

4. 학사논문 지도교수: 김 민 수

- 4-1. 증발냉각을 이용한 연료전지 자동차의 열방출
- 4-2. 히트 펌프를 이용한 냉온수기 시스템
- 4-3. 히트펌프시스템에서의 오일 축적 및 이동에 관한 연구
- 4-4. 가변압 연료전지 시스템 해석 및 실험
- 4-5. 저온의 환경에서 공기극 플러딩에 관한 연구
- 4-6. 수소재순환시스템의 응축수 관리에 관한 연구
- 4-7. 열펌프를 이용한 전기자동차 난방
- 4-8. 연료전지 플러딩 해소 방안에 관한 연구

교수 연락처 전화: (02) 880-8362, E-mail: minskim@snu.ac.kr

실험실: 냉동시스템 및 콘트롤 실험실 (Refrigeration System & Control Lab.)

연락처 전화: (02) 880-7545(내선3308), 담당조교: 공 임 모 E-mail: spykan05@snu.ac.kr

연구실 홈페이지: <http://reflab.snu.ac.kr>, <http://fcslab.snu.ac.kr>

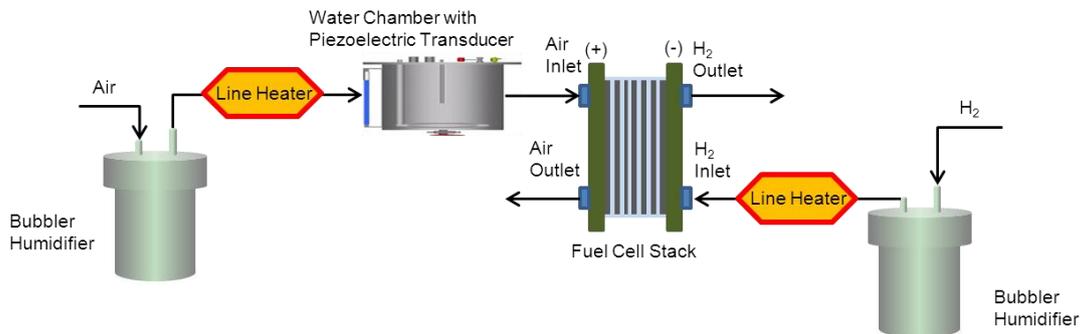
4-1. 증발냉각을 이용한 연료전지 자동차의 열방출

학사논문 지도교수: 김 민 수

최근 급격한 유가 상승과 지구 온난화로 인한 자연 재해 등의 이유로 친환경 무공해 자동차 개발을 위한 연구가 세계 각국에서 진행되고 있다. 그 중, 연료전지 자동차는 친환경, 경제성이라는 요구조건을 모두 만족시키는 차세대 교통수단으로서 우리나라가 높은 경쟁력을 바탕으로 세계 시장을 주도하고 있는 분야이다.

연료전지 자동차에 들어가는 각종 부품들(연료전지스택, 인버터, 모터, LDC, 기타 제어모듈 등)은 제한된 차량 내부 공간을 최대한 활용하여 성능과 효율을 높이기 위해서 갈수록 고출력, 고밀도화 되고 있다. 이에 따라 필연적으로 단위 부피당 발열량이 많아지는데 이 열을 충분히 방출해 주지 못할 경우 각 부품의 허용 운전 온도를 초과해 차량의 수명과 안정성, 신뢰성에 큰 타격을 미친다.

본 연구는 연료전지 차량의 스택에서 발생하는 열을 방출하는 보조적인 방법으로 물 분사 증발냉각을 제안하고 있다. 물을 미립화 분사하여, 미립화된 물 입자가 스택 내부 유로에서 증발하며 냉각효과를 발휘하는 것이 이 연구의 기본 개념이다. 더불어 스택 외의 기타 전장부품의 냉각에도 적용하여 통합 열방출 시스템을 설계, 해석하도록 한다. 이 연구에 참여함으로써 차세대 동력원인 연료전지를 이용한 차량의 열방출 관련 지식을 습득할 수 있고, 더 나아가 열방출 시스템과 냉·난방 시스템의 연계 기술도 연구할 수 있다.



<물 분사 증발냉각 실험 장치>

담당조교: 황 성 훈 (E-mail : 1185bs@hanmail.net)

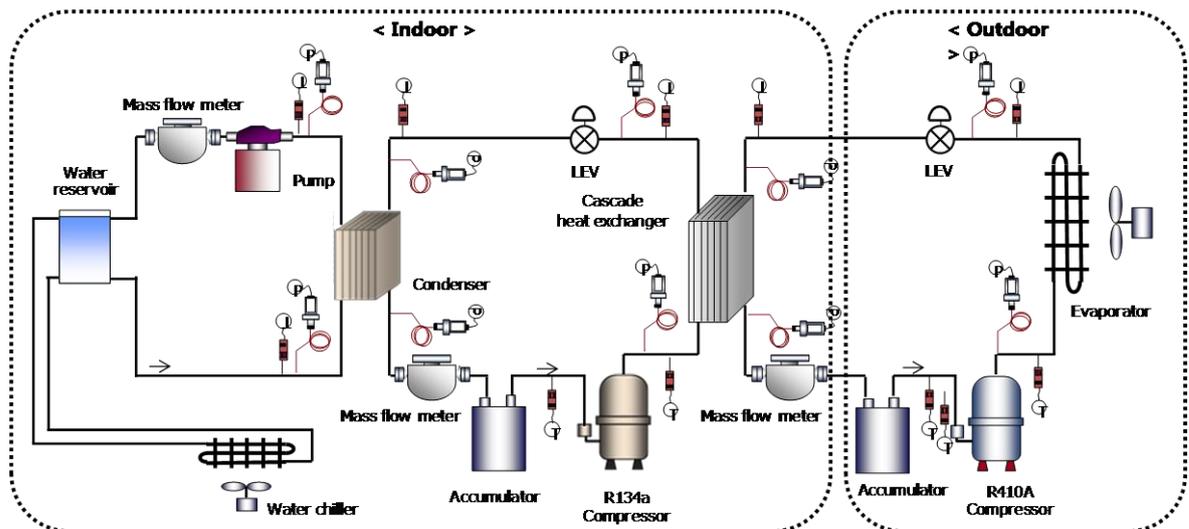
4-2. 히트 펌프를 이용한 냉온수기 시스템

학사논문 지도교수: 김 민 수

히트펌프는 기본 열역학 사이클을 이용하여 냉방과 난방을 하나의 기기로 운전하는 장치이며, 전 세계적으로 수요가 증가하고 있는 추세이다. 히트펌프 냉온수기는 열역학적 사이클을 이용하여 공기, 지열, 물 등의 신재생에너지를 냉수 및 온수 등의 유용한 에너지로 변환하는 기기이다. 기존에는 온수를 만들기 위해 화석 연료의 연소방식을 통하여 행해졌으나, 세계적인 기후 변화 및 온실가스 감축을 위해 히트펌프를 이용한 냉온수 시스템 연구가 활발히 이루어 지고 있다.

겨울철 극한 지역에서의 난방 및 급탕을 위해서는 고온수가 필요하며 고온수 출수를 위해 여러 가지 시스템 열역학 시스템 설계가 이루어 졌다. 본 연구에서는 2단의 열역학 사이클(Cascade system)을 이용하여 고온 출수뿐 아니라 효율적인 성능을 얻고자 한다. 2단의 열역학 사이클은 각 단에서의 압축비가 낮기 때문에 높은 효율의 운전을 할 수 있다. 또한, 효율을 극대화 하기 위하여 최적의 중간온도를 찾는 연구가 필요한데, 최적의 중간온도는 전기를 최소로 사용하며 능력을 극대화 하는 운전상태이다.

본 연구의 목적은 고온 출수뿐 아니라 높은 효율의 운전을 위하여 제어 기법을 개발하는 것이며, 제어변수들의 최적 조합을 통하여 궁극적으로 히트펌프의 최적 효율 운전을 도출하는 것이다.



<냉온수기 히트펌프 시스템 개략도>

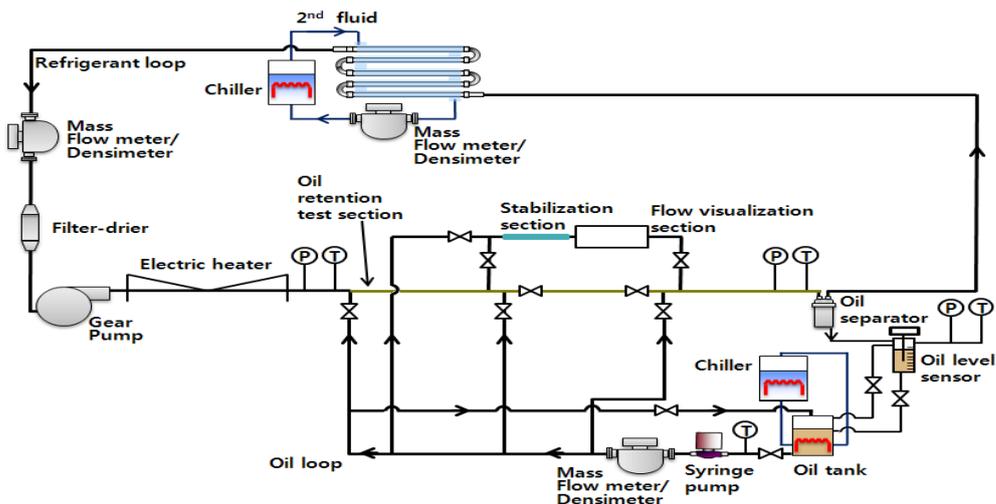
담당조교: 김 동 호 (E-mail : widtown1@snu.ac.kr)

4-3. 히트펌프시스템에서의 오일 축적 및 이동에 관한 연구

학사논문 지도교수: 김 민 수

히트펌프시스템에서의 핵심 부품 중 하나인 압축기의 내구성을 확보하기 위해서는 오일을 이용한 윤활이 필수적이다. 압축기 내의 오일은 압축기 구동 시 발생하는 마찰을 줄여줌으로써, 압축기의 수명 및 성능 향상에 기여한다. 하지만, 시스템을 순환하는 냉매에 의해 일부 오일이 압축기로부터 토출된다. 토출된 오일은 히트펌프시스템 내의 다른 구성요소에 축적되어 여러 문제를 야기시킨다. 따라서 토출된 오일을 회수하기 위한 오일회수운전을 수행해야 한다. 오일회수 운전을 효과적으로 수행하기 위해서는 오일의 축적 및 이동에 관한 연구가 반드시 필요하다.

본 연구에서는 냉매/오일 순환시스템을 이용하여 다양한 운전조건 및 배관 구조에 대한 냉매/오일 혼합물의 유동특성을 파악하는 것이 주된 목표이다. 또한 다양한 운전 조건에서 시스템 내의 냉매/오일 이동 및 축적에 관한 정량적 분석을 바탕으로 보다 효과적인 오일회수운전에 대한 아이디어를 제시하는 것이 부차적인 목표이다. 주된 연구내용은 압축기 흡입관에서의 오일 축적 및 이동에 관한 실험적 연구 및 멀티 히트펌프시스템에서의 오일 축적 시뮬레이션 모델 개발 등이 있다. 본 연구를 토대로 다양한 운전 조건에서 오일의 유동특성을 파악할 수 있는 실험적 상관식을 확보할 수 있으며, 이를 바탕으로 효과적인 오일회수 운전에 대한 구체적인 방안을 제시 할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 시뮬레이션 모델 개발을 통해, 실제



제품의 각 구성요소에서의 오일 축적량을 예상 할 수 있을 것으로 기대한다.

<오일 축적 및 이동에 관한 실험 장치 개략도>

담당교수: 김 학 수 (E-mail : widtown1@snu.ac.kr)

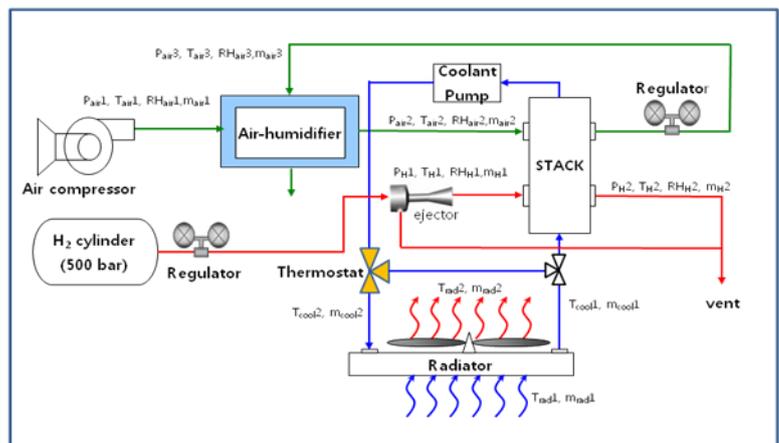
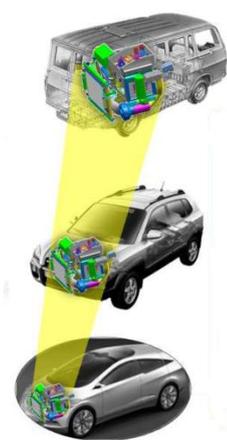
4-4. 가변압 연료전지 시스템 해석 및 실험

학사논문 지도교수: 김 민 수

자동차용 연료전지로 가장 많이 사용되고 있는 PEMFC(Proton Exchange Membrane Fuel Cell)의 주변장치중 공기공급장치에는 저압(1.1~1.3 Bar)의 블로워와 고압(1.5~3 Bar)의 압축기가 사용될 수 있다. 공기공급장치로서 블로워를 사용하는 경우에는 작은 소비전력으로 인하여 시스템의 효율이 향상되는 장점이 있는 반면, 연료전지 내부의 응축되는 물의 제거와 열방출이 어려우며 운전압력이 작아 연료전지의 소형화가 어렵다는 단점이 있다. 한편 압축기를 사용하는 경우에는 반대로 물제거와 열방출이 용이하며 소형화가 가능하지만 소비전력이 크다는 단점이 있다.

이로 인하여 최근 가변압력형 연료전지를 개발하기 위한 노력을 기울이고 있으며, 이는 PEMFC 시스템의 효율을 최대한으로 유지하며 물 및 열관리를 효과적으로 하여 최종적으로는 시스템의 소형화를 달성하는 것이 궁극적인 목표라 할 수 있다.

이를 위해서 연료전지 시스템의 압력에 따른 연료전지 특성을 확인할 필요가 있다. PEMFC의 경우 운전압력이 높아질수록 수분활동도가 높아지는데 이는 막저항 손실을 저하시키지만 반대로 응축을 일으키는 원인이 될 수 있다. 즉, 압력에 따른 최적운전조건이 존재하게 되는데 이를 연료전지 주변장치(압축기, 막가습기, 수소재순환장치 등)를 포함한 통합시스템 모델링함으로써 전체 시스템의 최적운전을 위한 운전조건을 도출한다.



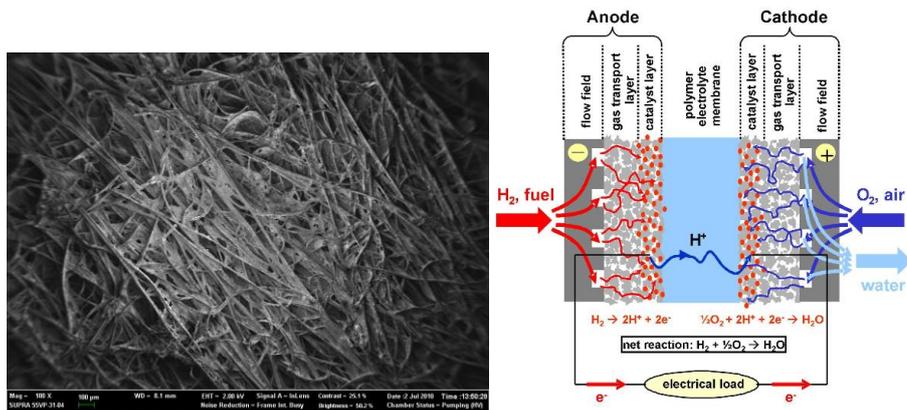
<PEMFC 시스템 모델링을 위한 개략도>

담당조교 : 서정훈 (E-mail: chui58@hanmail.net)

4-5. 저온의 환경에서 공기극 플러딩에 관한 연구

학사논문 지도교수: 김 민 수

연료전지는 수소와 산소가 반응하여 열과 물이 발생하게 되는데, 겨울철 영하의 온도에서 외부에 연료전지 자동차를 오래 방치해 놓으면 연료전지 내부에 존재하는 물이 얼게 되는 문제가 발생하게 된다. 또한 영하의 온도에서 시동을 걸게 되면 생성되는 물이 바로 얼음으로 상변화를 하기 때문에 연료전지가 정상적으로 동작되는데 어려움이 있다. 위와 같은 문제를 연료전지의 냉시동 문제라고 한다. 냉시동이 성공을 하게되면 스택의 온도가 영상으로 올라가게 되고, 시동이 걸리게 된다. 하지만, 그때의 스택온도는 최적의 온도에 아직 도달하지 못한 저온이고, 이때는 포화수증기압이 낮기 때문에 스택내에 수증기를 많이 포함할 수 없게된다. 포함하지 못하는 수증기는 물로 응축이 되고, 냉시동시 스택 내부에 생성되었던 얼음또한 물로 상변화를 하기 때문에 스택 내에는 물이 많이 발생하게 된다. 이러한 현상을 플러딩 이라고 하고, 이를 해결하기 위한 연구가 진행중이다. 저온의 환경에서 스택내에 발생하는 플러딩 문제를 해결하기 위해 다양한 아이디어를 도출중이고, 실험을 할 예정이다. 현재는 공기극에 미량의 수소를 같이 공급하여 스택의 온도를 상승시켜 플러딩을 해결하는 방안을 연구중이며, 공급해주는 수소의 양이나, 스택 내부의 물의 양 등에 따른 최적값을 찾는 것을 목표로 한다.



<연료전지 플러딩 발생 개략도 및 GDL>

담당교수: 김 성 일 (E-mail : ksi-2002@hanmail.net)

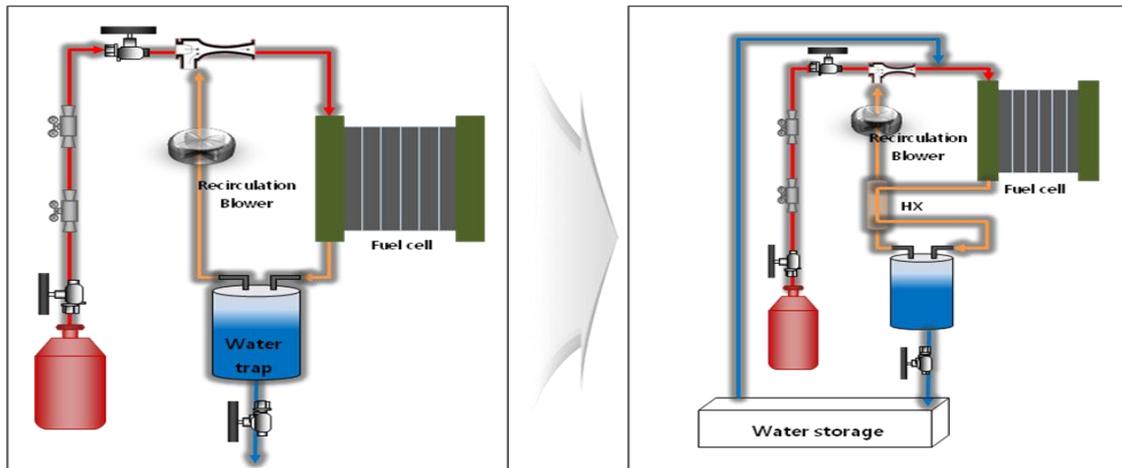
4-6. 수소재순환시스템의 응축수 관리에 관한 연구

학사논문 지도교수: 김 민 수

연료전지의 성능은 온도, 압력, 상대습도 등의 운전 조건에 따라 크게 변화하며, MEA, GDL, 분리판, 집전판 등의 부품 특성에 의해서도 많은 영향을 받게 된다. 따라서 여러 조건에서 연료전지와 주변 장치의 성능 특성 변화를 파악하여, 최적의 운전 조건을 도출할 필요가 있다. 이에 따라 관련 연구들이 다양하게 진행되어 왔으며, 성능 및 내구성 향상을 위한 개선 방안들이 제안되었다.

특히 수소 및 공기 공급 시스템의 경우 반응시 필요한 양보다 과량의 기체를 공급하여 연료전지의 성능을 향상시키고 있으며, 이에 따른 미반응 수소의 낭비를 막기 위하여 수소 재순환시스템을 적용하고 있다, 또한 재순환시스템을 적용할 경우 반응 후 배출되는 열과 수분을 재활용함으로써 연료전지의 성능과 효율을 향상시킬 수 있다.

본 연구실에서는 수소재순환시스템에서 발생 가능한 잠재적인 고장 요인을 분석함으로써, 설계 기준을 제시하고 위험 요소를 사전에 예방하여 수소연료전지 자동차의 안전성을 향상시키고자 한다. 또한 내부 열교환기 및 응축수 재활용 기술을 적용하여, 시스템의 효율성 및 내구성을 향상시키기 위한 연구를 수행하고 있다.



<기본 수소재순환시스템 및 개선된 시스템의 개략도>

담당조교: 공 임 모 (E-mail: spykan05@snu.ac.kr)

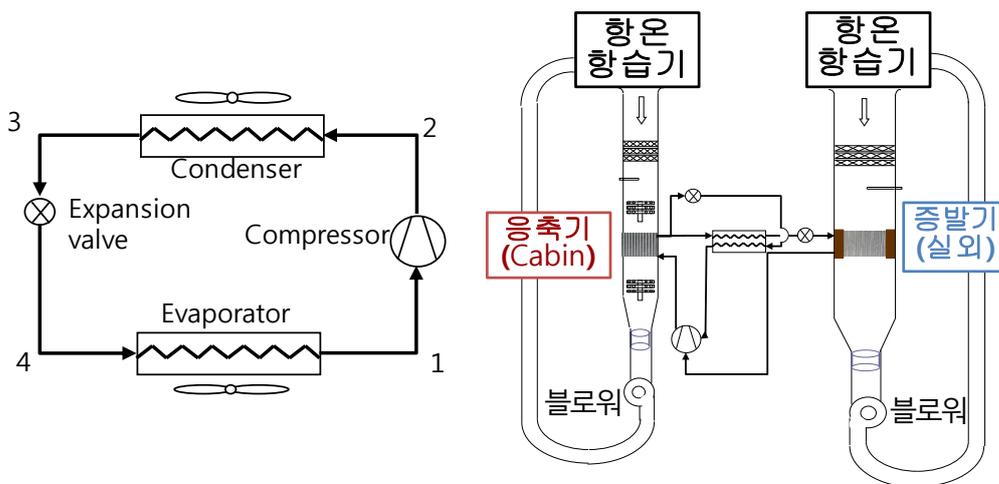
4-7. 열펌프를 이용한 전기자동차 난방

학사논문 지도교수: 김 민 수

화석연료의 사용으로 인한 지구 온난화 문제가 점차 심각해져 가고 화석연료의 고갈이 진행됨에 따라 기존 내연기관을 전기구동 차량으로 바꾸고자 하는 노력이 진행되고 있다. 배터리를 이용한 전기자동차는 현재 기술수준에서 내연기관 자동차를 대체하기 위한 가장 적절한 자동차로서 실제 상용화를 위한 노력이 활발하게 진행되어 곧 내연기관 차량의 일부를 대체할 전망이다.

그러나 이러한 배터리 이용 전기자동차는 기존 내연기관 자동차에 비하여 폐열의 발생량이 매우 미미하고 그 온도 또한 크지 않아 난방을 위한 추가 수단이 필요하다. 이러한 상황에서 기존 전열방식의 난방시스템을 도입하게 되는 경우 배터리 용량의 급격한 소모로 인해 주행거리에 과도한 손실을 가져오게 되며, 경우에 따라 최대 30%의 주행거리 손실이 야기되기도 한다. 이러한 주행거리 손실을 최소화하기 위하여 다양한 수단이 강구되고 있으며 그 중 한 방법이 열펌프를 이용하는 것이다.

열펌프는 에어컨으로 작동하는 냉방사이클을 역으로 가동시킴으로써 저온열원에서 고온열원으로 열을 수송하는 장치로, 가해주는 동력대비 더 많은 열을 이동시킬 수 있어 가해주는 동력만큼만 열을 발생시키는 전열기에 비해 주행거리 손실 문제를 크게 완화할 수 있다. 본 주제와 관련하여서는, 전기자동차에 열펌프를 적용하는 데 있어서 사이클의 다양한 변화를 모색하여 열펌프의 효율을 최대로 하고, 보다 효과적인 제어 수단을 강구하는 연구를 수행하고 있다.



<기본 열펌프 사이클의 개략도와 자동차 난방 시스템 실험장치 개략도>

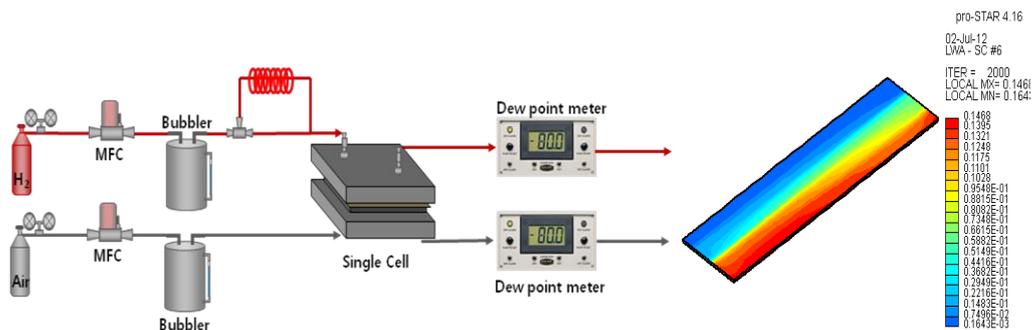
담당교: 최 영 욱 (E-mail: ddabuza2@naver.com)

4-8. 연료전지 플러딩 해소 방안에 관한 연구

학사논문 지도교수: 김 민 수

연료전지는 수소와 산소의 화학반응으로 생성되는 전기를 이용하여 발전하는 시스템이다. 화학반응을 통해 전기 외에도 물과 열이 발생되며 연료전지를 원활하게 작동시키기 위해서는 작동 환경에 따른 연료전지 내의 물과 열의 관리를 적절히 해주어야 한다. 특히 연료전지 내에 물이 너무 적으면 산소와 반응을 해야 할 수소가 충분히 전달되지 않아 반응이 충분히 일어나지 않으며 물이 너무 많으면 화학반응이 일어나는 촉매층까지 산소와 수소가 충분히 공급되지 않아 반응이 적게 일어나서 성능이 떨어지기에 물 관리는 연료전지 구동에 있어서 매우 중요하다 할 수 있다.

연료전지 내에 물이 너무 많아 기체공급이 막히는 현상을 ‘플러딩’이라 한다. 플러딩 상황에서는 연료전지의 성능이 크게 저하되기 때문에 이를 해결하기 위한 방안들이 다양하게 연구되고 있다. 기존의 연구들은 물이 생성되는 공기극쪽으로 물을 제거하는 것에 초점을 맞추고 있는 면에 반해 본 연구실에서는 반대 방향인 수소극쪽으로 확산 효과를 극대화하여 물을 제거하는 방안을 연구중에 있다. 또한 연구 결과를 활용하여 연료전지 내의 물의 이동현상을 시뮬레이션하고 이를 통해 연료전지의 최적 물 관리 방안을 도출하는 것을 최종 목표로 하고 있다.



<연료전지 플러딩 해소 시스템 및 시뮬레이션>

담당조교: 김 영 상 (E-mail : hongchuney@hotmail.com)