

# SEMATECH의 벌크 (BULK)가스공급 시스템의 설치와 보증 (CERTIFYING)

## - 목 차 -

1. 서 론
2. 제조기술
3. 제품배달과 운송
4. 가스공급 시스템
5. 가스분배 (DISTRIBUTION) 시스템
6. 가스 분석
7. 분석 결과
8. 결 론

한국공기청정연구조합  
자 료 실 제 공

## 1. 서 론

여러가지 온도와 압력의 가스를 필요로 하는 많은 프로세스 기술(process technology)을 고려할때, 반도체 장치의 제조에 있어서 프로세스 가스순도(process gas purity)의 중요성이 매우 크다. 중대한 오염물질(contaminant)의 목록이 아직 완성되지 않은 반면, IC제조동안에 웨이퍼(Wafer)의 주위환경 또는 “화학권(chemosphere)”에 있어서 가능한 오염물질이 없어야 한다는 것이 보고되었다. 프로세스 가스에 있어서 여러가지 수준(level)의 입자(particle), 산소(oxygen), 수분(moisture), 금속물질과 탄소를 함유하는 물질(carbonaceous material)이 알루미늄 필름(aluminum film)의 침전, 에피탁셀(epitaxial)필름의 침전(deposition)과 성장(growth) silicide의 형성 그리고 metal-oxide 반도체(semiconductor)의 전반적인 질과 특성에 있어서 바람직하지 못한 변화(change)를 유발한다는 것을 보여주었다. 축적된 물질을 당기는 힘이 세고 그리고 필름침전을 방해하기 때문에, 수분이 가장 무서운 오염물질이다. 앞으로는, 저온의 프로세스도 현재 비교할 수 있는 프로세스보다도 훨씬 적은 수분과 산소를 요구할 것이다. 프로세스 장비의 연결점(point of connection)에서 더 이상의 오염을 방지하기 위해서는 가스분배 시스템(distribution

system) 의 설계와 그것의 설치하는 방법이 중요하다는 것은 널리 거론된바 있다.

이러한 사실을 인식하면서, Sematech 는 1988 년 6 월에 고순도가스 (high-purity gas) 의 요구조건을 만족시키기 위해 Union Carbide Industrial Gases, Inc.

(Linde Division) 과 동업을 시작했다. 이 동업의 영역 (scope) 은 모든 벌크 질소, 산소, 아르곤과 수소의 공급, 각 시스템을 위한 정제기 (purifier) 와 가스 감시 (monitoring) 시스템 뿐만 아니라 관련된 공급·분배시스템 (탱크, 기화기 (vaporizer), 컨트롤 등) 을 포함한다. 시스템을 작동하고 유지하기 위하여 현장 가스관리자가 항상 상주하였다. 더구나, Linde는 설치기간 동안에 분배시스템의 설계를 재검토하고, 계약자와 상의하면서 시스템 보증을 위해 필요한 분석을 했다.

Phase	Year	Maximum impurity (ppb)
I	1989	< 100
II	1990	< 10
III	1993	< 1

**Table 1 :** 연결점과 사용점에서 가스순도에 대한 Sematech 의 목표

연결점과 사용점 (point of use) 에서 가스순도의 레벨 (level) 이 Table 1 에서와 같이 세 단계로 개선되어야 한다고 Sematech는 프로젝트 초기에 정의했고, 그

시스템은 Phase II 수준으로 보증되었다. 이 글은 그러한 목표를 성취하고 설치와 보증 (certification) 에 대한 세부사항을 제공하는 시스템을 설명한다.

## 2. 제조기술

Sematech를 공급하는 Linde플랜트는 ppm(parts per million) 또는 그 이하의 농도로 정의된 불순물 (예: 수분과 산소) 를 함유한 기체와 액체의 질소, 산소, 아르곤과 액체수소 (liquid hydrogen)을 제조하기 위해서 저온분리 공정 (cryogenic separation process) 를 사용한다.

오염물질과 플랜트 작동 상태의 지속적인 감시와 같은 통계적인 프로세스 컨트롤 절차가 양질 제품의 지속적인 공급을 보장하기 위해서 채택된다.

(1) 질소 : 가스상태에서 질소는 몇 ppm 정도의 가벼운 가스 (네온, 헬륨, 그리고 수소) 를 함유하지만, 질소가 액체상태로 제조될 때는 이러한 가스들은 근본적으로 함유되지 않는다. 그러나, 기체인 액체이던간에 질소는 아르곤과 몇 ppm정도의 산소, 일산화탄소 (carbon monoxide) 를 함유한다. 모든 다른 공기 성분 (total hydrocarbons, krypton, xenon, 이산화탄소, 수분 등) 은 산소보다 휘발성이 적어서 증류 (distillation) 프로세스에 의해서 적은수치의 ppb(parts-per-billion) 정도까지 감소시킬 수 있다.

(2) 산소 : 산소로부터 아르곤을 분리하는데 필요한 조건의 결과로서 산소제품은 본래부터 가벼운 가스 (Ne, He, H), 질소, 그리고 일산화탄소를 함유하지 않는다. 아르곤은 전형적으로 2000 ppm(0.2%) 이하까지 제거된다.

저온 공기분리 공정에서, 산소보다 휘발성이 적은 공기성분은 증류탑이전에는 제거되지 않고 액체산소에 집적될 것이다. hydrocarbon 또는 알지도 모르는 오염물질(이산화탄소와 수분 같은 것)의 집적(accumulation)이 안전을 이유로 허용되지 않기 때문에, 흡착식 정제(adsorptive pre-purification) 방법이 증류탑으로 들어가는 이 오염물질의 수준(level)을 조절하기 위해서 채택되고 관련된 장비의 작동이 감시된다. 결과로서, 액체산소의 이산화탄소 함유는 보통 100 ppb 이하이고 주성분이 메탄(methane)인 total hydrocarbon 함유는 약 15 ppm이다. 액체산소는 또한 전형적으로 약 5에서 10 ppm의 krypton과 xenon을 함유한다.

더 작은 hydrocarbon 또는 이산화탄소 함유율을 얻기 위해서, 또는 아르곤, krypton과 xenon에 있어서 좀더 엄격한 사양을 만족하는 초고순도(ultra-high-purity) 산소를 제조하기 위해서 추가적인 저온증류(cryogenic distillation) 단계 또는 다른 방법이 요구된다. 현장의 정제기(purifier)를 사용하여 아르곤과 다른

rare gas를 제외한 hydrocarbon과 이산화탄소를 제거할 수 있다.

(3) 아르곤 : 가공하지 않은 아르곤은 공기분리시스템의 한 탑에서 회수되고 더 가공된다. 회수(recovery) 공정은 산소와 질소보다도 더 불순물을 몇 ppb 수준까지 감소시킨다. 그러나, 정제(refining) 공정은 최종 제품에 어떤 불순물을 함유케 할 수 있다. 끓는 점의 차이가 작기 때문에 가공하지 않은(crude) 아르곤으로부터 잉여 산소를 분리하는 것이 증류로서는 정상적으로 수행되지 않는다. 심지어 정제 공정중에 함유된 산소 모두와의 반응에 필요한 것보다도 많은 양의 수소가 의도적으로 첨가된다. 그 흐름(stream)은 함유된 산소, 질소, 수소 그리고 수분이 제거되는 산화 촉매상(oxidation-catalyst bed)을 통과한다. 이 흐름의 산소레벨은 약 20 ppb이다. 수소와 재결합한다면 메탄이 나타날지 모르며, 반응이 불충분할지라도 메탄산화의 결과로서 적은 양의 이산화탄소가 나타날지 모른다. 이산화탄소와 수분의 molecular-sieve 제거방법에 따르면 그 흐름은 몇 ppm까지 질소를 분리하기 위해 저온으로 증류되고, 또한 휘발성이 좋은 수소를 완전히 제거한다. 그러나 산화되지 않은 메탄은 정제된 액체 아르곤에 남아 있을 것이다. 액체 수소의 사용은 이문제를 최소화한다.

(4) 수소 : 헬륨(helium)과 네온(neon)을 제외하고 액체수소에서 어떤 성분의 최대 용해도(solubility)는 100 ppb 이하이다.

제조공장의 액화장치 열교환기 (liquefier heat exchanger) 에 동파 및 막힘을 방지하기 위하여, 공급되는 흐름은 일련의 저온 흡착트랩 (cryogenic adsorption trap) 을 사용하여 정제된다.

### 3. 제품 배달과 운송

Sematech를 위한 가장 중요한 요구 조건은 고객의 저장 탱크까지 철저히 고정 정 제품을 배달하는 공급자의 능력이었다. 그래서, 배달과정중에 오염도 (impurity level) 가 증가하는가, 만일 그렇다면 그러한 증가에는 어떠한 환경이 관계가 있는가를 결정하기 위해 연구를 했다. 그 프로그램은 월 사용용량이  $3.5 \times 10^6 \text{ ft}^3$  이며 Sematech 가 아닌 다른 고객에게 두달이상 동안 액화질소 배달을 감시하는 것으로 구성되었다. 전용배달 트레일러 (trailer) 가 사용되고, 산소와 수분의 양을 분석하기 위해서 제조공장 저장 탱크와 고객 공급시스템의 흐름에 따라 샘플링 (sampling) 을 했다.

두 샘플링 위치에서 오염농도를 비교해 보고 수분농도에 있어서 통계적으로 뚜렷한 차이점이 없다는 것을 알았다. (두 위치에서의 측정치는 20 ppb 이하였다.) 그러나, 고객공급 라인에서의 산소농도는 공장 저장 탱크에서보다 뚜렷이 컸다. 이 차이는 평균 13 ppb 였지만 결코 20 ppb 를 초과하지 않았다. 각 배달 때마다 고객 공급라인에 있어서 산소농도가 약 5 ~ 10 ppb 정도의 증감이 있었다. 오염농

도를 분석 (analysis) 함으로써 순도사양 범위안에서 제품을 운송·배달하는 능력을 확인하고, 초고순도 벌크가스의 운송도중에 미리 조심하는 것이 필요하다는 것을 강조하였다. 더구나, 가능한 대기의 오염을 최소화하기 위해서 운송연결시 극도로 작은 dead volume 을 가진 운송 호스-퍼지 모듈 (hose-purge module) 이 Sematech에 채택되었다.

### 4. 가스공급 시스템

Sematech의 시설에서 4개의 벌크가스를 저장하고 공급하는 시스템은 가스순도를 유지하거나 개선시키고 입자 (particle) 가 없는 가스를 배달하기 위해서 설계되었다. 각 시스템은 약간 다르지만, Figure 1에 도식적으로 나타난 것이 전형적이다. 설계된 성질과 청정도를 유지하고 제품의 고순도를 현장 보증하기 위해서, 여러가지 부품이 시스템의 마지막 조립과 설치에 있어서 모든 단계를 거쳤다.

4개의 시스템은 316L 스테인레스강 (stainless steel) 으로 제작되고, 저온의 안쪽 컨테이너 (cryogenic inner container) 가 내장된 저장 탱크를 가지고 있다. dead zone이 없도록 특별히 설계되었기 때문에, 외부 파이프뿐만 아니라 내부 컨테이너 사이의 시입레스 (seamless) 파이프도 또한 316L 스테인레스강이다. 모든 파이프와 밸브 표면은  $Ra_{\text{max}} 10 \mu\text{in}$  이하

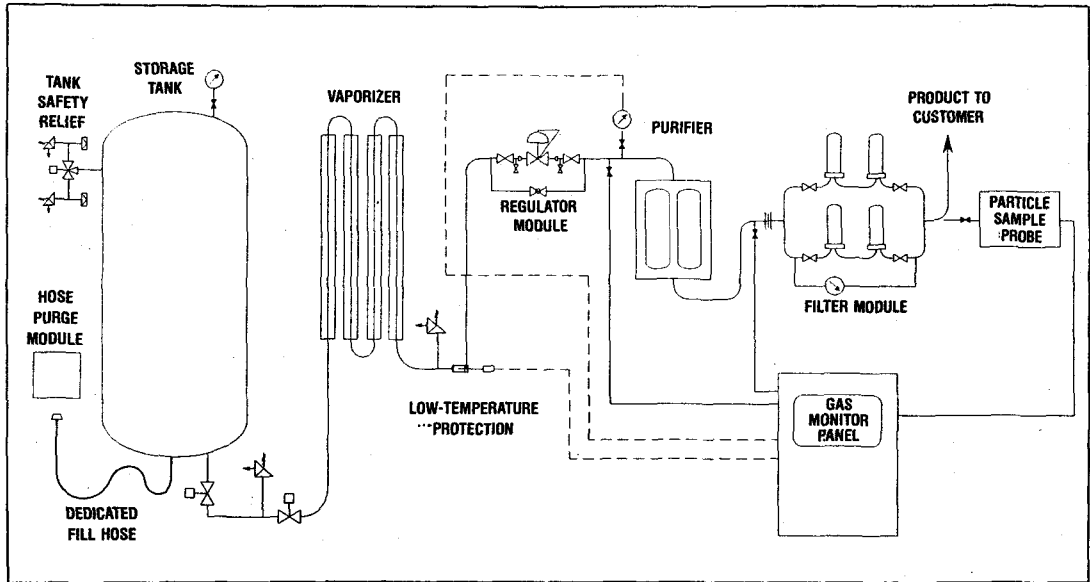


Figure 1: 전형적인 Sematech의 고순도가스 저장과 공급시스템

의 electropolishing 마감이다. Sematech에 설치하기에 앞서, 탱크는 trichloroethane과 질산세척에  $0.2\mu\text{m}$  필터로 여과된 DI수로 행구고,  $0.2\mu\text{m}$  필터로 여과된 질소로  $-40^\circ\text{F}$ 의 노점까지 반복건조시키는 방법을 사용하여 크리닝했다.

각 공급시스템은 또한 특정가스의 최대유량을 얻을 수 있는 적정 사이즈의 기화기(vaporizer) 모듈을 포함한다. 이 모듈은 적절한 열교환 표면을 갖기 위해 알루미늄핀들기(aluminum finned extrusion)를 가졌다. 각들기는 Ra max.  $10\mu\text{in}$  이하로 표면 마감되고 electropolishing한 316L 스테인레스강 튜우브(tube)와 함께 정렬되어 있다. 기화기 패키지는  $\leq 1$  particle/

$\text{ft}^3 \geq 0.1\mu\text{m}$ 의 순도까지 filtering된 고순도 아르곤가스의 퍼지아래 자동 버트용접(orbital butt welding)을 사용해서 설치된다.

기화기를 거친후, 프로세스 질소, 산소, 아르곤과 수소가스들은 수분과 산소와 같은 활성적인 오염물질(active contaminants)의 잉여물(residue)을 제거하기 위해서 정제된다. 특히, 질소정제기(purifier)는  $25,000\text{ft}^3/\text{hr}$ 의 대유량으로 부터 1ppb이하까지 산소, 수소, 일산화탄소를 제거한다. 오염물질제거는 24시간 half-cycle로 순환온도에서 작동하는 흡착기(adsorber) 시스템안에서 수행된다. 동일한 시스템이 half cycle의 끝부분 흐름에 놓

여진다. 첫번째 시스템은 전기적으로 가열되고 반대방향으로 off-stream 시스템에 되돌아가는 정제된 흐름의 일부(약 2%)를 사용하여 재생산된다. 그 유출물은 약 10시간 정도 지나면 바람직한 재생산 온도에 도달한다. 가열기(heater)가 꺼지고 정제된 질소가 계속 흐르는 가운데 흡착기 시스템이 주위의 온도로 냉각된 후 또 4시간동안 고온의 퍼지가 계속된다. 이 시스템은 24시간 비축능력을 보유하도록 설계되어 있다. 공급시스템의 기화기도 정제기도 비축(reserve)기간동안 작동을 유지할 전기가 필요하지 않기 때문에, 이 설계는 단시간 정전 또는 다른 전기관련 문제동안에도 정제된 질소의 계속적인 공급을 보장한다.

산소 시스템의 정제기는 상승된 온도에서 촉매 산화(catalytic oxidation)에 의해서 hydrocarbon을 제거한다. 이 프로세스중에 일산화탄소 또는 수소도 또한 제거된다. 계속해서 수분과 이산화탄소는 molecular sieve의 방법에 의해 제거된다. 아르곤 정제기는 산소, 수분뿐만 아니라 일산화탄소, 수소 또는 이산화탄소를 제거하도록 설계된다. 또, 수소정제기는 산소, 수분과 이산화탄소를 제거한다. 각 시스템에 있어서 정제기는 피해를 줄수 있는 범이하로(보통 10ppb) 활성적인 오염물질을 제거한다.

각 정제기 시스템의 하류에는, 작동가스 유량에서 입자제거(particulate removal)을 최대화 하고 유량 급증(surge)를 수용하기 위해서 특별히 설계된 filter

module을 가지고 있다. 더 좋은 quality control를 위해 기초립된 filter module은 electropolishing한 (Ra max.  $10 \mu\text{in}$  이하) 316L 스테인레스강 필터 하우징(filter housing), 튜우빙(tubing)과 2개의 purge port를 가진 밸브로 만들어진다. 모든 purge port는 VCR fitting (Cajon, a Swagelok Co., Macedonia, OH)을 사용한다. 필터막(membrane) 재질은 여과될 제품에 적합한 것으로 선택했다.  $0.003 \mu\text{m}$  입자(particle)의 보증된 포집율을 가진 Stacked-disk 카트리지(cartridge)가 산소시스템에 사용되는 반면,  $0.006 \mu\text{m}$  입자(particle) 포집율을 가진 주름막(Pleated membrane) 카트리지는 질소, 아르곤, 수소시스템에 사용된다. filter element는 Sematech의 목표에 부합되는지 효율성을 결정하기 위해서 Linde의 개발연구소에서 입자의 제거능력과 제품의 적합성을 위한 검사를 광범위하게 받았다. 이 프로그램은 Phase III 목표를 달성하는데 필요한 최신정보를 준비할 filter 제조업자와 함께 설정되었다.

각 공급 시스템의 라인 압력은 electropolishing한 316L 스테인레스강 레귤레이터(regulator), isolation and bypass 밸브, 튜우브와 purge-port fitting으로 구성된 prefabricating 한 압력 regulating module에 의해서

유지된다. 모든 부품은 Ra max.  $10\mu\text{in}$  이하의 표면마감을 갖는다. 고순도 아르곤 퍼지하에 자동 버트 용접 (orbital butt welding)이 모든 shop prefabrication 과 현장조립연결 (field-assembly connection)에 사용된다.

### 5. 가스분배 (DISTRIBUTION) 시스템

가스를 정확한 사양으로 제조하고 정제할 수 있어도 제품이 오염물질에 오염이 되어서 사용점에 배달된다면 가치가 없다. 더구나, piping 분배시스템의 설계는 Sematech-Linde 프로젝트에서 중요한 요소이다. 동업의 첫번째 임무는 직접오염원을 없애고 상호오염을 최소화하도록 배관 시스템 설계를 재검토하는 것이었다.

기본 배관 시스템 설계를 검토한 후, 소재와 설치사양의 재검토를 시작했다. 프로젝트를 위한 많은 자재가 매우 tight한 공정에 맞추기 위해 미리 주문되었다. 그러나 Linde는 몇가지 변경을 제안했고, 계약자와 Sematech는 동의했다. 예를 들어서, 현장에서 튜우브 세척 (cleaning) 방법을 변경했고, 다른 세척제 (cleaning agent)를 사용했다.

다음에는, 이미 인도된 부품의 청정도와 누출율 (leak rate)를 점검했다. 현장 누출율 사양은  $1 \times 10^{-6} \text{ atm cc/sec}$ 였다. 실제로 모든 측정된 누출율은  $1 \times 10^{-9} \text{ atm cc/sec}$  이하였고, 이는  $1 \times 10^{-7} \text{ atm cc/sec}$ 의 공급업자 누출율 사양을 초과했다. 연구소에서 검

사한 부품은  $10^{-11} \text{ atm cc/sec}$  이하의 누출율을 가졌다. 현장에서  $1 \times 10^{-10} \text{ atm cc/sec}$  이하로 누출율을 보증하기 위한 검사조건을 설정하기 위해서 예비작업을 했다. (현장에서 그렇게 낮은 누출율을 얻는다는 것은 앞으로의 설치작업을 위해서 중요하다.)

실제 배관 설치하는 그 프로젝트를 위해 동의된 상세 사양과 절차를 따랐다. 기본적으로, 액체아르곤으로부터 공급된 퍼지가스를 사용하고 class 100 조건하에서 모든 용접을 했다. 산소, 수분, 이산화탄소가 10ppb 이하로  $< 1 \text{ particle/ft}^3 \geq 0.1\mu\text{m}$ 로 아르곤을 정제하고 여과시키기 위해 재생산 가스 (regenerable gas)를 현장에 공급했다. 자재 사양에는 모든 부품이 Ra max.  $10\mu\text{in}$  이하의 표면 마감한 electropolishing 316 L 스테인레스강이 되도록 요구했다. 모든 항목을 "microelectronics service을 위한 유기용제 세척 (solvent cleaned)"으로 구매했고, 출하에 앞서 공급자에게 밸브, fitting과 튜우브를 보증하는 프로그램을 설정했다. 더우기, 모든 부품은 엄격한 현장검사를 받고 필요하다면, 크리닝을 했다. 기본철학은 "to design clean, purchase clean, and install clean"이었다.

청정도가 유지된다는 것을 보장하기 위해서, Linde 사람들은 설치기간동안 오염이 가능한 각 배관 시스템을 체크하면서 계속 현장에 상주했다. 이 test는 수분, 산소, to-

tal hydrocarbon, 입자와 같은 오염물질을 막기 위한 정제된 아르곤 퍼지가스 검사를 포함한다. 그 목적은 작동이 정상적으로 빠르고 경제적으로 될수 있도록, 시스템 완성이전에 어떠한 문제점을 발견하는 것이었다.

가스의 분순물과 입자에 문제가 일어나지 않은 반면, 한 로트 (lot) 의 튜우브에서 야금학적인 (metallurgical) 문제가 설치 testing 동안에 노출되었다. 변칙적인 것 (anomaly : 성분이 다른 금속 bead) 이 자동용접중에 3in 튜우브 용접부위에 형성되었다. Linde Materials Engineering Laboratory에서 행한 몇가지 test 는 anomaly가 조금 높은 칼슘 (calcium), 알루미늄과 황 (sulfur) 을 함유하고 있다는 것을 지적한다. 계약자와 Linde 용접부 (welding department) 의 많은 문헌 연구와 용접 testing 후에 anomaly-formation 형상은 최소화되었지만 결코 완전히 제거되지는 않았다. 다행히, test 는 anomaly가 어떤 구조적인 영향이 없다는 것을 밝혔다. 그럼에도 불구하고, 이특성이 없는 것으로 대체된 튜우브가 프로세스라인에 사용되었고 원래 튜우브는 nonprocess line 에만 사용되었다.

전반적인 분배시스템의 영역은 완성된 설치 사이즈에 있어서도 반영된다. 예를 들어서, 벌크 가스시스템의 총 용접부 (최종 장비 연결은 제외하고) 는 11,437 개이다. 960 ft<sup>2</sup> 의 안쪽 표면적 (internal surface area)

을 가진 질소시스템은 433개 밸브를 포함하고, 아르곤 시스템은 237개의 밸브를 갖고, 산소시스템은 223개의 밸브, 그리고 수소시스템은 188개의 밸브를 가진다.

## 6. 가스 분석

가스 정제기와 분배시스템의 효율이 test 로써 증명될 수 있지만, 라인중 (on-line) 의 분석은 가스순도의 보증에 있어 마지막 단계이다. Sematech 프로젝트중, 가스 분배시스템을 보증하기 위해 설치도중에 4번 (약 25, 50, 75 와 100%의 공정) 퍼지 아르곤으로 그러한 분석을 했다. 설치가 끝난후, 프로세스 장비 몇개의 연결점 (point of connection) 에서 실제 제품가스의 보증을 실시했다. 일단 시스템이 정상 가동하면, 정제된 가스는 전용 가스 감시시스템 (Gas Monitoring System : GMS) 에 의해 계속 감시된다.

1) 분석기 (Analyzer) : 이 임무를 위해 선택된 분석기 (Table-II 참조) 는 대부분 계속적이고, 온라인 (on-line) 이고, 한개의 불순물을 측정하며 (single-impurity-measurement), 가장 감도 (sensitivity) 가 좋은 장비 (instrument) 이다. 그것들은 또한 Linde 실험실과 현장연구에 있어 proven track record 장치를 가지고 있다.

2 또는 10ppb의 탐지한계를 가진 화학전지 (galvanic cell) 분석기는 산소를



Impurity	Analyzer Principle	Application		Limit of Detection <sup>a</sup>
		Certification	Continuous Monitoring	
O <sub>2</sub>	Galvanic cell	X	X	2 or 10 ppb
H <sub>2</sub> O	Piezoelectric	X	X	10 ppb
THC	Flame ionization	X		10 ppb
CH <sub>4</sub>	Nondispersive infrared		X	10 ppb
CO <sub>2</sub>	Nondispersive infrared	X	X	10 ppb
H <sub>2</sub>	Gas chromatograph—reduction gas detector	X	X	10 ppb
CO	Gas chromatograph—reduction gas detector	X	X	1 or 2 ppb
Particles	Laser light scattering	X	X	0.1 μm
Particles	Condensation nuclei		X	0.01 μm

<sup>a</sup>Limits of detection are approximate, vary with analyzer, and are improved by signal averaging to reduce noise impact.

**Table II : 보증과(certification) 감시를 위해 Sematech에 사용된 가스분석기 (gas analyzer)**

측정하는데 사용된다. 이 전지는 은 음극 (silver cathode), potassium hydroxide 전해액과 cadmium 또는 납 (lead) 양극 (anode) 으로 구성되며, 산소 샘플가스의 농도 (concentration) 에 따라 비례적인 직류 (galvanic current) 를 일으킨다.

10ppb의 낮은 한계를 가진 압전 수정 결정 분석기 (piezoelectric quartz crystal analyzer) 로 수분을 측정한다. 그것은 건조된 가스와 샘플가스의 수분함유를 비교한다. 결정체의 습기를 빨아들이는 코팅 (coating) 에 흡수된 수분에 의해 증가된 양은 감소된 진동수 (oscillation frequency) 로 나타내며, 미리 결정된 수학 함수에 의해 가스의 수분값에 관계한다.

메탄 (methane) 으로 보고된 total hydrocarbon은 10ppb의 낮은 탐지범위를 가진 화염이온화 (flame-ionization) 분석기로 측정한다. 그러나 가스감시에 있어서 연료 (fuel) 가스가 불필요하게 하기 위해서 10ppb의 탐지범위를 가진 비분산성 적외선 분석기 (nondispersive infrared continuous analyzer) 가 사용된다. 전달된 파장은 메탄인 carbon-hydrogen의 늘어난 진동수에 관계하며, 다른 hydrocarbon보다 약간 높은 에너지이다. 그래서 더 높은 hydrocarbon이 효과적으로 탐지되지 않는다. 그러나, hydrocarbon 불순물이 프로세스 가스에 나타날때 메탄은 무게에 있어 식별이 되기 때문에 이것은 큰 문제가 아니다. 이산화탄소 또한 10ppb 탐지한계를 가진 nondis-

persive infrared analyzer을 사용하여 측정한다.

아르곤, 질소, 산소에 있어 수소와 일산화탄소의 레벨은 가열된 산화 수은 (mercuric oxide) “환원 (reduction) 가스” 탐지기를 가진 가스 크로마토그래프 (chromatograph)을 사용하여 측정한다. 산화물은 수은증기를 형성하기 위해서 가스를 감소시키도록 반응하며, 자외선 흡수에 의해 결정된다. 수소와 일산화탄소 탐지한계는 각각 약 10과 1ppb이다. 다른 관심있는 오염물질은 산화물과 반응하지 않기 때문에 탐지되지 않고 남아 있다. 수소제품 보증을 위해서, 일산화탄소는 mathanation catalyst (촉매)와 화염이온화 (flame-ionization) 탐지를 가진 가스 크로마토그래피에 의해 측정된다.

감시에 있어, 이 분석은 수소에 영향을 받지 않는 것으로 알려진 환원가스 탐지기 크로마토그래프와 함께 on-line으로 행해진다. 그것은 일산화탄소에는 2 ppb의 낮은 탐지한계를 갖는다.

보증작업하는 동안 입자 계수 (particle counting)와 분류 (classification)는 0.1에서 1.0  $\mu\text{m}$  이상까지 입자를 재는 laser counter를 사용해서 한다. 계속적인 감시를 위해서는 GMS 수소와 산소 판넬 (panel)은 라인압력에서 작동하는 laser counter를 사용한다. 0.01  $\mu\text{m}$ 까지 입자 (particle)를 탐지하는 condensa-

tion nucleus counter는 수소를 제외하고 모든 GMS 판넬에 또한 사용된다. (왜냐하면 수소에 가능한 시스템이 없기 때문이다.)

(2) 가스 감시 시스템 : 앞에서 언급했듯이 정제된 프로세스 가스는 자동화된 computer 제어 가스 감시 시스템을 사용해서 입자와 불순물이 계속해서 감시된다. GMS 판넬은 Sematech의 특별 요구조건에 부합하기 위해 Linde에 의해 설계되고, 개발되고 만들어 졌다.

분석기와 sampling 시스템에 추가해서, 각 GMS 유닛은 on-board STD BUS 컴퓨터, 데이터 concentrator와 컴퓨터, 분석기, 밸브사이에서 공유영역 (interface)을 제공하는 일련의 I/O (input-output) 모듈을 포함한다. 각 유닛은 데이터 환원 (reduction)과 보관을 위해서 telephone modem, local console, 프린터와 pc (personal computer)에 접근방법을 가지고 있다.

GMS는 electropolishing한 316L 스테인레스강 부품 (Ra 5~15  $\mu\text{in}$  표면 마감) butt용접 Fitting과 purge-port 연결의 특징을 갖기 때문에 분배시스템 (distribution system)과 유사하다. 밸브는 공기압으로 작동하는 벨로우즈 (bellows) 타입이고, dead zone과 누출 (leak)을 없애기 위해 특별한 고려를 했다. particulate-sampling 시스템은 특별히 조절된 inlet jet에 의해 분석기에 계속적인 가

스흐름을 제공한다.

STD BUS데이터 획득과 컨트롤 컴퓨터는 프로그램된 사이클(보통 매일 또는 매주)에 따라 분석기가 자동적으로 감시되지 않는 눈금조정(calibration)을 하도록 하며 장비들은 수동조정(manual adjustment) 없이 0(zero)와 편차가 올바르게 되도록 한다. 수동조정 또한 가능하다. 모든 수집된 데이터는 local과 remote 터미널에 나타난다. 순도 경고(purity alert)와 시스템 오기능(malfunction)을 RS-232 modem interface를 통해서 멀리 떨어진 곳까지 보고할 수 있고, 정보와 시간별 평균을 포함한 누적보고(cumulative report)를 매일 프린트할 수 있다.

PC(personal computer)에서 작동하는 감시보고 시스템은 표준상업용 또는 독점 software와 구성(configuration) 화일로 되어 있다. 그것은 경고보고, 장비상태 전시(display), 실시간(real time) 데이터시스템 블록 다이어그램(block diagram), historical trending과 온라인 통계적 공정제어에 접근한다. 실시간(real-time) 분석기의 결과를 실제의 불순물 농도값으로 나타내게 하기 위해서 0(zero) 또는 눈금조정을 위한 정정을 할 수 있다. 모든 프로세스 값은 나중을 위해 보관되며, 리포트에 포함하기 위해 표나 그래프로 나타낼 수 있다. 또한 많은 정보에 modem을 통해서 멀리서도 접근(access) 할

수 있다.

## 7. 분석 결과

(1) 보증시험(Certification testing) : 설치동안에 정제된 아르곤 퍼지를 하는것이 가치가 있는 것으로 밝혀졌다. 퍼지 가스로 분석 측정(analytical measurement)이 시작된 후, 4~8시간 안에 평형상태의 값에 도달했다. 공사가 완료된 후, 라인들은 설계된 유량으로 정제된 아르곤가스에서 4개의 벌크가스로 전환되었다. 전환하는 동안 대기에 노출되지 않았기 때문에 라인은 매우 청정한 상태로 남아있고, 주입부는 잔존하는 아르곤을 제거하는 것이었다. 정제기에서 300~500ft 떨어진 4개의 독립된 라인의 샘플 지점(sample point)에서 나타나는 프로세스가스 보증의 결과가 Table III에 있다. 입자 테스트의 결과는 Table IV에 주어졌다. 이 테스트는 작동시스템에서 보통 사용되는 필터의 연결없이 행해졌다. 궁극적으로, 앞으로의 입자테스트는 0.1 $\mu$ m 사이즈의 데이터까지 나타낼 것이다.

Table III의 데이터는 불순물이 대부분의 경우에 10ppb이하 였다는 것을 보여준다. 중요한 반응적인 불순물(산소와 수분)은 모든 경우에 10ppb이하였다. 3일이상동안 질소라인의 말단에서 측정된 산소값의 예가 Figure 2에 주어졌다. 이 데이터는 산소가 2ppb라 불리는 분석기의 탐지한계 이하에서 계속 있다는 것을 보여준다. 50ppb 산소로 내

**Table III: 제품 보증 분석  
의 결과**

Impurity	Gas Product (ppb)			
	Nitrogen	Oxygen	Argon	Hydrogen
O <sub>2</sub>	<2-9	-	2-7	<2-6
H <sub>2</sub> O	<10	<10	<10	<10
THC	<10	<10	34-51	<10
H <sub>2</sub>	<10	-	<10	-
CO <sub>2</sub>	<10	<10	<10	<10
CO	<1	<1	<1	<2

Particle Size (μm)	Gas Product (Particles/cu ft)			
	Nitrogen	Oxygen	Argon	Hydrogen <sup>a</sup>
≥ 0.10	12.4	1.2	0.6	0.19, 1.5
≥ 0.30	0.9	1.9	0.1	0.04, 0.4
≥ 0.50	0.07	0.04	0.01	0.01, 0.09
≥ 1.0	0.00	0.01	0.00	0.00, 0.04

<sup>a</sup>Two hydrogen lines were tested.

**Table IV : 필터연결점이  
없는 제품 보증입자 테  
스트의 결과**

부 눈금조정을 했는데, 분석기가 기능적이고 정확하다는 것을 보여준다.

Table III에서 보듯이, 아르곤 보증테스트는 50ppb정도의 hydrocarbon 오염 수준을 나타낸다. 이 문제는 배달된 아르곤으로 추적되었고, 이 가스는 사양에 따라 다른 플랜트로부터 공급되고 있다. hydrocarbon의 발견은 Sematech에서 보증을 위해 사용된 매우 민감한 화염이온화(flame-ionization) 장비 사용에 기인하지만, 본래 제조플랜트에는 사용할 수 없었다.

배달(delivery) 시스템을 보증하는데 있어서 용이성은 주로 공사증과 정제된(purified) 아르곤 퍼지의 지속적인 사용중에 주어진 청정도에 대한 관심에 기인한다. 비관 라인 설치중에 취한 수분과 산소측정은 모든 경우에 이미 50ppb이하였다. 질소

시스템에서, 수분(moisture)은 아르곤에서 질소로 전환하기 전에 12 ppb이하였다. 오염방지에 대한 관심이 시스템의 복잡성때문에 특히 중요했다. 질소배관 혼자 2000개이상 용접개소와 400개 이상의 밸브를 포함하고, 내부 면적(internal area)이 960 ft<sup>2</sup>이다. 비슷하지만 더 작은 시스템인 Tohoku 대학 수퍼 클린룸(내부면적 466 ft<sup>2</sup>)은 500에서 15.5ppb로 건조시키는데 500시간(약 3주)이 필요한 반면, Sematech 시스템은 가스를 전환시키는데 건조기간(dry-down period)이 필요하지 않았다.

(2) 진행 감시(Ongoing Monitoring): 제품 순도는 1989년 4월이후 4개의 GMS에 의해 계속 감시되어 왔다. 모든 데이터는 어느 지점에서의 제품 분석이 불순물과 입자의 레벨을 포함한 원인과 영양 관계

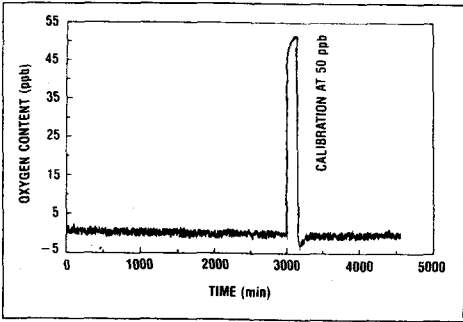


Figure 2: 질소라인의 연결 점에서의 산소분석 결과

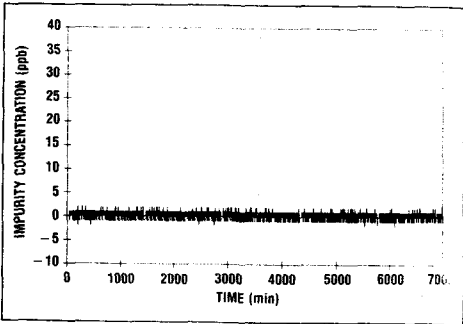


Figure 3: 질소에서의 일산화탄소에 대한 5 일동안의 GMS 그래프

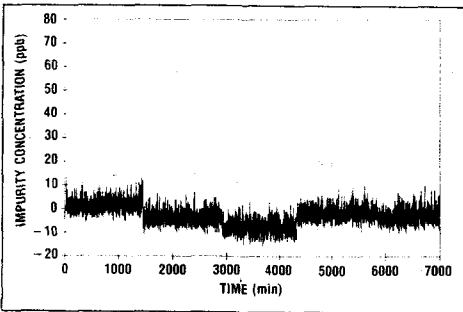


Figure 4: 질소에서의 메 탄에 대한 5 일동안의 GMS 그래프

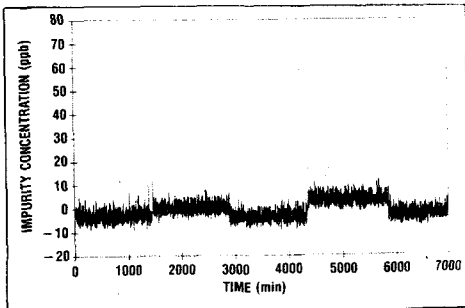


Figure 5: 질소에서의 이산화탄소에 대한 5 일동안의 GMS 그래프

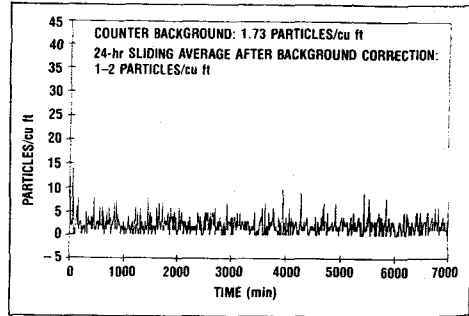


Figure 6: 질소에서의 0.1 $\mu$ m 이상 입자에 대한 5 일동안의 GMS 그래프

(cause-and-effect relationship)를 평가하는데 사용될 수 있도록 보관되어 있다. 예를 들어서 탱크 충전과 가스배달시스템의 혼란이 가스순도에 주는 영향은 이미 결정되어 있고 문제점 해결자(trouble shooter)는 IC제조에서 부딪히는 문제점과 변화성(variability)과 함께 그러한 사건들을 참고할 수 있다.

5일이상 동안 질소에 대해 측정된 GMS 데이터의 예가 Figure 3에서 Figure 6까지에 나타난다. Figure 3은 일산화탄소에 대한 환원가스(reduction gas) 탐지기 크로마토그래프의 결과를 보여준다. 이장비가 연속적이 아니기 때문에, 관독은 크로마토공정에 적합한 시간인 매 5분마다 이루어진다. 그래프에서 알 수 있듯이, 분석기가 일산화탄소에 극도로 민감하지만, 장비의 1 ppb 탐지한계 이상의 아무것도 발견되지 않는다. 보여준 noise-effect는 크로마토그래프 피이크(peak)가 아니고 analog-digital 변환기(converter) 때문이었다. 컴퓨터는 샘플가스 값을 기록한다. 그래

서, 매일 눈금조정 (calibration) 값이 그래프에 나타나지 않는다. 이렇게 극도로 낮은 일산화탄소값은 정제기 (purifier) 의 높은 효율을 반영한다.

Figure 4와 5는 각각 메탄과 이산화탄소 비분산성 적외선 분석기 (nondispersive infrared analyzer) 의 5일 동안 결과를 나타낸다. 비록 기술을 평준화 하므로써 눈금조정 (calibration) 간에 기준선 (baseline)이 꽤 안정될 수 있기 때문에 좀더 민감한 값 (value)를 얻을 수 있지만, 약 10ppb noise band가 메탄에 나타나고, 이산화탄소에는 약간 적은 band가 나타난다. 장비는 매일 0 (zero)에 맞추고 측정되는데 그래프상에 기준선 이동을 유발한다. 일단 눈금 조정 (calibration) 값은 전시 (display) 되지 않는다. 위에서 언급했듯이 메탄과 이산화탄소가 증류 (distillation) 의 효율로 인해 질소중에 나타나지 않을 것이며, 이들 가스의 부재는 GMS에 의해 확인되었다.

레이저 입자 계수기의  $0.1\mu\text{m}$  데이터가 Figure 6에 보여진다. 데이터는 질소  $1\text{ft}^3$  흡입소요시간을 포함한 매 10분마다 기록된다. 입자계수에서 때때로의 죽한 부분 (occasional isolated spike)은 입자수와 별개의 일이기 때문에 이상할 것이 없다.

plot 자체는 본래 계수기 background 때문에 정정되지 않으며, background 정정 후에는  $1.73\text{개}/\text{ft}^3$ 로 측정되고, 24시간 변화하는 평균 (또한 GMS 컴퓨터에 전시된다)은 매우 청정한 시스템을 나타내는  $1\sim 2\text{입자}/\text{ft}^3$ 이었다.

## 8. 결 론

Sematech의 복잡한 벌크가스 배달 (delivery) 시스템 시운전에서의 성공은 그 프로젝트의 기본개념인 "design clean, purchase clean, install clean" 기본철학을 입증하는 것이다. 테스트 결과는 분명히 Linde/Sematech 팀에 의해 개발된 배관 시스템 기술이 phase II 10 ppb 불순물 목표에 부합되도록 보증했다는 것을 보여주었다. 사용된 기술 관리, 품질 보장 (quality assurance) 등 이러한 것들이 순도목표를 달성하게 된 숨은 공로자이다. 프로젝트의 계속된 성공을 보장하기 위해서 GMS 유니트로 지속적인 제품 감시를 하는 것이 문제점을 진단하고 가스순도의 순간기록과 과거기록을 제공하기 위해서는 필수이다. 더구나, 1993년 phase III 1ppb 목표가 아주 가까이 접근하고 있다는 것을 확인하기 위해서 더 좋은 탐지한계를 가진 분석기가 필요할 것이다.