

반도체 공정장비 Gas Scrubber의 에너지 모니터링 시스템개발

김선만* · 임익태** · 안강호†

*한양대학교 일반대학원, **전북대학교 기계설계공학과, †한양대학교 기계공학과

Development of an Energy Monitoring System for Gas Scrubber

Sun Man Kim*, Ik Tea Im** and Kang Ho Ahn†

*Hanyang Unl. Graduated School

**Chonbuk Nat. Unl Mech. DesIgn Eng.

†Hanyang Unl. Dept. of Mech. Eng.

ABSTRACT

We have developed a new energy-consuming monitoring system that has made it possible to measure the energy consumption of a gas scrubber, one of semiconductor processing equipments, and installed this system to the gas scrubber under operating at a manufacture site. Using this system, we have measured consumptions of electric power and processing gas consumed at standby to operating mode. In case of the gas scrubber, processing gas flows continuously into it at standby and operating mode. Therefore, if the electric power has been supplied, the processing gas can flows into the device for 24 hours. Moreover, at operating of gas scrubber, the amount of electricity consumption is 5 kWh. At Standby of gas scrubber, it spends 3kwh. It is certain that the energy consumption is greater at operating mode than at standby mode. The carbon emission rates from 24 hour gas scrubber operation are 236 kgCO₂/day of N₂, 57 kgCO₂/day of electric power and 0.001 kgCO₂/day of cooling water. Most of carbon is emitted from N₂ gas and electric power consumption.

Key Words : Energy Monitoring System, CO₂, Gas Scrubber

1. 서 론

현재 사용되고 있는 반도체 장비의 에너지 사용에 관한 모니터링 방법은 SEMI S23[1]에 개괄적인 내용만 언급이 되어 있다. SEMI S23에서는 200 mm 웨이퍼 10,000장/월을 생산하는 4,400 m² 크기의 FAB을 운영하면서 발생하는 각종 유틸리티의 에너지 소비를 기준으로 단위 유틸리티 가스나 액체의 사용 시 부여되는 양을 산술적으로 계산하여 개략적인 에너지 소비를 유추할 수 있도록 작성된 표준이다.

에너지 소비 모니터링에 관한 표준안은 SEMI S23 이외 발행된 것은 없다. 본 연구에서는 SEMI S23에서 작성된 표준안 보다 정확하고 신뢰성 있는 반도체 공정장비에서 에너지 소비량을 측정하기 위하여 시스템

을 개발하였으며 이 시스템을 반도체 공정장비에 설치하여, 소비에너지를 측정하였다.

반도체 공정 장비인 MOCVD에서는 제품을 생산하면서 유독가스가 발생시킨다. 발생된 유독 가스를 감소시키는 장비인 Gas scrubber는 고온으로 유독가스를 연소시키는 시스템으로 구성되어있다. 유독 가스를 연소시키기 위해 히터를 작동시키며, 발생하는 고온의 열은 냉각수를 유입시켜 장비의 온도를 유지시킨다. 유독 가스를 연소시키기 위해서 산소를 필요로 하는데, 장비에 따라 산소 대신 압축 공기를 유입시키기도 한다.

반도체 공정장비인 Gas scrubber에 유입되는 전기, 가스 및 냉각수 유량을 센서로 측정하여 소비량에 탄소 변환계수[2]를 적용하여 공정 장비가 작동하면서 발생하는 탄소 발생량을 계산하였다. 반도체 공정 장비에서 소비되는 많은 에너지를 저 소비에너지 산업으로 개선하면서 친 환경 및 저 탄소 산업을 육성하고자 모니터링 시스템을 개발하여, Gas Scrubber에 설치하여

†E-mail : khahn@hanyang.ac.kr

에너지 소비량 측정 연구를 하였다.

2. 본 론

Gas scrubber의 에너지 소비 모니터링 시스템을 구성하기 위해서는 공정가스, 냉각수, 소비전력량을 측정하여야 한다. 하지만 대부분의 Gas scrubber 장비들은 공정가스, 냉각수를 MFC와 같은 전자 제어방식 유량계를 채택하여 제어하지 않고 볼 유량계와 같은 수동 제어방식으로 고정 유량의 공정 가스 와 냉각수가 유입된다. Gas scrubber에서 소비되는 공정가스 및 전력량을 Fig. 1과 같이 각 센서에서 측정된 데이터를 탄소배출계수를 적용하여 탄소배출량으로 나타내기 위해서는 유량 및 전력량을 측정 센서가 설치되어야 한다. 유량계(flowmeter)와 전력량계를 gas scrubber에 설치하여 공정 가스 및 냉각수 유량과 소비 전력량을 측정하도록 하였다.

Gas Scrubber에 설치된 유량계에서 측정된 공정 가스 와 냉각수 유량을 센서에서 +0~5 V의 아날로그 출력으로 나타내며, 이를 데이터 수집장치(NI cDAQ-9174, National Instrument)를 이용하여 수집하였으며, 소비 전력 측정을 위해 전력량계(Gimac-I, LS산전)를 Gas Scrubber의 전원부에 설치하여 유입되는 전력 소비량을 측정하였다.

에너지 소비 모니터링 시스템 구성은 위의 Fig. 2와 같이 구성을 하였다. 데이터 수집 장치에서 취득된 데이터를 이용하여 화면에 탄소배출량 및 소비된 공정가

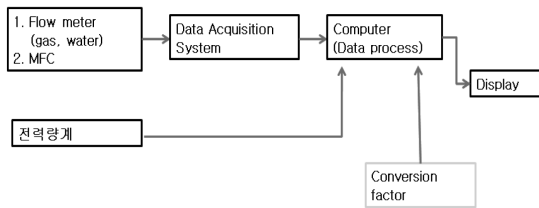


Fig. 1. Data acquisition process.

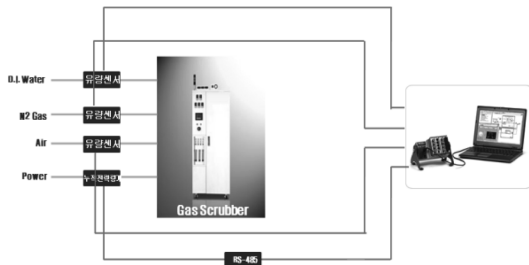


Fig. 2. The system schematic of system set-up.



Fig. 3. Energy monitoring program.

스 및 냉각수 유량을 표시하도록 하였다.

LabVIEW 프로그램(ver. 2010)을 이용하여 에너지 소비량 측정 프로그램을 만들어 모니터링 하였다. 에너지 소비 모니터링 프로그램은 각각 소비되는 공정가스, 냉각수와 전력량을 탄소배출량과 함께 화면에 표시되도록 하였으며, 하루 동안 소비되는 에너지 량과 탄소배출량을 실시간으로 화면에 출력된다. 에너지 소비 모니터링 프로그램 구성은 Fig. 3과 같다.

에너지 소비 모니터링 측정 시스템은 두 가지 통신 방식으로 나뉘어져 있다. 데이터 수집장치를 통해 취득되는 USB통신 방식과 전력량계의 RS485 Modbus 통신 방식에 의해서 측정된 데이터값으로 되어있다. USB 통신 방식과 RS485 Modbus 통신 방식에 의해 취득한 데이터가 시스템 내부에서 충돌이 발생하지 않아야 한다. 장시간 작동하여야 하는 에너지 소비 모니터링 시스템과 프로그램은 작은 충돌에 의해서 영향을 줄 수 있으므로, 시뮬레이션을 통하여 시스템과 프로그램의 안정성을 확보하도록 하였다.

3. 결 과

국가 LCI 데이터 베이스[2]에서 연료 및 물질에 탄소 발생량을 정하고 있다. 하지만 소비되는 전력의 탄소 발생량은 Intergovernmental panel on climate change (IPCC)의 연료 별 탄소 발생계수를 이용하여 계산을 한다. 우리나라의 에너지원 별 발전 전력량은 2007년도의 경우 화석연료가 62.3%을 담당하고 있으면 원자력에서 35.5%를 발전하고 있다. 친환경적이라고 생각하는 수력 발전소의 발전량은 1.3%에 그친다. 화석연료에서 석탄이 차지하고 있는 비율이 매우 높으며, 다음으로 LNG, 중유, 경유 순으로 소비되는 것으로

발표[3]되어 있다. 원자력에 의해서 발생된 전력이 높을수록 사용된 전기량에 대한 탄소배출계수는 낮게 되어 있다.

ICPP 계산법은 대부분 전기를 생산하는 발전소의 전력량을 논할 때 사용하는 식이다. 본 식을 이용해서 소비자가 소비전력량을 탄소배출량으로 계산하기에는 발전소의 생산량에 따라서 달라지기 때문에 에너지 기본법 시행규칙 제5조 1항에 최종 마지막 소비자의 탄소배출량을 계산하기 위하여 1 kWh를 860 kcal로 계산하여 소비에너지로 계산하는 것을 규정한다.

국가 LCI 데이터 베이스 정보망[2]에서 탄소배출계수를 이용하여 소비한 에너지량에 따라 이산화탄소배출량을 구할 수 있도록 하였다. 본 연구에서도 국가 LCI 데이터베이스정보망의 탄소배출계수로 계산하여 이산화탄소 배출량을 구하였다.

에너지 소비 모니터링 시스템을 적용하여 Fig. 2와 같이 각 유량센서 및 소비전력량 계를 설치한 gas scrubber에서 측정된 값을 이용하여 에너지 소비량과 탄소배출량을 계산하였다. Gas scrubber에서 유입되는 유독가스를 연소시키기 위해서 히터를 작동시킨다. 아래 Fig. 4와 같이 gas scrubber에 유입되는 유독가스를 막고 전원이 꺼지기 전 대기 중일 때의 소비 전력량은 2 kWh를 소비한다. 꺼져있던 전원을 다시 켤 때 냉각되어있던 히터가 연소온도까지 올라가기 위해 10 kWh의 소비전력을 필요로 한다. 하지만 일정온도를 유지하고 유입되는 유독가스를 연소시키면서 5 kWh 내외의 전력을 소비하고 있음을 아래 Fig. 4, 5를 통해 알 수 있다.

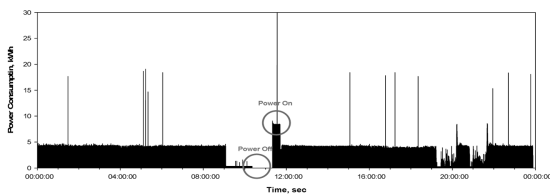


Fig. 4. Electric power consumption of system on/off sequence at gas scrubber.

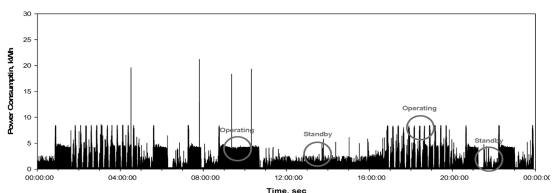


Fig. 5. Electric power consumption of standby and operating sequence at gas scrubber.

Gas Scrubber에 유입되는 유독가스의 유량에 따라 전력량을 Fig. 5에 나타내었다. 유독가스가 지속적으로 유입되는 5 kWh 내외의 소비전력량을 나타내고 있지만, 유독가스의 유입이 일정하지 않고 변화하면 전력소비량도 변화하는 것으로 나타난다.

Fig. 6은 gas scrubber에서 하루 동안 유입되는 공정가스, 냉각수 및 소비전력량의 변화를 나타내고 있다. Gas Scrubber에 하루 동안 유입되는 N₂ 가스(공정가스)의 유입량은 220 lpm에서 변동폭 약 5% 내외로 변화하고 있다. 소비 전력량을 5 kWh 내외를 유지하고 있는 형상을 보이고 있다. 연속적으로 5 kWh 정도를 유지하고 있는 것으로 보아 Gas Scrubber에 설치되어있는 히터가 계속적으로 작동하고 있으며 히터가 작동하면서 처리가스를 고온으로 소각한다는 것을 알 수 있다. Gas Scrubber에 유입되는 처리가스를 연소시키기 위해 압축공기(공정가스)를 넣고 있으며 평균 101 lpm으로 유입되고 있다. 연소시키면서 Gas Scrubber가 가열이 되는 것을 방지하고자 냉각수를 평균 5.7 lpm를 유입시키고 있다.

24시간 동안 에너지 모니터링 시스템에 측정된 공정가스, 냉각수, 소비전력량에서 하루 동안 소비된 에너지를 이용하여 탄소배출계수를 적용하여 탄소발생량을 계산하였다.

국가 LCI 데이터베이스 정보망[2]에 나타나있는 탄소배출계수는 N₂ 가스 8.67 E-01 kgCO₂/kg, 공업용수 1.02 E-04 kgCO₂/kg, 전기 4.95 E-01 kgCO₂/kWh로 규정하고 있다. 공업용수를 필터링하여 초순수(UPW)를 생산할 경우에는 더 높은 탄소배출계수를 나타낼 것으로 보인다. 하지만 현재 에너지 모니터링을 하는 Gas Scrubber에는 냉각수를 공업용수를 사용하기 때문에 공업용수 탄소배출계수를 적용하였다. Gas Scrubber에서 연소를 하기 위해 압축공기를 공정가스로 사용한다. 현재 국가 LCI 데이터 베이스 정보망에서는 압축공기에 대해서는 탄소배출계수를 규정하고 있지 않다. 전기 1 kWh 사용량에 따라 4.95 E-01 kgCO₂/kWh의 탄소배출계수를 규정하고 있으며, 본 규정은 앞에서

Table 1. Consumption rate of processing gas, water and electric power.

공정가스 및 전기	소비량 (Day ⁻¹)
질소가스	217,967 l
압축공기	145,987 l
냉각수(공업용)	9,812 l
소비전력	115 kWh

언급한 에너지 기본법 시행규칙 제5조 1항에서 860 kcal/kWh로 규정한 에너지 값을 이용한 것이다.

Table 1에 나타나있듯이 Fig. 6의 Gas scrubber에서 소모된 공정가스 및 소비전력에 대해서 탄소 배출 계수를 적용하여 탄소 배출량을 계산하였다. 탄소배출계수는 질량당 배출량으로 되어 있어 단위 질량에 따른 부피를 냉각수 1000 l/kg, 질소가스 800 l/kg으로 하여 하루 동안 배출된 탄소배출량을 계산하였다. Gas Scrubber에서 하루 동안 소비된 질소가스는 217,967 l/day이며 이를 탄소변화계수를 적용하여 발생된 배출량으로 계산하면 236 kgCO₂가 된다. 이와 같은 방법으로 소비전력량은 115 kWh를 사용하였으며, 탄소배출계수를 적용하여 배출된 탄소배출량은 57 kgCO₂가 된다. 산소 가스 대신 사용된 압축공기의 사용량은 145.987 l/day이나 압축공기에 대한 탄소변화계수가 아직 정해져 있지 않다. 그리고 냉각수로 사용된 공업용

수 사용량은 9.812 l/day를 사용하였으며, 공업용수에 대한 탄소배출계수는 매우 낮아 탄소배출량을 계산하면 0.001 kgCO₂으로 나타난다. 대부분의 탄소배출량은 전기와 질소가스에서 이루어지고 있다. 만일 압축공기 대신 산소가스를 사용하게 되면 높은 탄소배출량이 나타날 것으로 사료된다.

4. 결 론

Gas Scrubber에서 소비된 에너지량 측정과 탄소배출량 나타내기 위해 에너지 소비 모니터링 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템을 적용하여 Gas Scrubber에서 소비되는 에너지량을 측정하여 국가 LCI 데이터 베이스정보망의 탄소배출계수를 적용하여 탄소배출량을 계산하였다.

Gas scrubber가 하루 동안 연속적으로 처리가스를 연소 작동할 경우에 대해서 확인하였다. 발생된 탄소배출량은 293 kgCO₂/day 발생하고 있다.

Gas scrubber에서 하루 동안 배출되는 탄소 배출량의 75%가 N₂ 가스이며, 소비전력이 25% 그리고 냉각수가 0.001%이다. 대부분의 탄소는 N₂ 가스와 소비전력에서 발생되고 있음을 알 수 있다. 에너지 소비 모니터링 시스템을 설치하여 측정된 Gas scrubber는 유독가스 유입유무에 따라 작동하는 것이 아니고 고정용량이 항상 유입되는 수동식이기 때문에 불필요하게 소비되는 부분이 있다. 유독가스 유입되지 않는 대기 상태에서의 공정가스, 냉각수 그리고 소비 전력을 줄이면 탄소배출량을 많이 줄어줄 것이다. 현재 데이터에서는 유독가스 유입유무에 발생하는 탄소배출량에 대해서 정확히 알 수 없다. 그러므로 유독가스 유입유무에 따른 탄소배출량 변화에 대한 연구를 지속적으로 수행하여야 한다.

Gas scrubber의 에너지 소비 모니터링 시스템 및 프로그램을 개발하여 적용 측정된 결과 안정적으로 시스템과 프로그램이 작동하였다. 현재 시스템은 단순 소비되는 에너지량에 따른 탄소배출량만을 측정하지만, 불필요한 탄소배출량 절감을 위해 최적 운영 체계 연구 개발을 하여야 한다. 그리고 개발한 시스템 및 프로그램이 다른 반도체 공정기에 적용시킬 수 있는지 연구수행을 하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 “차세대반도체 장비 및 소자의 표준화 기술개발”에 의해 지원되었습니다.

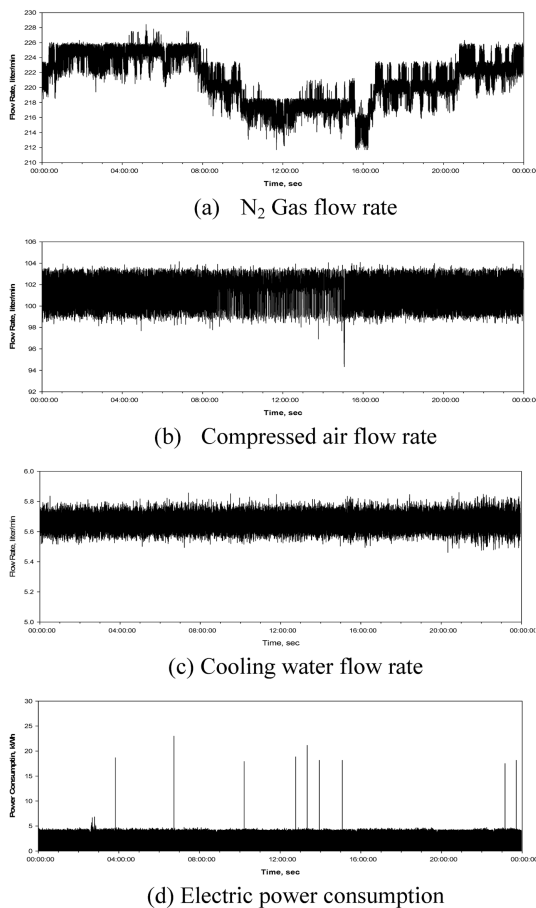


Fig. 6. Data acquisition of 24 hour at energy-consuming monitoring system in gas scrubber.

참고문헌

1. SEMI S23-0708 Guide for Conservation of Energy, Utilities and Materials used by Semiconductor manufacturing Equipment.
2. 국가 LCI 데이터베이스정보망.

3. 에너지관리공단 연도별 전력수급현황.

접수일: 2011년 4월 12일, 1차심사일: 2011년 5월 9일,
2차심사일: 2011년 6월 3일, 게재확정일: 2011년 6월 15일