

정책 이슈페이퍼 18-06

산업공정부문 Non-CO₂ 가스의 감축 전략 연구

유동현

목 차

- I. 배경 및 문제점 / 1
- II. 온실가스 감축대안 평가 / 2
- III. 분석 결과 및 제언 / 7
- 〈참고자료〉 / 14

I. 배경 및 문제점

- 정부는 2030년 온실가스 감축 기본 로드맵에서 전기전자와 자동차 업종에서 기존 냉매를 친환경 냉매로 대체하여 각각 3,080천톤과 2,270천톤 감축하기로 목표를 설정
 - 에너지신산업(친환경 냉매전환)을 통한 206만톤 추가 감축 목표 설정
- 또한 감축 기본 로드맵에 반도체업과 디스플레이업에서 기존의 불화가스 소비를 NF₃ 혹은 비온실가스로 대체하여 각각 70천톤과 1,652천톤 감축하는 목표도 반영
- 한편 정부는 온실가스 배출량 산정 가이드라인을 변경하겠다고 일정을 공표한 바 있음
 - 현재 적용하는 IPCC 1996 가이드라인 체제에서 NF₃ 가스는 산정 대상에서 제외되나 2023년에 새롭게 적용할 가이드라인인 IPCC 2006에서 NF₃ 가스는 온실가스 배출량 산정대상임
 - 2030 기본 로드맵에서 포함하지 않는 새로운 가스가 산정 대상이 되는 방법론 변경이 예정되어 있는 상황
- 동시에 냉매 전환을 통한 온실가스 배출감축 목표를 제시한 가운데 국제사회도 감축을 요구하고 있으나 기술적·경제적 대안이 부족한 실정
- 본 연구는 반도체·디스플레이업종 NF₃ 가스 소비 감축과 HFCs 냉매 소비로 말미암은 온실가스 감축전략을 도출하는데 목적을 두고 NF₃ 가스 배출 감축 가능 수준 가늠과 함께 HFCs 냉매 전환 전략을 제시

Ⅱ. 온실가스 감축대안 평가

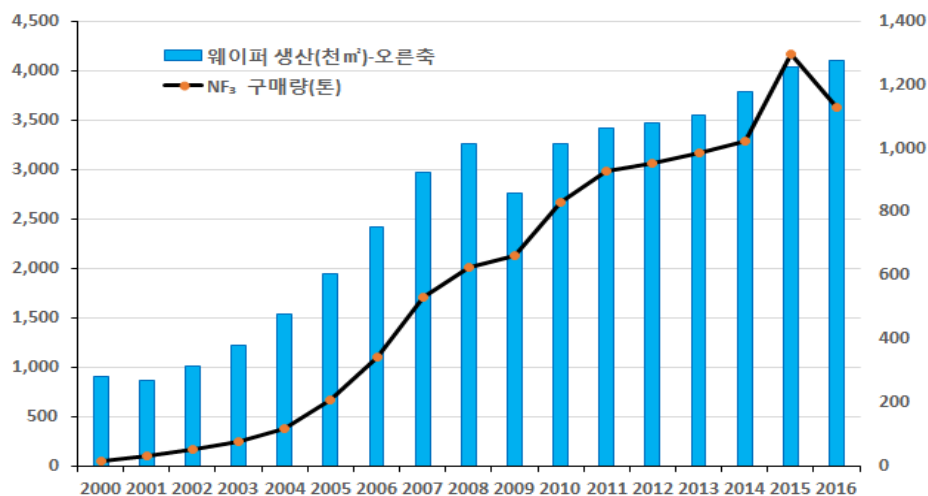
1. 반도체 · 디스플레이업종 공정가스 감축 대안

□ 반도체 메모리 소자의 집적도 증가는 공정 step 수 증가로 이어지고 이는 다시 미립자 등에 의한 오염 가능성을 증가시켜¹⁾ 반복적인 세정공정 필요

○ 반도체업종에서는 NF_3 가스를 세정용으로만 사용하기 때문에 반도체 생산 공정이 복잡해질수록 소비량은 늘어날 것으로 추정

○ [그림 1]과 [그림 2]에서 보면, NF_3 구매량이 급격하게 증가하는 추이를 보임.

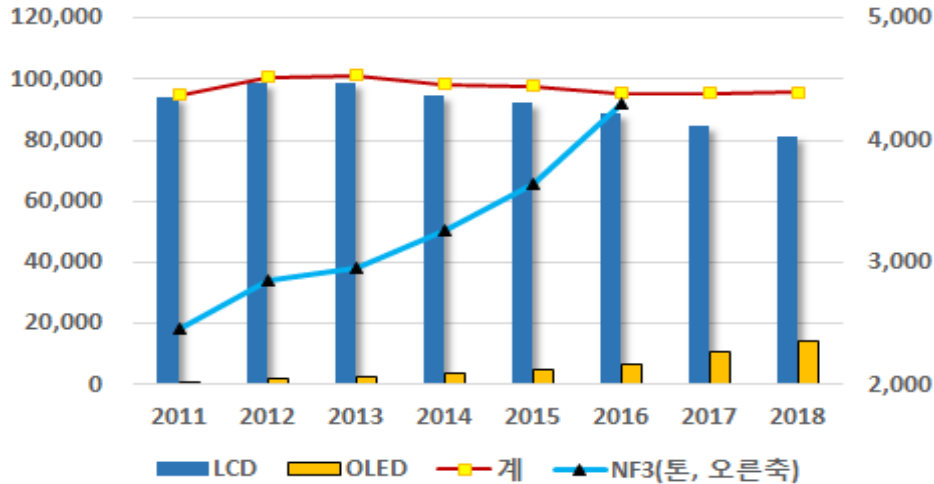
[그림 1] 반도체업종 웨이퍼 생산면적 및 NF_3 구매량 추이



자료 : 한국반도체산업협회 제공 자료를 이용하여 저자가 그림

1) 이정환(1999)

[그림 2] 디스플레이업종 LCD/OLED 생산면적 및 NF₃ 구매량 추이



자료 : 한국디스플레이산업협회 제공 자료를 이용하여 저자가 그림

- NF₃ 가스 구입량 증가세가 급격한 것은 우선 NF₃ 가스 대체가 온실가스 감축 대안이라는 점이 반영된 결과이고, 두 번째는 반도체 생산에 필요한 기술 수용성이 높다는 특성이 반영된 결과로 보임. 이는 디스플레이업계도 유사할 것으로 판단
- 반도체업과 디스플레이업의 온실가스 감축 옵션은 유사한 점이 있으나 기업종별 특성이 반영된 결과 감축률은 다소 상이
 - 열분해 감축 시스템은 고온 상태에서 흐름상태의 공정 유출물 내의 불화가스를 제거하거나 파괴하는 설비로 식각공정과 CVD 증착 후 세정공정에서 발생하는 배출물을 감축하는데 사용할 수 있음. 그러나 공간을 필요로 하므로 구형 설비(Old fab)의 경우 공간문제로 적용에 한계가 있을 수 있음.
 - 촉매 감축 시스템은 촉매를 사용하여 공정 유출물의 불화가스를 파괴 혹은 제거하는 설비로 적용성이 좋은 설비이나 공간 제약이 있을 수 있으며, 높은 촉매 비용이 확대 제약 요인이기도 함

- 플라즈마 감축 설비는 공간 제약이 있거나 열분해 감축설비를 위한 연료공급 라인을 갖추지 못한 클린룸에 적용할 수 있는 설비임. 대부분의 식각공정에 적용 가능

<표 1> 반도체업 감축 옵션별 설치분야 및 감축률

감축기술	감축률	신 설비(New fab)		구 설비(Old fab)	
		식각	세정	식각	세정
열분해 감축	95%	○	○	○	○
촉매 저감	99%	○	-	○	-
플라즈마 감축	97%	○	-	○	-
NF ₃ 리모트 반응기 세정	95%	-	○	-	○
가스 대체	77%	-	-	-	○
공정 최적화	54%	-	-	-	○

자료 : U.S. EPA(2013a), p.IV-134

- NF₃ 리모트 반응기 세정은 소스 가스인 NF₃의 사용률이 특히 높은 이점을 제공하는 대체 CVD 세정 기술로 전통적인 반응기 세정(인-시투 방식)에 비해 상대적으로 낮은 배출량을 보임²⁾
- 가스 대체는 기본적으로 GWP가 높은 소스 가스를 저GWP 가스로 대체하는 개념으로 세정공정만 해당. CVD 챔버 세정 공정용 소스 가스를 NF₃로 대체
- 공정 최적화는 공정 레시피를 수정하거나 추가함으로써 공정에서 발생하는 온실가스 배출량을 줄이는 것으로 CVD 반응기 세정에 대해서만 적용 가능한 것으로 간주³⁾

2) U.S. EPA(2013a), p.IV-137

3) U.S. EPA(2013a), p.IV-139

<표 2> 디스플레이업 감축 옵션

감축기술	적용 공정	감축률
중앙집중식 감축	식각	77%
열분해 감축	식각, 세정	95%
축매 저감	식각, 세정	99%
플라즈마 감축	식각	97%
NF3 리모트 반응기 세정	세정	95%
가스 대체	세정	77%

자료 : U.S. EPA(2013a), p.IV-195

- 디스플레이업종에서 채택하는 중앙집중식 감축(CAS)은 넓은 면적의 평판디스플레이 기판을 다루기 위한 목적으로 많은 양의 SF₆ 가스 흐름이 유지되도록 설계된 기술로 중량으로 말미암은 건물의 부하문제 가능성이 있음

2. 몬트리올의정서 대응 HFCs 냉매 감축 대안

☐ 냉매 소비에 따른 온실가스 감축 관점에서 국가적으로 최선인 냉매를 선택하고 전환 일정을 마련하는 것은 매우 복잡한 문제임

- 내수 중심이거나 수입품 위주 시장을 가진 국가라면 국가 여건(온도, 습도, 냉기 사용 필요 정도, 냉매 공급 능력, 냉매 가격 등)을 주로 고려하여 용도별로 제작 규격과 수입물품 규격을 정하여 시행하면 됨
- 그러나 내수와 수출 모두 중시해야하는 상황이라면 일반적으로 국내 규제와 수출 대상국이 요구하는 품질 요건 모두를 고려해야 할 것임
- 예컨대 냉장고와 자동차를 EU와 미국 시장에 수출한다면 EU의 불화가스

규정에 따른 냉매 시스템과 미국 규정을 준수하는 시스템 그리고 국내 내수용 시스템 모두를 개발해야 함

○ HFCs 감축전략 마련을 염두에 두고 어떠한 냉매를 어느 용도로 사용할지를 판단하기 위해서는 사전준비가 필요함

① HFCs 소비량 이외에 CFCs 및 HCFCs 소비량 정보가 필요함. 동시에 냉매 이용기기(혹은 냉매 이용용도)별로 소비, 누출 그리고 폐기 시 회수 상태는 어떤지에 대한 현 여건 정보와 국내 소비 총량 추정에 필요한 모델링 작업 필요

② 저GWP 냉매 혹은 자연냉매로 전환하기 위해서는 냉매 확보방안(예, 생산, 수입)과 전환 냉매 이용 기술 확보가 요구되는데 새로운 기기는 물론 기존 기기도 포함됨

③ 베이스라인 소비량 추정이 필요함. CFCs와 HCFCs에서 HFCs로 전환하는 양과 HFCs 자체 소비량 변화 등이 반영된 베이스라인 전망치 필요

④ 앞의 ②와 ③ 실행을 위한 기술 확보 목적의 다양한 정보(R&D 필요 여부, 국내 냉매 이용기기 시장변화 정보 등)의 지속적 평가와 제공 필요

⑤ 제도적인 보완 필요. 냉매 물질 수출입정보(수출입 제품 내 충전된 냉매 종류 포함)와 충전량 정보 수집 체계 구축

Ⅲ. 분석 결과 및 제언

1. 반도체 · 디스플레이업종 일반

- 반도체 · 디스플레이업종에서 사용하는 NF₃ 가스는 온실가스 감축 대안이므로 사용 후 온실가스 배출을 규제할 필요가 있음. 용도별 사용 방식은 [그림 3]에서와 같음

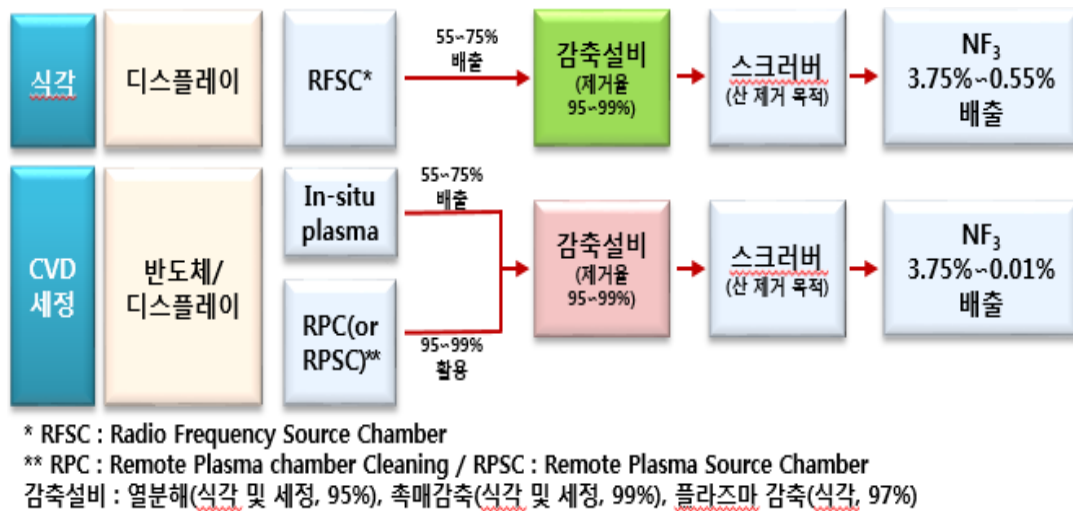
[그림 3] 반도체 · 디스플레이업 NF₃ 가스 사용 방식



- 인-시투 플라즈마 방식은 미분해 NF₃ 가스 배출이 일정부분 발생하며, 리모트 플라즈마 방식에서는 NF₃ 가스 상태 배출은 거의 없는 것으로 보고 (IPCC Guideline 2006)
- 반도체 Old fab(200 mm이하)에서 리모트 플라즈마 방식을 채택하지 않고 증착 후 세정가스를 PFCs에서 NF₃로 대체한다면 NF₃ 형태의 배출이 있다고 보아야 함
- 리모트 플라즈마 방식은 NF₃ 활용 효율을 95~99%(Laurie, 2005)까지 높일

수 있는 반면, 인-시투 플라즈마는 세정 가스의 약 25~45% 정도만 활용 (U.S. EPA, 2010c)

[그림 4] 반도체 · 디스플레이업 NF_3 가스 사용 공정별 배출률



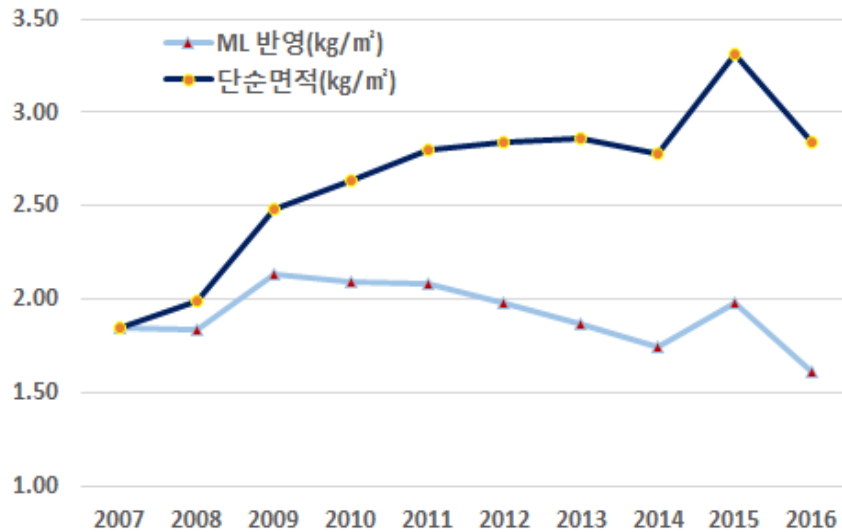
2. 반도체업

□ [그림 5]에서 보듯 반도체업 NF_3 가스 구매원단위(ML 반영)는 2009년 이후 지속적으로 낮아지는 추이를 보이고 있어 이를 반영하여 2030년 반도체업 NF_3 가스 구매량을 추정해 보면, 6,228~6,245톤 수준을 보일 전망

- 세정용 NF_3 가스는 사용하는 방식에 따라 소비량의 0.01%에서 75%정도가 배출. 즉 정부 정책에 따라 배출량이 크게 달라질 수 있음을 의미
- 소비량 전부를 인-시투 플라즈마 세정 설비를 통해 사용한 후 감축설비를 거치지 않는 경우 소비량의 최대 75% 정도 배출
- 소비량 전부를 인-시투 플라즈마 세정 설비에서 사용한 후 전부 감축설비에 서 소각과정을 거치는 경우 최대 3.75% 정도 배출

- 소비량 전부를 리모트 플라즈마 세정 설비를 이용하여 사용하고 그 이후 감축설비를 통해 소각한다면 소비량의 0.25~0.01% 정도 배출

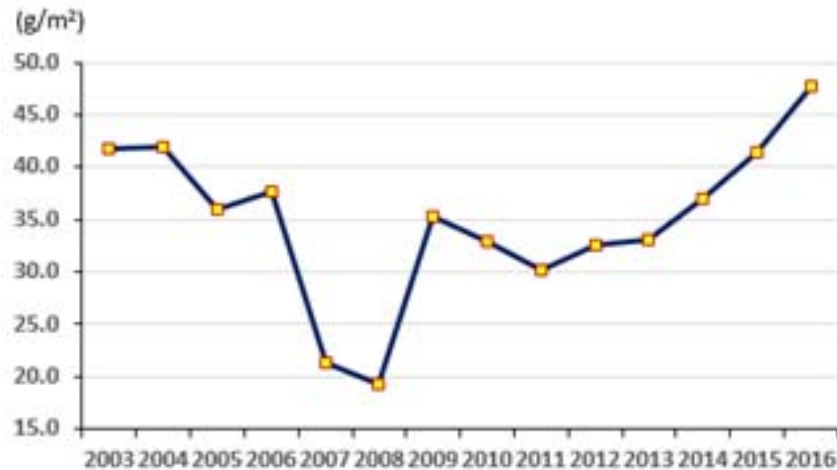
[그림 5] 반도체 NF₃ 가스 구매원단위 추이



3. 디스플레이업

- 디스플레이업에서도 NF₃ 가스를 공정용 가스로 사용하는데 반도체와 달리 일부 생산라인(LCD)의 식각공정에서도 사용
- [그림 6]에서 보면, 최근 디스플레이 면적이 늘어나면서 NF₃ 가스 구매량은 빠르게 증가하고 있는데 가스구매 원단위(NF₃ 가스 소비량/생산면적) 역시 2011년 이후 가파른 상승세를 기록

[그림 6] 디스플레이 NF₃ 가스 구매원단위 추이



- 디스플레이업에서 채택하고 있는 리모트 플라즈마 세정 설비 이후 배출되는 사용 후 가스를 감축설비를 거치지 않고 배출하는 경우 2030년 배출량은 최대 5%로 추정되며, 감축설비에서 소각 혹은 분해과정을 거치는 경우 최대 0.25%만 배출될 것으로 추정

4. 반도체 · 디스플레이업 관련 제언

- 반도체 · 디스플레이업에서 사용하는 NF₃ 가스사용에 따른 감축에 대해 요약하면, 반도체 · 디스플레이업에서 온실가스 배출감축 옵션으로 채택한 NF₃ 가스는 사용설비와 무관하게 배출량의 차이는 있지만 NF₃ 형태의 배출 가능성을 배제할 수 없음
- 하지만 사용 후 가스 배출경로에 감축설비를 부착하여 정상적으로 가동하는 경우 대부분의 NF₃ 형태 배출은 일어나지 않을 것으로 판단

- 다만 반도체업체 가운데 CVD 세정 공정에서 인-시투 플라즈마 타입의 반응기를 사용하는 200mm 반도체 생산라인(Old fab)은 공간문제로 감축기술 적용 가능성이 낮아 보임

□ 디스플레이업의 경우 중소형 LCD 포함 디스플레이 일부 식각 라인에서 NF₃ 를 사용하지만 현재 감축기술을 도입하지 않은 상태⁴⁾이므로 감축설비 도입 유도 필요

- 디스플레이업은 모든 CVD 세정 공정에 리모트 플라즈마 세정 설비를 채택하고 있지만 현재 삼성 디스플레이 LCD 생산라인 일부에서만 감축기술(열분해 감축)을 채택하고 있는 것으로 판단
- 증착 후 세정용도의 NF₃ 가스 사용이 온실가스 감축 옵션 자체이지만 분해되지 않은 가스까지 고려하여 온실가스 배출량을 감축하기 위해서는 감축설비(abatement technologies) 채택이 반드시 필요

□ 따라서 반도체 · 디스플레이업에서 사용하는 NF₃ 가스가 NF₃ 상태로 배출되는 것을 억제하기 위해 정부는 물리적으로 감축기술 설치가 가능한 생산라인에 대한 감축기술 채택을 강제하는 규제(예, 신규 fab 감축기술 도입 의무제, NF₃ 배출규제) 도입 필요

- 동시에 국제 경쟁력 유지 혹은 경쟁사와의 경쟁력 차이 확대 등을 위해 기존 생산 라인에 감축기술 도입이 용이하도록 인센티브 정책도 필요

4) 감축시설을 운용하지 않는 이유는 첫째, 국내 온실가스 산정 가이드라인에 근거할 때 배출량 산정 대상이 아니며 동시에 감축대상 가스에 포함되지 않음. 둘째, 식각공정의 경우 공간문제가 있을 수도 있음.

5. 냉매 소비에 따른 온실가스 감축 제언

□ 냉매 소비에 따른 온실가스 감축 인식 자체와 감축방법은 HFCs 소비에 따른 인벤토리 작성 방법에 따라 다른 부분이 있지만 배출량 산정방법과 관계없이 GWP가 낮은 HFCs로 냉매 대체를 유도하거나 자연냉매 사용을 강제하면 감축 가능

○ 냉매 온실가스 감축전략을 도출하기 위해 냉매 이용기기 범주를 가정용 냉동·냉장장치, 에어컨·냉동기(칠러), 수송용 냉동·냉장 시스템 및 차량용 공조 시스템으로 구분

① 가정용 냉동·냉장장치는 대기업 제품 및 수입 냉장고(김치냉장고, 냉동고)를 중심으로 기존 냉매인 HFC-134a에서 자연냉매인 R-600a로 이미 대체됨. 다만 냉·온수기 등과 같은 소형 가전의 경우 일부 제품에서 R-600a를 채택하고 있으나 아직 중소기업 제품에서는 기존 냉매를 사용하고 있어 냉매전환 지원 정책 필요

② 에어컨·냉동기(칠러)는 다양한 냉매 이용설비가 존재하며, 냉매 충전량 편차가 있음. 외국의 경우 이산화탄소(R-744)와 암모니아(R-717)를 냉동기용 냉매로 활용하고 있어 자연냉매 도입 가능성이 있는 것으로 판단⁵⁾ 다만 SAC/VRF⁶⁾의 경우 냉매대체를 위한 기술적 해결책이 요구됨

③ 수송용 냉동·냉장시스템은 아직 기존 냉매(R-404A)가 주류인 것으로 판단되어, 새로운 공조시스템 기술 확보를 위한 로드맵 마련이 필요해 보임

④ 차량용 공조 시스템은 내수용과 수출용으로 구분해 볼 수 있음. 수출용은 수입국 요구조건에 맞추어 냉매를 선택하고 있으며, 내수용은 아직 기존

5) 중대형 냉동기는 주로 중견기업이 생산하는데 정부지원을 통해 신냉매(HFO 계열) 사용 냉동기 제품 개발을 준비 중임(한국냉동공조산업협회, 2016)

6) SAC: System Air Conditioner/VRF: Variable Refrigerant Flow(멀티에어컨, 시스템 에어컨, 천장형 에어컨, 일체형 에어컨 등 한대의 실외기에 다수의 실내기를 연결한 형태)

냉매인 HFC-134a를 사용. 내수용에서 기존 냉매를 사용하는 이유는 가격 문제로 보임

- 냉매 대체를 위해서는 냉매 이용설비(기기)가 보급되어야 하는데 대기업은 수출용 생산을 위해 자체적으로 기술을 확보하지만 중견/중소기업은 기술 개발에 착수하였거나 기술개발 지원을 희망하는 수준임. 특히 중소기업의 경우 아직 HFCs 냉매 규제에 대한 인식이 부족할 수도 있다는 점이 고려되어야 함.
- 2030년 온실가스 감축 로드맵에 친환경냉매 전환을 통해 206만톤을 감축하도록 계획이 마련되어 있는데 이를 이행하기 위해서는 10년 정도의 일정을 갖고 EU의 냉매 정책처럼 GWP가 낮은 냉매 혹은 자연냉매를 이용하는 시스템 도입에 대한 적절한 규제와 냉매 대체를 위한 로드맵(연도별·용도별)을 마련하고 실질적인 R&D 정책과 함께 규제 이행 여부를 판단하기 위한 이행 평가체제 마련도 필요
- HFCs 냉매 배출감축을 위한 냉매 대체 로드맵은 화학물질만의 이슈가 아니고 냉매 이용설비가 뒷받침되도록 기계공학 이슈도 동시에 해결해야하므로 전문가를 중심으로 하는 로드맵 작성T/F 운영 필요
- 동 T/F에서는 냉매 용도별 우리나라의 한계, 기술발전을 고려한 냉매 대체 일정, 기술 확보를 위한 구체적 R&D 대상 선정 등 실질적인 작업이 필요
- 한편, 자연냉매 가운데 암모니아는 독성이 강한 물질이기 때문에 사용 장소 제약이 있어야 하며, 이산화탄소 냉매는 높은 압력을 필요로 하므로 여름철 온도 상승을 고려하는 지역적 제약 요구됨

< 참고자료 >

이정환, 1999. 미세반도체 제조 공정의 세정 기술, 한국공업화학회 연구논문 초록집 1999권 1호, p.34

한국냉동공조산업협회, 2016. 「냉동공조산업 현황과 최근의 냉매 규제 동향」

IPCC Guideline 2006

S. Laurie, 2005. Reduction of Perfluorocompound(PFC) Emissions: 2005 State-of-the Technology Report, International SEMATECH Manufacturing initiative(ISMI). Laurie S., 2005

U.S. EPA, 2010c. Draft Emission Factors for Refined Semiconductor Manufacturing Process Categories., EPA-HQ-OAR-2009-0927.

U.S. EPA, 2013a. Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases: 2010 ~ 2030, EPA-430-R13-011.

정책 이슈페이퍼 18-06

산업공정부문 Non-CO₂ 가스의 감축 전략 연구

2018년 4월 30일 인쇄

2018년 4월 30일 발행

저 자 유 동 헌

발행인 박 주 헌

발행처 **에너지경제연구원**

44543 울산광역시 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(대) 팩시밀리: (052)714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 (사)한국척수장애인협회 인쇄사업소 (031)424-9347
