

CFC 대체물질 개발 동향

1987년 UNEP주관하에 오존층을 보호하기 위한 몬트리올의정서가 채택된 뒤 예상보다 오존층 파괴가 심각하게 진행되고 있어 이에 대한 강력한 무역규제가 추진되고 있다.

특히 몬트리올의정서에 가입하지 않은 국가에 대한 강력한 무역규제가 진행되고 있으며, 가입국들 또한 오존층 파괴의 주범으로 알려진 CFC, HCFC, HBFC, Halon등의 생산 및 사용금지조치로 많은 어려움을 겪고 있다.

이에 본지는 몬트리올의정서의 진행사항 및 CFC 대체물질 개발 동향에 대해 알아보았다.

김경식

통상산업부 화학생활공업과장

1. 서론

CFC는 지극히 안정한 물질이기 때문에 방출되어도 대기권에서는 분해되지 않고 공기와 잘 혼합하여 전 지구상에 골고루 분포되어 있다가, 성층권으로 확산되어 그곳에서 자외선(UV)에 의하여 분해되고 오존과 반응한다.

오존층 붕괴 현상은 국지적인 현상이 아니고 전 지구적인 현상이어서 북반구에서 방출하는 많은 양의 CFC는 성층권의 오존을 남극, 북극 할 것 없이 전세계적으로 파괴한다. 오존층이 파괴되면 강력한 유해 자외선이 여과되지 않고 지표에 도달하게 되어 피부암, 백내장, 면역기능약화 등을 유발시켜 인간의 건강을 해치고 기후변화를 일으켜 궁극적으로 지구 생태계를 위협한다.

오존층 보호문제는 어느 한 국가나 지역이 해결할 수 있는 문제가 아니라 세계모든 나라들이 힘을 모아 재생/복원시켜야할 전 세계적인 환경문제이다. 이에 따라 1987년에 UNEP주관하에 오존층을 보호하기 위한 몬트리올의정서가 채택되었고, 이에 가입하지 않은 나라에 대한 강력한 무역규제가 뒤따르게 되었다. 몬트리올 의정서는 CFC, HCFC, HBFC, Halon, CH₃CCl₃, CCl₃, CH₃Br 등과 같은 오존층 붕괴물질(Ozone Depletion Substance, ODS)의 생산과 사용을 금지시켜 궁극적으로는 오존층을 원래의 상태로 되돌리려는 것을 목적으로 하고 있다.

그러나 오존층의 파괴가 예상보다 더 심각하게 진행되고, 최초의 가입국 회의에서 결정된 규제내용으로는 오존층의 회복이 어렵다는 평가소위원회의 보고에 따라서 1990년에 보다 강력한 규제 조치를 담은 런던

개정서가 의결되었다. 그 이후에도 규제 내용과 일정 이 계속해서 강화되고 가속화되어 1992년 코펜하겐에서 열린 제4차 의정서 가입국회의에서 Halon은 1994년에, CH₃Br은 1995년에, 그리고 CFC, HBFC, CH₃CCl₃, CCl₄는 1996년에 전폐하도록 정하는 한편, 그 동안 경과물질로서 규정한 HCFC도 규제물질로 규정하고 삭감일정을 정하였다. 또한 1994년 열린 방콕 가입국회의에서는 HCFC 폐기일정을 가속화할 것을 결의하였으며, 1995년 비엔나에서 열린 가입국회의에서는 HCFC의 규제에 관한 가속일정과 내용을 개정하였다.

HCFC에 대한 규제 강화는 1995년 3월에 나온 UNEP의 “기술 및 경제 평가 패널”(TEAP) 보고서가 HCFC의 완전폐기가 기술적으로는 2015년까지 가능하다고 보고하면서부터 시작되었다. TEAP의 보고에 의하면, 선진국의 HCFC 생산 cap을 3.1%에서 2.5%로 줄이고 규제 일정을 2030년에서 2015년으로 앞당길 경우에는 성층권내 염소에 대한 총괄 효과가 매우 클것으로 예측되었다. 이 보고서가 나온 이래 HCFC의 규제일정과 ODP cap을 규제하려는 움직임이 일어나고 있으며, 이미 유럽의 여러 국가들은 독자적으로 좀 더 강력한 규제 일정을 정하여 시행하고 있다.

더욱이 1995년 12월 비엔나에서 열린 몬트리올 의정서 제7차 가입국회의에서는 HCFC의 삭감을 가속화하기 위하여 선진국에 대한 HCFC의 전폐일정을 2020년으로 앞당기고 소비기준량은 1989년 CFC소비량의 2.8%에 1989년 HCFC 소비량을 소비량을 합한 것으로 정하였다. 또한 개발도상국에 대해서는 2015년의 HCFC소비량을 기준으로 2016년부터 생산량을 동결하여 2040년에 완전폐기하도록 정하였으며, 2000년에 오존층 동향을 분석한 후 일정을 재검토하도록 하였다.

우리나라도 국제적 환경보호에 동참하기 위해 1991년에 ‘오존층 보호를 위한 특정물질의 제조 규제등에 관한 법률’을 제정하여 1992년부터 시행하고 있다. 현

재 우리나라는 본 의정서, 런던 개정의정서, 코펜하겐 개정의정서 가입국이고 개발도상국으로 분류되어 있기 때문에 CFC는 2005년 12월 31일 까지 그리고 Halon은 2003년 12월 31일까지 전폐해야만 한다.

비록 CFC 및 HCFC가 냉매 외에도 세정제와 발포제로 쓰여왔지만, 이 용도에 대한 대체는 큰 무리 없이 일정대로 이루어졌고, 현재는 대부분의 국가들이 냉매용의 CFC 및 HCFC대체를 당면한 가장 큰 문제로 보고 있다.

이에 본 고에서는 거대한 산업화에서 많은 사람들이 쾌적한 생활을 영위하기 위해 사용하고 있는 가정용 냉장고, 자동차 에어컨, 농축산물의 저온 저장시설, 가공식품의 저온 저장 및 유통설비, 산업용 냉동기, 에어컨 및 냉방용 히트펌프 등 쓰이는 CFC 및 HCFC 냉매의 대체물질의 개발동향에 관하여 간략하게 다루고자 한다.

2. 기존의 냉매와 선진국의 대체동향

전통적으로 자동차의 에어컨에는 CFC-12가 냉매로 사용되어왔으나, 현재 신규 자동차에는 전적으로 CFC-134a가 사용되고 있고 기존의 자동차에는 HFC-134a와 삼원 혼합냉매인 HCFC-22/HCFC124/HCFC-152a가 사용되고 있다. 이미 일본, 유럽, 미국의 자동차 제조회사에서는 HFC-134a를 사용하는 에어컨을 장착한 모델을 개발하여 1991년부터 판매하고 있고, 우리나라의 경우에도 현재 새로 출고되는 차들은 HFC-134a에어컨을 장착하고 있다. HFC-134a를 사용할 때 응축기에서 Parallel(또는 multiflow) type 응축기로 바꾸어 해결했으며, 윤활유도 종전의 mineral oil에서 PAG(poiyalkyline glycol)oil로 교체했다. 선진국에서는 대기중에 CFC를 방출하는 것이 법으로 금지되어 있기 때문에 기존의 자동차 에어컨을 서비스할 때 CFC는 회수, 재생하여 사용하고 있으며, 재충전시 부

족분은 HFC-134a로 채우거나 HCFC-22/ HFC-152a/ HCFC-124의 혼합냉매로 대체 충전하는 방법을 채택하고 있으나 두 가지 모두 어려움을 안고 있다. 미국에서는 현재 가연성 냉매를 자동차 냉매로서 사용하지 못하도록 법으로 금지하고 있다.

가정용 전기냉장고는 1990년 현재 전 세계적으로 약 5,633만대가 팔리고 있으며 거의가 CFC-12를 사용하는 증기압축식 냉장고이다. 냉장고 한 대에 사용되는 CFC-12의 양은 평균 169g정도이므로, 전세계적으로 1년에 약 10,000톤의 CFC-12가 가정용 냉장/냉동고의 냉매로 사용되고 있다. 미국, 일본, 유럽 등의 선진국들은 대체 냉매로서 HFC-134a를 채택하여 이에 대한 응용연구를 진행해 왔으며, 성적 계수가 2% 저하하고 냉동능력이 약 10% 저하하는 문제는 압축기 용량과 열교환기 효율을 향상시켜 해결하고 있으며, 윤활유로는 에스터 냉동유를 채택하고 있다.

유럽의 많은 냉장고 제조 회사들은 국제적 환경단체인 그린피스(Green Peace)와 연합하여 프로판 및 부탄과 같은 탄화수소를 대체 냉매로 사용하는 우수한 성능의 제품을 판매하고 있다.

또한 최근에는 HFC-134a와 Isobutane(R600a)의 공비혼합물(80%R134a/20%R600a, 대기압하에서의 비등점=-33.35℃)을 사용하는 연구도 진행중에 있으며 HFC-152a와 CF₃I의 공비혼합냉매에 관한 연구도 진행 중에 있다.

상업용 냉장고로는 일체완비형 독립설비, 원격 공급되는 Display case, 사람이 서서 드나들 수 있을 정도의 큰 대형냉동창고 등이 있고, 그 용량은 1kW미만에서부터 수백kW까지 상당히 다양하다. 전세계적으로 상업용 냉동/냉장 시스템에는 CFC-12(79%), HCFC-22(2%), R502(19%) 그리고 적은 양이긴 하지만 CFC-13, R502, Halon-1301, PFC-14 등이 사용되어 왔다. 신선한 과일이나 야채는 종류에 따라 0℃에서 13℃ 정도의 공기를 필요로 하고, 신선한 고기나 우유제품 등은 -2℃ ~ 2℃의 중간온도를, 그리고 냉동고기나 아이스크림, 냉동식품 등은 -18℃

~ -32℃의 저온을 필요로 한다. 현재까지 중/고온용에는 CFC-12가 사용되어 왔으며, HCFC-22는 증발기의 온도가 -35℃까지의 저온용으로, 그리고 R-502는 -42℃까지의 저온용으로 사용되어 왔고, CFC-13, R-502, PFC-14, Halon-1301 등은 저온용이단 Cascade 시스템에 사용되었다. CFC-12의 대체냉매로 주목받고 있는 것들에는 HCFC-22, HCFC-22/HFC-152A/HCFC-124, HFC-134a, HFC-152a, HFC-227ea, NH₃ 등이 있으며, R-502의 대체냉매로 주목되고 있는 것들은 HCFC-22, HFC-125/HFC-143a, HFC-32/HFC-125/HFC-143a, HFC-125/HFC-143a/HFC-134a 등이 있다. 기존의 냉동기에는 CFC-12의 대체물로 HCFC-22/HFC152a/HCFC-124(Du Pont사의 SUVA MP 39)를 사용하고 있고, R-502의 대체물질로는 HCFC-22/HFC-125/Propane(DuPont사의 SUVA HP 80), 또는 HCFC-22/FC-218/Propane (Rhone-Poulenc사의 R-69S)을 사용하여 시스템을 개조하고 있다.

냉동창고와 식품가공 분야에는 상온의 음식물을 냉각시키는 것, 상온 이하의 온도에서 음식을 보관하는 것, 음식물의 가공, 저장 또는 유가공식품의 냉동 등이 포함된다. 1990년 현재 세계적으로 냉동식품은 2,400만톤 이상으로 그 중 반 이상이 되는 것으로 추정되어 냉동창고와 식품가공 분야의 시장규모는 연간 약 50억 달러에 이르는 것으로 추산된다.

현재 대규모 냉동 창고에는 대개 암모니아가 쓰이고 있다. 미국에서는 냉동창고의 약 81%가 암모니아를 사용하며 10%가 CFC-12와 R-502 그리고 나머지 10%가 HCFC-22를 사용하고 있다. 독일에서는 1987년 현재 약 63%가 암모니아를, 30%가 HCFC-22를, 그리고 약 7%가 CFC를 사용하고 있으며 북유럽 국가나 동유럽 그리고 대부분의 개발도상국도 이와 비슷한 비율로 사용하고 있다. 이 분야에서 단기적으로 사용될 수 있는 대체 시스템 혹은 대체냉매로는 암모니아 압축냉동과 HCFC-22를 들 수 있다. 그러

나 HCFC-22는 경과물질로 간주되어 있으므로, 1996년에는 우선적으로 CFC시장의 약1/3이 암모니아로 대체될 것으로 예상되고 있으며, HCFC-22가 규제를 받기 시작하는 시점부터는 암모니아가 이 분야의 주냉매로 자리를 굳히게 될 것으로 예상되고 있다. 장기적으로 볼 때, CFC-12의 대체물질로는 HCFC-134a와 탄화수소계열의 대체냉매가, 그리고 R-502의 대체물질로는 HFC-32, HFC-125, HFC-143a, HCFC-134a 등을 혼합한 혼합냉매가 개발 되어 사용될 것으로 추정된다.

공기냉방 에어컨(혹은 Heat pump)의 용량은 2kW에서 420kW까지 다양하며, 작은 방부터 커다란 전시회장의 냉방, 조습, 난방을 하는데 사용된다. 현재 냉매로는 HCFC-22가 독점적으로 쓰이고 있다. 생활수준의 향상으로 인해 에어컨의 수요는 날로 늘어나고 있고, 1990년도에만 전세계적으로 약830만대의 에어컨이 팔렸다. 에어컨에는 평균적으로 0.6~1.0kg의 HCFC-22가 사용되고 있다. HCFC-22를 대체할 유력한 후보로는 HFC-134a, HFC-32/HFC-125, HFC-32/HFC-125/HFC134등이 있다. 또한 암모니아나 Lithum bromide를 이용한 흡수식 냉동시스템도 HCFC-22를 사용하는 증기 압축식 시스템을 대체할 수 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다. 대체물질로는 대부분의 용도에서 HFC-134a, HFC-32/HFC-125, HFC-32/HFC-134a, HFC-125/HFC143a, HFC-125/HFC-143a/HFC-134a 등이 주목을 받고 있다.

3. HCFC 대체 냉매의 개발

자동차 에어컨이나 가정용 냉장고에서 주로 많이 사용되어온 CFC-12는 HFC-134a로 순조롭게 대체되어가고 있다. 현 시점에서 가장 중요한 것은 HCFC 냉매의 감축과 그와 관련된 기술개발이다. 현행 몬트리올 의정서는 선진국에 대해 1996년부터 R-502,

HCFC-22, R-503의 사용량을 동결하고 있어 이들의 사용량을 점차 줄여 가야만 한다. 따라서 1992년 6월부터 미국의 냉동공조협회 I (Air-conditioning & refrigeration Institute, ARI)의 주관하에 미국과 캐나다의 17개회사, 유럽의 10개회사, 일본의 11개회사가 "HCFC-22 Alternative Refrigerants Evaluation Program"(R33 AREP)라는 연구 협동체를 구성하여 연구를 진행해 왔으며, R-502의 대체물질도 연구하고 있다. 이 프로그램에서는 8개의 HCFC-22 대체 후보물질과 2개의 R-502대체 후보물질을 선정한 뒤, 이들에 대한 압축기 Calorimeter test, 열전달 실험, Drop-in test, System test, System simulation을 행한 후 모든 결과를 보고서, 학술회의, 전문문헌 그리고 냉동공조 기술협회(Air-conditioning & Refrigeration Technology Institute)등을 통하여 발표하고 공유하고 있다. 냉동 공조기 제조 회사들은 이중 가장 적합한 것을 선정하여 자신들의 시스템에 적용시키고 독자적인 개발 및 경쟁을 할 수 있다.

1993년 1월 미국 시카고에서 열린 "R-22 AREP" 중간평가 및 보고 회의에서는 HCFC-22의 대체냉매로 60%HFC-32/40%HFC-125 및 30%HFC-32/10%HFC-125/60%HFC-134a가, 그리고 CFC-502 대체냉매로는 45%HFC-125/55%HFC143a가 선정되었다. 이 회의에 참가한 냉매제조업자, 운할유 제조업자, 미국의 표준기술연구소(NIST), 미국 환경청(EPA)의 전문가들은 3-4년 후에는 대체냉매를 사용하는 냉동·공조기기가 판매될 것으로 예측했고, 따라서 대체 기술이 개발된 이후에는 몬트리올 의정서의 HCFC 관련 규제일정도 대폭 강화되어 질 것으로 믿고 있다. 물론 "R-22 AREP" 프로그램 이외에도 독자적으로 새로운 냉매가 경쟁적으로 개발되고 있으며, 이들 대체 냉매들은 대개 중심 탄소의 수가 하나 또는 두 개의 HFC를 성분으로 하는 혼합냉매들이다.

4. 미국환경청의 규제 동향

미국의 환경청은 오존파괴물질의 대체물질을 심사, 승인하는 제도를 공기 청정법(Clean Air Act section 612)의 일부로 제정했고, 이의 수행을 돕기 위해 SNAP(Significant New alternative Policy)이라는 프로그램을 운영하고 있다. SNAP에서는 새로운 대체물질을 시장에 도입하기 최소한 90일전에 미국 환경청에 평가 의뢰를 하도록 하였으며, 환경청은 인류의 건강, 환경영향, 위험성 평가, 가격등을 고려하여 가부(Acceptable or Unacceptable)를 통보하도록 하였다. SNAP은 미국에 반입되는 제품에도 동일하게 적용되기 때문에, 우리나라에서 미국에 관련 제품을 수출하는 경우에는 제품에 포함되어 있거나 공정에 사용된 물질이 SNAP의 규칙에 적합한 지를 세심히 검토해야만 한다. CFC 대체 냉동기를 제조하여 미국에 수출하는 경우의 예를 들어보면 승인된 냉매를 사용하여야 할 뿐 아니라 자동제어기, 전자회로기, 압축기 등 부품을 승인된 세정제로 세척하여야 하며, 단 열재를 쓸 경우에도 반드시 승인된 발포제를 사용해야만 한다.

SNAP에는 냉매, 발포제, 세정제, 분사추진제, 소화제, 담배팽화제, 접착, 코팅, 잉크분야별로 구분하여 대체물질의 평가를 수록하고 있으며, 자세한 자료는 한국 정밀화학공업진흥회에서 받을 수 있다.

SNAP에서 승인되지 않은 대체물질은 환경에 나쁜 영향을 미치는 것이나 위험평가에서 불안정한 것으로 인정되는 것이며, 이런 물질을 담고 있거나 이런 물질을 사용하여 제조된 제품을 미국으로 수출하는 경우에는 주의할 필요가 있다. 모든 가연성 냉매는 자동차 에어컨의 재충전 및 신규충전으로 사용할 수 없도록 하였다. 가연성 냉매 중에서 OZ-12(Hydrocarbon Blend A)와 HC-12 (Hydrocarbon Blend B)는 산업공정에 쓰이는 냉동기의 재충전과 신규충전용으로 사용 가능하지만, 그 외의 다른 용도에서는 사용이 불허되고 있다. 또한 R-176은 CFC-12가 포함되어

있는 냉매로서 모든 분야에서의 사용이 금지되었고, R-403B와 R-405A는 HFC가 포함되어 지구 온난화 지수가 높고 대기중 수명이 길기 때문에 모든 용도로의 사용이 금지되었다.

5. 대체냉매 이용기술

비록 한시적으로 HCFC 냉매의 사용이 허용되고 있지만, 경제적 및 기술적인 여건이 허락하는 한 빨리 HCF냉매로 전환하는 것이 바람직하다.

HFC냉매는 그 구조상 염소원자 대신에 수소원자를 갖고 있기 때문에 오존층을 파괴하지 않지만, 열/화학적 안정성이 낮아 냉동 시스템내에서 여러 가지 문제를 일으킬 가능성을 가지고 있다. 또한 기존 CFC냉매나 HCFC 냉매는 대개가 비극성 물질이어서 기존의 비극성 광유와 잘 혼합이 되어 냉동 시스템 내에서 압축기로 순환하는 데에 문제가 없었다. 그러나 HFC 냉매는 극성을 띠게 되어 기존의 비극성 광유와는 혼합되지 않기 때문에 산소분자가 들어있는 PAG, Esters등의 극성 윤활제가 새로이 도입되었다. 냉동유의 윤활성 문제에서도 HFC 냉매는 염소원자가 배제되어 냉매자체의 윤활성이 상당히 저하되므로 마모방지제 등과 같은 첨가제를 넣어 윤활성을 개선시키는 연구가 진행중이다. 또한 극성 HFC와 극성 냉동기유는 극성인 수분과 친화성이 좋기 때문에 에스터 냉동유의 경우에는 가수분해현상이 생기므로 이를 방지하기 위해서 안정한 분자구조의 선정과 함께 중화제, 금속불화성제 등의 첨가제도 채택되고 있다. HFC냉매는 CFC 냉매 또는 HCFC 냉매와 비교하여 분자의 크기가 작기 때문에 기존의 건조제인 Molecular Sieve 4A(세공경 4A)를 쓸 수 없고, 따라서 수분흡착능력은 떨어지나 강도가 높고 세공경이 작은 Molecular Sieve 3A(세공경 3A)로 대체 되었다.

6. 제3세대 대체냉매

지금까지 개발된 많은 HFC 냉매는 여전히 지구 온난화 지수가 높은 온실가스로서 직접적으로 지구온난화에 기여할 뿐 아니라 이를 이용하여 개발된 냉동시스템의 에너지효율도 낮기 때문에 간접적으로도 지구온난화에 영향을 미친다. 최근의 국제 동향을 보면 온실 가스인 HFC를 규제하자는 주장이 일어나고 있으며 이와 관련하여 반도체 산업계에서는 Etching agent로 사용되는 HFC의 방출을 막기 위하여, HFC를 공급하지 않는 정책을 쓰고 있다. 미국의 경우에는 냉매 제조시 부산물로 나오는 HCF-23의 방출을 억제하도록 유도하고 있다.

이같은 HFC의 특성으로 인해, 탄소, 불소, 수소 이외에 산소, 질소, 요오드, 규소 등이 더 포함되어 오존층을 파괴하지 않고 지구온난화에 영향을 적게 미치면서도 에너지 효율과 성능이 우수한 제3세대 대체냉매를 개발하려는 연구가 시작되었다. 제3세대 대체물질로 선진국에서 검색을 하고 있는 화합물 그룹으로는 Fluorinated Alkanes, Fluorinated Ethers, Fluorinated Cyclics, 황, 실리콘, 질소 인 함유 불소화합물 등을 들 수 있다.

7. 결어

본고에서는 지금까지 냉동 공조 분야에서 쓰이던 CFC 및 HCFC를 대체할 새로운 대체냉매의 개발동향 및 이용기술의 현황에 대해 살펴보았다. CFC와 HCFC 냉매는 지난 60년간 산업발전에 필수적인 물질로서 사용되어 왔으며, 현대문명사회에서 인류의 삶의 질을 높이는 데 큰 역할을 했다. 그러나 지구환경보전이 무엇보다도 우선한다는 인류의 의지를 담은 역사적인 몬트리올 의정서가 채택되고 이로 인해 CFC와 HCFC의 사용이 금지되자, 전 세계의 관련산업체가 새로운 기술개발경쟁을 함으로써 기술혁명

(Technological Revolution)을 유발시키고 있다.

현재 우리나라에서는 KIST가 개발한 기술에 의해 울산화학(주)에서 HCFC-22가 생산(년간 7,500톤)되고 있다. CFC 대체물질개발 연구도 1995년 12월에 완료되어 상업화를 위한 HFC-134a(년간 10,000톤), HFC-152a(년간 5,000톤)의 기본설계를 완성하였으며, 1996년에는 HCFC-123, HCFC-124 그리고 HFC-125 공정의 기본설계가 완료되었다. 또한 HCFC-141b와 HCFC-142b의 제조공정(년간 12,000톤)의 시운전도 1996년 2월에 성공리에 마쳤다. 또한 제3세대 대체물질 연구로서 HFC-227ea의 기초적인 합성연구도 완료되어 국산 냉매를 관련산업체에 보급하는데 기여를 하고 있다. 따라서 CFC냉매 관련 기업들은 적절한 대체 냉매를 선택함과 동시에 이번 기회에 CFC 대체 냉매의 이용기술의 연구개발을 통하여 기술변혁기에 능동적으로 대처하고 다가오는 21세기의 선도산업으로 발전시키는 계기를 마련해야 하리라 본다.

이를 위해 정부에서도 CFC대체물질 개발을 특별기금을 마련하여 관련 산업계의 당면한 문제를 해결해 주려고 노력하고 있고, 한국 정밀화학 진흥회를 통해 각종 자료를 구입/배포하고 있으며, 대국민 홍보에도 주력하고 있다. 국내 대학 및 연구소에서도 이분야에 대한 관심이 고조되어, 현재 이용기술에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 이번엔 CFC에 의한 오존층 파괴 문제로 인해 환경 문제에 대한 인식이 새로워졌고, 산학연의 협력하에서 기술적인 차원에서도 큰 진보가 이루어 질 수 있을 것으로 보인다.