

04 실험실 공기오염도 조사



염종수

금번 일본방문 목적은 동경대, 경도대, 오사카대 및 리켄연구소를 대상으로 환경안전 관련 업무에 해당하는 제 반사항인 표준화된 관련근거에 의한 실험실 공기오염도 측정, 측정 항목, 정기적 조사 회수, 수시 측정 시 절차 (신청, 수수료, 결과보고서 작성), 학내 표준측정기준치 등의 관리시스템의 최적화 여부와 어느 정도의 실효성과 취약점을 알아보려 한다. 아울러 우리 대학교의 개선사항이 있을 시 검토하고, 보완할 사항이 있는지에 중점을 두고 참고하고자 한다. 더 나아가 서울대학교에서 실행 중 잘하고 있는 점은 위 방문대학과 연구소에 제공하여 상호간 유용한 정보를 공유할 수 있도록 한다. 다음은 서울대학교와 일본 대학 및 연구소의 실험실 공기오염도 측정 관리방법을 비교 검토하여서 결과를 도출하고 개선 방법을 찾고자 한다.

1. 서울대학교와 일본 대학의 공기오염도 측정 비교

아래의 [표 1]를 참고하여 다음과 같이 서울대학교와 일본 대학 및 연구소에서 실행하고 있는 실험실 공기질 측정 관리방법을 파악하여 서로 비교하고 실험실 공기질 측정에 개선점을 보완하여 보다 나은 결과를 도출하고자 한다.

[표 1] 일본 대학 및 연구소 실험실 공기오염도 총괄

기관명	담당 기관	측정근거	실험실 수	화학물질	측정회수	농도기준	측정기관	비용	보고서
서울대	환경안전원	산업안전보건법	137개	3종	년 1회(9월)	노출기준	학내	대학	작성
동경대	환경안전본부	노동안전위생법	30개	12종	년 2회(1/7월)	작업환경평가기준	환경보전실	대학/연구소	작성
오사카대*	환경안전연구센터	노동안전위생법	529개	47종	년 2회(2/8월)	작업환경평가기준	전문기관	대학	작성
교토대	환경 보전센터	노동안전위생법	600개	47종	년 2회(2/8월)	작업환경평가기준	학내	대학	-
리켄연구소	환경안전센터	노동안전위생법	50개	47종	년 2회(6/8월)	작업환경평가기준	연구소	연구소	-

*일본 3개 대학, 연구소 중 운영과 관리 면에서 타 대학 대비 우수함을 보임.

1. 측정 근거 및 농도기준과 조사 대상 실험실 수 비교

기관명	담당기관	측정 근거	농도 기준	실험실	비고
서울대	환경안전원	산업안전 보건법	노출기준	137	
동경대 카시와캠퍼스	환경 안전본부	노동안전 위생법	작업환경 평가기준	30	
경도대	환경보전센터	〃	작업환경평가기준	600	
오사카대	환경안전센터	〃	작업환경평가기준	529	
리켄연구소	환경안전센터	〃	작업환경평가기준	50	

서울대학교에서의 실험실 공기오염도조사는 노동부 산업안전보건법 노출기준에 의거 국내대학으로는 처음으로 연구자의 건강과 안전의 확보, 실험실 안전사고의 예방 그리고 쾌적한 실험실 환경구축을 위해 A, B, C, D 실험실 특성별로 분류한 표 2 실험실 공기오염도조사를 실시하였다. 조사대상은 서울대학교 중앙도서관과 이공계(미술대학 포함) 실험실을 2007년 5월 8일(화)부터 2007년 7월 10(화)까지 전반기 36개 실험실과 2007년 10월 2일(화)부터 12월 21일(금)까지 후반기 101개 총합 137개 실험실을 측정하였다.

[표 2] 실험실 특성별 분류

구분	방법
A 실험실	미생물 및 동물, 방사선동위원소 물질 등을 사용하는 실험실 (41개)
B 실험실	화학약품 등을 사용하는 실험실(58개)
C 실험실	기계·전기설비 등을 사용하는 실험실(21개)
D 실험실	실험·실습을 수행하지 않는 설계·컴퓨터 관련 등의 실험실 (17개) (중앙도서관 열람실 4개 포함)

서울대학교에서는 금년에 학내 실험실 공기오염도 조사를 처음으로 실시하였으나 앞으로는 매년 지속적으로 조사 측정할 예정이며, 또한 공기오염도를 측정하고 싶은 기관이나 연구·실험실에서는 신청이나 접수를 통해 계속 측정하여 실험실 환경진단과 연구원들의 건강에 기여하고, 환기설비의 개선이 필요하다고 판단될 경우 관련기관과 연계하여 개선하도록 할 예정이다(중앙도서관 열람실, 대형 강의실, 학생회관 포함 등).

동경대학 카시와캠퍼스에서는 2003년 4월 국립대학법인화에 의해 노동 안전 위생법 작업 환경 평가 기준에 의거 동경대 환경 안전 본부에서 작업환경안전측정의 실시 및 결과에 근거하는 필요한 조치업무를 시행하고, 부국 안전 위생 관리실에서는 작업 환경 측정 결과, 정기검사 결과 관리, 건강진단, 작업 환경 측정의 결과에 근거하는 필요한 조치 등을 관리하고 있었다.

대상 실험실 약 30여 개는 유기용제, 특정화학 물질 등을 사용하는 연구·실험실로 하였으며, 실험실의 상태와 실내 환경을 파악하고 그 결과에 따라 환경 개선을 실시함으로써 연구원의 건강상 장해를 방지하는

것을 목적으로 작업환경측정(실험실 공기오염도)을 실시하고 있다. 특히 동경대학에서는 작업환경 측정 시에는 반드시 연구자는 평상시에 사용하는 실험 장소에서 대상 화학물질을 사용하여야 한다.

작업환경측정 신청 시에는 반드시 신청서에 필요한 사항을 기입하고 도면에 측정대상 실험실의 가로 세로와 실험대 등의 치수를 기입하여 작성하고 신청서는 FAX로 제출하여야 한다(전에 제출한 서류의 실험실 도면에 변화가 없는 경우에는 제출하지 않아도 된다).

경도대학 요시다 캠퍼스에서는 실험실 공기오염도 측정은 노동안전위생법 작업 환경 평가기준에 의거 경도대학 안전 위생 관리 규정 제 2조 5항에 따라 환경보건센터에서 유자격자가 600여 개 연구실험실을 대상으로 측정하고 있었다.

오사카대에서는 작업환경측정(실험실 공기오염도 측정)은 2003년 4월부터 노동안전위생법 작업 환경 평가 기준에 의거 교직원, 학생의 건강을 지키기 위해서 특정화학물질, 유기용제를 사용하는 대상 실험실을 자체적으로 A에서 E까지 평가한 후 A ~ D까지는 외부기관에 측정 의뢰하였다. 조사대상 실험실의 529개 Sample은 1개 실험실 당 4개씩 총 2,439개를 채집하여, A실험실은 10일 이상 정밀측정하였고, E 실험실은 1일 이상 측정하고 있었다.

리켄연구소에서도 노동안전위생법 작업환경 평가기준에 의거 50여 개 실험실을 대상으로 작업환경 측정(실험실 공기오염도)을 실시하고 있었다.

2. 규제 대상 화학물질 종류와 측정 회수 비교

기관명	화학물질 수	측정회수(월)
서울대	3종(PM10, HCHO, VOCs)	2회 (5, 10월)
동경대 카시와캠퍼스	12종	2회 (1, 7월)
경도대	47종	2회 (2, 8월)
오사카대	47종	2회 (2, 8월)
리켄연구소	47종	2회 (6, 8월)

서울대학교에서는 측정항목 중 물리적 인자인 온도·습도와 입자상오염물질인 미세먼지(PM10)는 현장에서 직접 측정하였고, 가스상오염물질인 포름알데

히드(HCHO), 휘발성유기화합물(VOCs) 등은 Sampling 하여 채집한 시료를 개별 포장하고 4℃로 냉장 보관하여 분석전문기관인 농업생명과학대학 NICEM에 분석의뢰 하였다[그림 1]. 특히 휘발성 유기화합물은 정량분석과 동시에 정성분석을 실시하여 주 오염물질명을 조사하였다. 측정회수는 2007년 5월 8일(화)부터 2007년 7월 10(화)까지 전반기와 2007년 10월 2일(화)부터 12월 21일(금)까지 후반기로 년 2회 측정하였다.



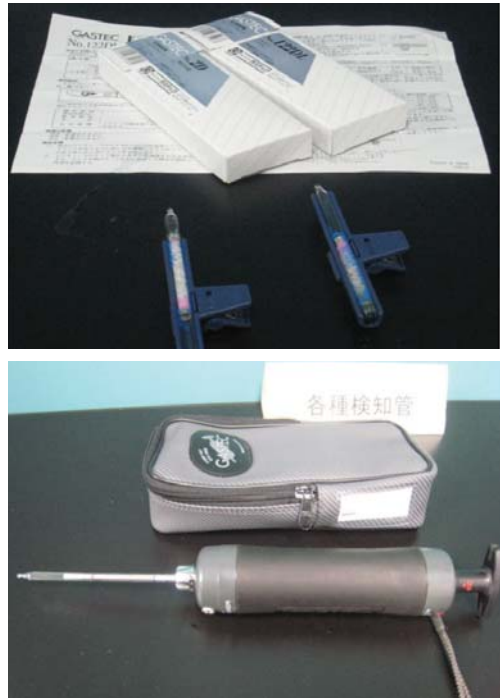
[그림 1] 실험실 공기오염도 측정 기기(서울대학교)

동경대학에서의 작업환경 측정(실내공기오염도 측정)에 대해서는 6개월에 1회씩 정기적으로 주요대상 화학물질인 Acetone, 1-Butanol, Chloroform, Cyclohexane, Dichlorometane, Diethylether, Ethylacetate, Hexane, 2-Propanol, Toluene, THF, Xylene 등 총 12종 물질농도를 측정하도록 되어 있으며, 학내 정기조사에 대해서는 1년에 2번 1월과 7월에 실시하고 있다.

특히 동경대학에서는 작업 환경 측정기준에 몇 개의 조건부로 검지관법의 적용이 인정되고 있었고, 검지관에 의한 측정에도 법적으로는 아무런 문제가 없다고 한다. 이러한 이유 때문에 연구실에서 적절한 방법을 측정사가 판단해 아래 [그림 2] 장비를 이용해 측정을 하고 있었다.

검지관법 측정 장점은 보고서 작성 시기가 앞당겨져 결과를 빨리 볼 수 있다. 측정 현장에서 결과를 알 수 있기 때문에, 문제가 있는 작업장에 대해서 신속히 대응할 수 있다. 또한 결과의 유무에 관련 없이 현장 입회자에게 검지관을 보여, 실험의 안전 보전에 대한 이해가 깊어질 수 있다.

검지관법으로 측정 가능 물질은 아세톤, 메틸알콜, 일산화탄소, 이산화탄소, 벤젠, 수소, 에틸렌, 염소, 이소부틸알코올 등이 있다.



[그림 2] 실험실 공기오염도 측정 기기(동경대학)

서울대학교에서는 실내공기질 공정시험방법에 의거 측정분석하기 때문에 분석시간과 경비가 많이 소요되나, 동경대에서 실시하고 있는 조건부로 검지관법으로 측정 가능한 물질들을 우리대학에서도 적용하여 시간과 경비를 절약하고 많은 조사 대상 실험실을 측정할 수 있고, 또한 측정된 결과 기준치를 초과한 실험실만 별도로 관리하고 정밀 측정하여 집중 관리하였으면 한다.

경도대학 요시다 캠퍼스에서는 실험실 공기오염도 측정은 노동안전위생법 작업 환경 평가기준 주요 대상물질인 유기용제, 발암물질 석면 등 총 47종을 유자격자가 2월과 8월 년 2회 연구실험실을 대상으로 환경보전센터에 보유하고 있는 측정 장비와 학내 전문분석기관에서 분석하며, 환경보전센터에는 아래 [그림 3]의 장비로 실험실 공기오염도를 측정하였다. 특히 발암성물질과 석면도 채집하여 분석할 수 있는 최신장비도 많이 구비하고 있었다.



[그림 3] 실험실 공기오염도 측정 기기(경도대학)

서울대학교 환경안전원에서는 몇 종의 측정 장비만 구비하고 있으나 앞으로는 많은 예산을 확보하여 교토대학교 같은 최신 분석 장비를 구비하여 낮은 농도 범위까지도 공기오염도를 분석할 수 있어야 한다.

오사카대에서는 실험실 공기오염도측정은 노동안전 위생법 작업 환경 평가기준 주요 대상물질인 유기용제 등 총 47종을 유자격자가 2월과 8월 년 2회 연구 실험실을 대상으로 측정하고 있었다.

리켄연구소에서도 실험실 공기오염도측정은 노동안전 위생법 작업 환경 평가기준 주요 대상물질인 유기용제 등 총 47종을 유자격자가 2월과 8월 년 2회에 걸쳐 연구실험실을 대상으로 측정하고 있었다.

3. 측정기관 및 비용 비교

기관명	측정분석기관	비용부담
서울대	환경안전원/NICEM	대학
동경대 카시와캠퍼스	학내 분석전문기관(인증기관)	대학/연구실
경도대	학내 분석전문기관	대학
오사카대	외부 전문기관(위탁)	대학
리켄연구소	연구소 자체분석	연구소

서울대학교에서는 측정 분석기관은 환경안전원 직원이 직접 조사대상 실험실을 방문하여 측정 장비로 측정과 Sampling하여 학내 분석전문기관인 NICEM에 의뢰하여 분석하였고, 비용부담은 대학예산에서 일괄 지불하였다.

동경대학 카시와캠퍼스에서의 측정분석 기관은 학내 분석전문기관에 의뢰(인증기관)하여 측정하였고, 비용부담은 해당대학에서 1/2과 분석 의뢰한 실험실에서 1/2씩을 각각 부하였다.

경도대학 측정분석기관은 학내의 환경보전센터에 보유하고 있는 측정 장비와 학내 전문분석기관에서 분석하였으며 환경보전센터에는 실험실 공기오염도를 측정할 수 있는 많은 최신장비도 구비하고 있었다. 특히 발암성물질과 석면도 채집하여 분석할 수 있는 장비도 구비하고 있었다. 비용 부담은 대학에서 일괄 부담하였다.

오사카대에서는 측정시행 기관은 외부전문기관에 일괄 위탁하여 시행하였고, 비용부담은 대학에서 일괄 부담하였다.

리켄연구소에서는 측정시행 기관은 유자격자가 직접 측정하여 연구소에서 자체분석하고 비용은 연구소에서 부담하였다.

4. 측정결과 보고서 제출 및 조치사항 비교

기관명	결과보고서	조치사항
서울대	작성	공문발송, 개선조치 이행여부 확인
동경대 카시와캠퍼스	작성	결과보고서에 의거 추적관리
경도대	-	-
오사카대	작성	분류(3단계) 및 관리
리켄연구소	-	-

서울대학교에서는 금년에 처음으로 실험실 공기오염도 조사를 실시한 관계로 일본 대학보다 미흡한 점이 많았으나 산업안전보건법 노출기준을 근거로 공기오염도 측정관련 자료 수집과 워크샵도 참여하여, 외부전문기관에 의뢰하지 않고 안전원 직원들이 조사대상 실험실을 현장 방문하여 실험실 공기오염도를 측정하고 아래 [그림 4]와 같은 결과보고서를 직접 작성하였다.

조치사항으로는 공문과 함께 결과보고서를 해당기관 실험실에 발송하여 미비한 사항은 신속히 개선조치 하도록 통보하였다.



[그림 4] 실험실 공기오염도 조사 결과보고서(서울대학)

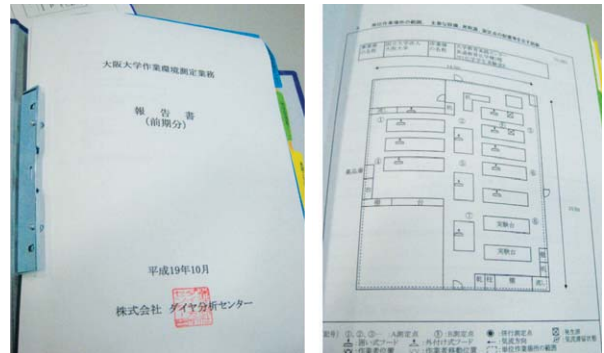
경고대학 카시와캠퍼스에서는 노동안전 위생법에 의거 작업환경측정을 실시해 그 결과보고서 의거 추적관리를 부국 안전 위생관리실에서 시행하고 있다.

경도대학 요시다 캠퍼스에서는 노동안전 위생법에 의거 작업환경측정을 실시해 그 결과를 후생노동성에 제출하도록 법으로 규정되어 있다.

오사카대에서는 외부 전문 업체에 의뢰하여 아래 [그림 5]의 결과보고서를 작성하여 보고 후

- 조치사항으로는 1단계 : 이상없음,
- 2단계 : 개선요망,
- 3단계 : 위험단계,

로 평가되어 2,3 단계는 실험을 중지하고 연구실 학생 및 교직원들은 교내 건강센터에서 건강진단을 받도록 실시하고 있었다. 위와 같은 결과보고서 기록보관은 3년에서 항목에 따라 30년간 보관도 한다.



[그림 5] 실험실 공기오염도 결과보고서(오사카대)

오사카대학에서는 작업환경 측정(실험실 공기오염도 측정) 시 등급별로 차등을 두고 조사하고 정밀 측정하여 결과보고 후 조치사항까지 방문 대학 및 연구소 중에서 가장 철저히 이행하고 있었다. 우리 대학도 오사카대학의 이러한 조치사항의 장점을 우리 실정에 맞게 개선 보완하여 한결 더 내실 있는 조사가 이루어지도록 할 예정이다.

리켄연구소에서도 노동안전 위생법에 의거 작업환경측정을 실시해 그 결과를 후생노동성에 제출하도록 법으로 규정되어 있다.

일본의 대학 및 연구소에서는 후생 노동성 노동안전 위생법의 작업환경 평가 기준에 근거로 유기용제, 특정 화학물질 등을 사용하는 연구·실험실을 대상으로 실험실 작업환경측정을 1년에 2번(2월, 8월) 의무적으로 유자격자가 측정하도록 법으로 규정되어 있다. 그러나 우리나라의 학교보건법은 실험실 공기오염도 측정 기준치가 실험실연구자의 건강보호에 적합하지 않아, 산업현장과 상이한 대학 연구실험실에 대한 특성화된 건강 위험요인 관리체계를 원활히 할 수 있는 규정과 적정 기준치 설정이 조속한 시일 내에 제정되었으면 한다.

경도대학 환경안전센터에서는 최신 분석장비를 많이 구비하여 석면까지도 조사하고 있었고, 오사카대학에서는 전문위탁업체가 정기적으로 측정 분석하여 결과보고서에 의해 조치사항을 철저히 이행하고 있어 일본 3개 대학, 연구소 중 운영과 관리 면에서 타 대학 대비 우수함을 보였다. 일본 방문기관 전체가 법에 의거 실험실 공기오염도 측정을 철저히 이행하고 있었다.

II. 맺음말

실험실 오염도 조사는 이번 일본 대학 및 연구소를 방문하면서 직접 눈으로 보았고 각 대학에서 제출한 자료 중 동경대, 오사카대학, 경도대학의 장점을 우리 대학 실정에 맞게 개선 보완하여 금년부터는 더욱 내실 있는 조사가 이루어지도록 아래와 같은 제언을 하고자 한다.

1. 우리 안전원에서는 학내 실험실 공기오염도조사를 매년 지속적으로 조사 측정할 예정이며 또한 공기오염도를 측정하고 싶은 기관이나 연구·실험실에서는 신청이나 접수를 통해 계속 측정하여 실험실 환경진단과 연구원들의 건강에 기여하고, 환기설비의 개선이 필요하다고 판단될 경우 시설과 및 기술과 등과 연계하여 개선하도록 한다 (중앙도서관, 강의실, 후생관 등).
2. 외부 전문업체에 의뢰해서 서울대학교 실험실 공기오염도 정밀진단을 받아 보고 기술적이고 관리적인 측면을 우리안전원과 서로 비교하여 학내 실험실 공기질 현황을 정확히 파악하고 관리하는데 도움이 되도록 한다.
3. 금년부터는 조사대상 실험실 선정 시 기관별로 실험실분류에 의해서 구별하여 선정된 조사대상 실험실은 계절별로 측정하여 계절에 따른 실험실 공기오염도 변화추이 결과보고서를 작성하고 개선 조치하도록 한다.
4. 작년에 처음으로 실험실 공기오염도 측정을 실시한 결과 미흡한 점이 많았으나 앞으로는 공기오염도 측정담당자들의 능력을 향상시키기 위해 전문가 위탁교육기관과 공기오염도측정 관련 워크샵에 적극 참여할 수 있도록 한다.
5. 예산을 확보하여 현행 실내오염 관련 법령에서 정한 실내오염물질인 12개 물질(미세먼지, 이산화탄소, 포름알데히드, 총 부유세균, 일산화탄소, 이산화질소, 라돈, 휘발성 유기화합물, 석면, 오

존, 낙하세균, 진드기)의 실험실 공기오염도를 정확하고 신속하게 측정하는데 필요한 최신장비를 구비하였으면 한다(TDS, GC-MS, HPLC 등).

참고자료

[일본 실내공기질 표준지침]

□ 후생노동성 : 실내공기 중 화학물질농도 기준

화 학 물 질	농 도 [$\mu\text{g}/\text{m}^3(\text{ppm})$]
① 포름알데히드	100(0.08)
② 아세트알데히드	48(0.03)
③ 톨루엔	260(0.07)
④ 자일렌	870(0.20)
⑤ 에틸벤젠	3,800(0.88)
⑥ 스틸렌	220(0.05)
⑦ 파라디클로로벤젠(<i>p</i> -DCB)	240(0.04)
⑧ 테트라데칸	330(0.04)
⑨ 클로피리포스	0.1(7) : 소아대상
페넨캡*	33(3,800)
디아지논*	0.29(20)
디부틸 푸탈레이트*	220(20)
프탈릭 에스테르-2-에틸헥실(DEHP)*	120(7,600)

※ ①~⑥ 항목은 주택성능표시에서 농도를 측정하는 물질

* 포름알데히드와 클로피리포스는 건축기본법의 규제대상 물질

■ 3,000㎡ 이상의 흥행장, 백화점, 사무실, 학원, 여관 등 다중이용시설에 대하여 CO, CO₂, 부유분진에 대한 기준 설정(건축물의 위생적 환경 확보에 관한 법률)

관리대상	CO	CO ₂	부유분진	온도	상대습도	기류
기준	10ppm	1,000ppm	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	17~28℃	40~70%	0.5m/s

□ 문부과학성 : 학내 실내공기질 기준

대상 물질	CO	CO ₂	NO ₂	부유 분진	낙하 세균	포름 알데히드	톨루엔	자일렌	파라디 클로로벤젠	에틸 벤젠	스티렌
기준	10 ppm	1500 ppm	0.06 ppm	0.10 mg/m ³	10 CFU/m ³	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	870 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	220 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

※ 그밖에도 환기회수 및 진드기 알레르겐 기준에 대해 규정

□ 유기용제 대상 물질

- 노동안전위생법 시행령 별표 제6의2 유기용제(제6조, 제21조, 제22조)
- 작업환경평가기준(제2조)

구분	화 학 물 질	농도[ppm]
1	아세톤	500
2	이소부틸알코올	50
3	이소프로필알코올	200
4	ISO 펜틸 알코올	100
5	에틸에테르	400
6	에틸렌글리콜 물건 에틸에테르	5
7	에틸렌글리콜 물건 에틸에테르 아세테이트	5
8	에틸렌글리콜 물건 부틸에테르	25
9	에틸렌글리콜 모노메틸에테르	5
10	O-디클로르 벤젠	25
11	크실렌	50
12	크레졸	5
13	클로르벤젠	10
14	클로로포름	10
15	초산 ISO 부틸	150
16	초산이소프로필	100
17	초산 ISO 펜틸	100
18	초산에틸	200
19	초산 부틸	150
20	초산 프로필	200
21	초산 펜틸	100
22	초산 메틸	200
23	사염화탄소	5
24	시클로헥사노르	25

구분	화 학 물 질	농도[ppm]
25	시클로헥사논	25
26	1,4-디옥산	10
27	1,2-디클로로에탄(2 염화에틸렌)	10
28	1,2-지크로르에틸렌(2 염화아세틸렌)	150
29	지크로르메탄(염화 메틸렌)	50
30	N,N-지메치르호름아드	10
31	스틸렌	20
32	1,1,2,2-테트라 크롬 에탄(4염화아세틸렌)	1
33	테트라 크롬 에틸렌(파크로르에틸렌)	50
34	테트라 히드로 프랑	200
35	1,1,1-새 크롬 에탄	200
36	새 크롬 에틸렌	25
37	톨루엔	50
38	2 황화탄소	10
39	노말 헥산	40
40	1-부탄올	25
41	2-부탄올	100
42	메타놀	200
43	메틸 ISO 부틸케톤	50
44	메틸에틸케톤	200
45	메틸 시클로헥사노르	50
46	메틸 시클로헥사논	50
47	메틸 부틸 케톤	5