규제없음
세척력	일렉솔M 및 TCE보다 약함(디메틸카보네이트-탄화수소계 혼합물이기 때문임)
인화성	유증기는 DMC로 인하여 인화성 있음
Life Cycle	짧음(끓는점이 높아 열화현상에 민감함)
세척시간	일렉솔M보다 약 2배 더 소요됨(증기압이 낮고, 비중이 크기 때문임)
인체유해성	일본노동후생성은 DBM을 강변이원성물질로 지정함(TCE와 동급규제임)

1)한국환경부는 디브로모메탄에 대한 법규제가 없지만, 일본후생노동성은 **강변이원성물질**로 지정했습니다. 브롬1개 결합인 1-브로모프로판도 생식독성 논쟁이 심한데, 브롬2개 화합물인 디브로모메탄이 DNA변이원성물질이라는 것은 상식적입니다. 브롬이 많을수록 독성은 세집니다. 전세계 연간생산량이 9,000톤에 불과하며, 농약.살충제의 첨가제로 소량 사용되는 비관심물질입니다. DBM가 격은 1-브로모프로판의 2배이상임으로(브롬 갯수에 비례) 탄화수소계(디메틸카보네이트/DMC)와 섞어 세척제가격을 낮춥니다.

2)혹자는 디메틸카보네이트에 난연제인 디브로모메탄을 혼합하면 화재에 안전하다고합니다만 위험한 발상입니다. 난연제는 인화성인 디메틸카보네이트를 비인화성물질로 **화학변화시키는 게 아니고, 물리적으로 억누르고 있는 것입니다.** 액체상태에서는 뭉쳐(간혀) 있기 때문에 난연제의 순기능이 작용합니다만 유증기 형태로 기화되면 디메틸카보네이트와 디브로모메탄(난연제)가 각각 분리되고, 이때 디메틸카보네이트는 본래의 인화성물질로 자유스럽게 됩니다. 이러한 기체상태의 디메틸카보네이트에 정전기 등의 점화원이 발생하면 **(연소지속성이 있기 때문에)** 폭발로 이어집니다. 2019년2월 디메틸카보네이트를 사용하던 시화공단(MTV로)의 공장에서도 정전기에 의한 폭발 사고가 발생하였습니다. **탄화수소계는 이러한 폭발위험성 때문에 인화점이 45℃이상, 끓는점은 150℃이상의 물질을 사용합니다.** 설령 액이 유증기형태로 세척기 밖으로 나오더라도 인화점이 높으면 폭발위험성이 낮기 때문입니다. 경유(인화점50℃)를 실내에서 사용하더라도 비교적 안전한 이유가 인화점의 높음에 있습니다. 반면 디케틸카보네이트는 인화점이 18℃로서 일반 실내온도

이하임으로 정전기에 의한 화재위험이 있습니다.

3)디메탈카보네이트의 혼합물은 방폭장치/유증기포집기/간접히팅기가 부착된 탄화수소계 전용 세척기를 사용해야 합니다. ①세척기를 가동하면 유증기(디메탈카보네이트)가 발생하여 세척기 밖으로 스멀스멀 나와 눈에 보이지 않지만 바닥에 쌓입니다. ②세척기 안에서 완전히 마르지 않고 세척물에 잔류된 디메탈카보네이트가 실내에서 건조되면서 역시 공장바닥에 축적됩니다. 이때 실내 온도가 18°C(디메탈카보네이트의 인화점)이상에서 정전기(금속 부딪힘 등)가 발생하면 화재로 이어집니다. ③세척기 안에서 발생한 유증기가 세척기의 팬에 닿을 때, ④세척실에 온풍기/난로를 가동하여 따뜻한 공기와 유증기가 결합하면 위험합니다. 이런 걸 방지하려면 기본적으로 **방폭장치가 부착된 탄화수소계 전용세척기가 필수입니다.** 그러나 세척기 밖의 유증기에 의한 폭발은 방폭장치로도 잡을 수 없기 때문에 일반적으로 인화점이 높은 물질(50°C이상)을 선택합니다.

4)디브로모메탄(DBM)은 선진공업국들에서는 금기시하는 물질입니다. EU/미국/일본을 비롯한 세계 어느 나라도 디브로모메탄을 세척제로 사용하지 않습니다. 인체위해성이 강하고, 끓는점(98°C)이 높아 ('강한 열화현상으로 인한 부식성' 및 '이물질 끓여 올림'으로) 할로겐계 세척제로는 부적합합니다. 또한 세척력이 더 좋으면서 미국환경부(EPA)가 친환경성을 보증한 1-브로모프로판이 있기 때문입니다. 디브로모메탄에 대해 일본은 강변이원성물질로 규제하나, EU/미국은 법규제가 없는데 그 이유는 사용량이 미미한 무관심물질이기 때문입니다. 그렇지만 산업재해시 사용주(회사)입증책임이라는 법리로 실정법의(규제없음) 허점을 보완하고 있습니다(한국은 근로자입증책임).

9.인화성/폭발성(연소지속성)

1)인화점은 불꽃(섬광)이 튀는 온도이고, 폭발은 연소지속성이 있어야 가능합니다. 1-브로모프로판이 폭발하기 위해서는 3.4~9.1%로 압축하고, 여기에 69°C이상의 점화원이 가해져야 합니다. 그러나 세척과정에서는 현실적이지 못한 조건입니다. 1-브로모프로판을 드럼에 채운 후 밀폐된 상태에서 토치로 장시간 가열한 후 점화원(점화원)을 접촉시켜야 폭발이 가능할 정도입니다. TCE는 인화점은 없지만 8~12%압축하고 여기에 점화원을 접촉시키면 폭발합니다. TDCE(CAS156-60-5)는 인화점이 2°C로서 불소계 화합물을 첨가하여 인화점을 높여 줍니다.

2)일렉솔M은 '250°C 미만에서 인화되지 않음(한국소방산업기술원 제2021-0450호)'입니다. 따라서 위험물관리법의 적용대상이 아닙니다. 일렉솔M은 1-브로모프로판이 주성분(90%이상)이지만 안정제(10%이하)로 인하여 인화성이 없습니다.

3)경유/백등유/디메탈카보네이트 같은 탄화수소계(염소/브롬이 결합되지 않고 탄소/수소/산소의 화합물)는 인화점도 있고 연소지속성도 있습니다. 일단 불이 붙으면 꺼지지 않고 강렬히 타올라 폭발합니다. 불은 액체가 아닌 기체상태(유증기)에서 불습니다. 경유(인화점50°C)도 액체에서는 불이 쉽게 붙지 않지만 유증기에 불이 일단 붙으면 걸잡을 수 없을 정도로 타오릅니다. 이러한 이유로 탄화수소계 세척제는 일반적으로 인화점이 45°C이상이며, 세척기에 별도의 방폭장치 및 유증기흡수장치가 부착되어 있습니다. 예컨대 디메탈카보네이트가 포함된 세척제를 할로계(TCE등) 세척기에 그대로 적용하면 폭발의 위험이 숨어 있습니다. 소방법의 준수와 화재는 별개입니다.

10. 유기용제 세척제 요약

	물질명 CAS No 분자식	끓 °C 는 점	인 °C 화 점	위험물안 전관리법 (지정수량)	노동부규제	환경부규제
염소 Cl 4개	PCE 127-18-4 C2Cl ₄	121	없음	비위험물	*특별관리물질 *허용물질	*제한물질 *유독물질 *특정대기유해
염소 Cl 3개	TCE 79-01-6 C2HCl ₃	87	없음	비위험물	*허용물질 *특별관리물질 *발암물질(1)	*유독물질 *특정대기유해 *제한물질
염소 Cl 2개	MC 75-09-2 CH ₂ Cl ₂	40	없음	비위험물	*허용물질 *특별관리물질 *발암물질(2A)	*특정대기유해 *유독물질
	디클로로프로판 78-87-5 C3H6Cl ₂	96	14	4류1석유류 (200L)	*허용물질 *특별관리물질 *발암물질(1)	*유독물질 (유예기간만료)
	T-1.2디클로로에틸렌 156-60-5 C ₂ H ₂ Cl ₂ *일렉솔T(C-클리너)	48	2	4류1석유류 (200L)	*비발암성(3)	
브롬Br 1개	1-브로모프로판 =nPB / 106-94-5 C3H7Br *일렉솔M(C-클리너)	70	69	4류2석유류 (1,000L)	*특별관리 *비발암성(2B) *생식독성1B	*유독물질(1B) *비발암성 *비급성독성 *비환경유해성
탄화수 소계	디메틸카보네이트 616-38-6 C3H6O3	90	18	4류1석유류 (200L)		
	노말헥산 110-54-3 C3H14	68	-22	4류1석유류 (200L)	*허용물질	
	IPA 67-63-0 C3H8O	82	11	4류알콜류 (400L)		

11. 일렉솔M vs TCE

- 일렉솔M은 브롬계화합물, TCE는 염소계화합물로서 둘 다 비인화성임
- 일렉솔M과 TCE의 세척력은 동등함(유기용제 세척제들 중 가장 강력한 세척력)
- 일렉솔M은 내열성이 강하고 공비가 유지됨으로 액전체같이 없는 반영구적 보충방식이나, TCE는 내열성이 약해(열화현상) 액전체같이를 수시로 해야 함
- 일렉솔M은 환경유해성에 대한 법규제가 없으나, TCE는 환경유해성물질임(특정대기오염물질 등)
- 일렉솔M은 인체유해성 항목들(급성독성/발암성/변이원성/생식독성) 중에서 생식독성1B(약생식독성)가 유일하나, TCE는 발암성.급성독성.변이원성.생식독성에 해당됨