

고분자 전해질 연료전지 내구성 기술개발 개요

무공해자동차 의무판매를 통한 자동차 배기가스의 규제, 기후변화협약에 의한 온실가스 배출규제, 석유자원의 고갈 등에 대응하기 위해서 전 세계의 자동차회사들은 연료전지자동차의 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 연료전지는 연료가 가지고 있는 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환시켜 주는 에너지 변환장치로서 공해가 없고 효율이 높은 차세대 신에너지 발전장치이다. 연료전지를 동력원으로 하는 연료전지자동차는 일종의 전기자동차로서 단위무게당 에너지밀도가 이차전지에 비하여 월등히 우수하여 기존의 전기자동차가 가지고 있는 충전시간, 일충전 주행거리 등의 문제점을 해결할 수 있으며 연료의 이용효율이 36~50 %로 내연기관의 20 %에 비하여 매우 높고 석유계열 이외의 연료 (천연가스, 알코올, 수소)를 사용할 수 있다는 장점이 있다.

연료전지자동차에 대해서는 일본의 토요타와 혼다, 미국의 Big 3 를 비롯하여 전 세계적으로 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 부시행정부는 2002년 1월 미래형 자동차로서 고연비 내연기관 자동차의 개발을 포기하고 연료전지자동차의 개발에 집중할 것임을 선언한 바 있고, 일본의 경우 이미 2002년 12월 2일 토요타와 혼다가 각각 연료전지자동차 한 대씩을 정부에 임대 형식으로 전달하고 고이즈미 총리가 직접 그 자동차들을 시승함으로써 미국과 유럽을 뿌리치고 연료전지자동차를 판매하기 시작한 첫 번째 나라가 되었다. 또한 그 다음날에 토요타는 캘리포니아 대학에 6 대를, 혼다는 로스앤젤레스 시청에 1 대를 임대해 줌으로써 이들 연료전지자동차 또한 미국정부가 상업화를 승인한 첫 번째 연료전지자동차가 되었다.

이러한 최근의 기술 발전에도 불구하고 미국의 에너지성 (Department of Energy, DOE) 에서는 연료전지 자동차의 상용화 시점을 2015 년 이후로 설정하고 있는데, 이는 수소 infra 구축, 수소 저장 및 안정성 확보와 함께 고분자 전해질 연료전지 자체가 가지고 있는 문제, 즉 높은 가격과 짧은 수명 문제를 기술적으로 해결해야 하기 때문이다. 먼저, 가격 면에 있어서 현재 \$3,000/kW 수준인 연료전지 스택의 가격을 \$50/kW 이하로 낮춰야 하는데, 이를 달성하기 위해 크게 두 가지 방향으로 접근이 이루어지고 있다. 첫째는

대량 생산을 통해 가격을 낮추는 것이고, 둘째는 촉매 사용량을 감소시키거나 대체 전해질 개발 또는 백금 재활용 공정 개발 등으로 같은 소재 가격을 감소시킴으로써 연료전지 스택의 가격을 낮추는 것으로 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 한편 연료전지 스택의 수명에 관해서는 운전 시간 5,000 시간 이상에 작동/멈춤 반복 10,000 회 이상을 목표로 하고 있으나, 현재 기술수준과는 상당한 격차가 있는 것으로 알려져 있다.

고분자전해질 연료전지의 성능 감소 원인으로서는 대기 중의 오염원, 운전 중 반응기체의 불충분한 공급, 작동과 멈춤의 주기적 반복, 촉매의 열화현상, 전해질 막의 퇴화, 불완전한 운전조건 등을 들 수 있으나 아직까지 명확한 열화원인은 규명되지 못하고 있는 실정이다. 최근에는 수소와 산소가 반응하여 미량 생성되는 과산화수소 (H_2O_2)가 전해질 막 및 촉매를 퇴화시켜 고분자전해질 연료전지의 성능을 감소시키는 주요인으로 작용한다는 보고가 잇따르고 있으며, on/off 과정이나 순간적인 반응가스 부족 등에 따라 전극에 과전위가 가해져 탄소 담지체를 산화시킴으로써 촉매 활성을 저하시켜 성능을 감소시킨다는 결과도 보고되고 있으나, 아직까지 명확한 열화원인은 규명되지 못하고 있다.

PEMFC의 이상작동 요인은 여러 가지가 있을 수 있으며 현재까지 알려진 현상 및 요인을 정리하면 Table 1과 같다. 이러한 이상작동을 초래하는 일반적인 요인으로는 먼저 셀 제작, 유로 가공, 셀 적층이 있어서의 불균일성을 들 수 있으며, 이러한 불균일한 셀 및 스택구조에 의하여 국부적인 셀 성능감소가 나타난다. 또한 연료전지 작동조건인 cycling, 즉, 온도, 압력, 가습조건, 기동/정지, 부하변동의 cycle이 계속되면 셀에 부가되는 기계적 stress에 의해 성능이 감소될 수 있다. 그리고 PEMFC의 가장 중요한 성능감소 요인은 물의 flooding 및 dehydration에 있으며 물관리에 실패하면 MEA 성능감소를 비롯한 여러 성능감소 현상을 가속화시킬 수 있다. 물은 또한 오염물을 이동시키는 역할을 하여 셀 구성요소의 오염에 의한 성능감소를 초래한다.

Table 1. Failure mode and possible mechanisms.

Failure mode	Possible failure cause and mechanism
Catastrophic failure	Pinhole, dehydration, electrode shorting, seal oxidation, crack, freezing, smudging, feed contamination
Degradation – loss of apparent catalytic activity	Sintering, catalyst loss, poisoning, deformation of TPB, carbon support corrosion
Degradation – conductivity loss	Membrane contamination, polymer degradation, BP corrosion, delamination
Degradation – decrease of mass transfer rate	Deformation of electrode structure, GDL compaction, surface property change (GDL, C-layer)

현재까지 보고되고 있는 전해질, 촉매, 가스켓의 열화 기구를 그림 1, 2, 3 에 각각 정리하였다.

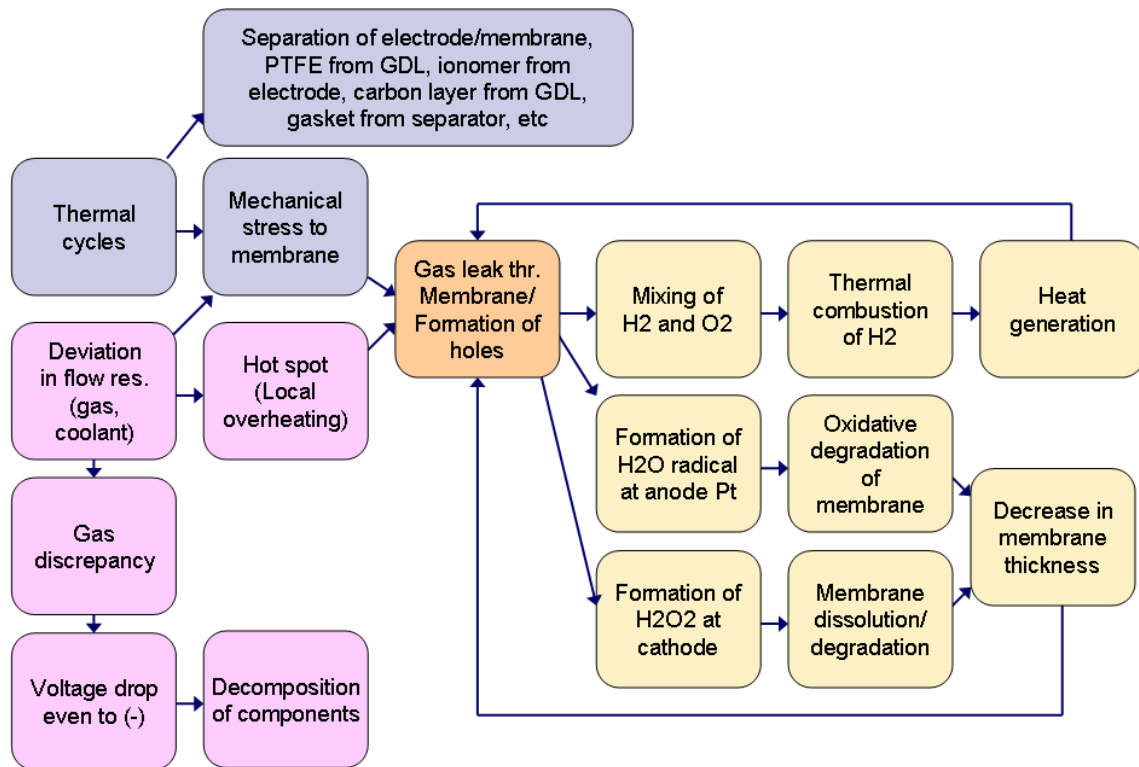


그림 1. 고분자전해질 연료전지 전해질 열화 기구

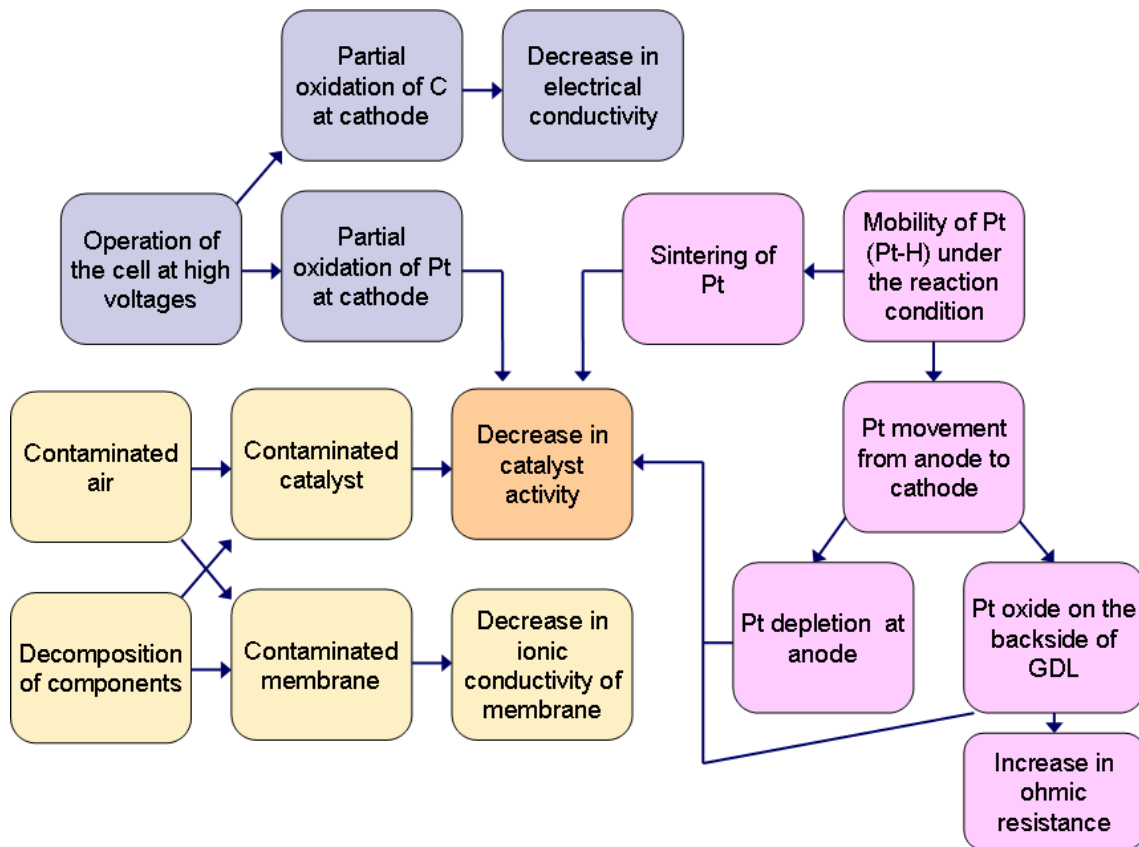


그림 2. 고분자 전해질 연료전지 촉매 열화 기구

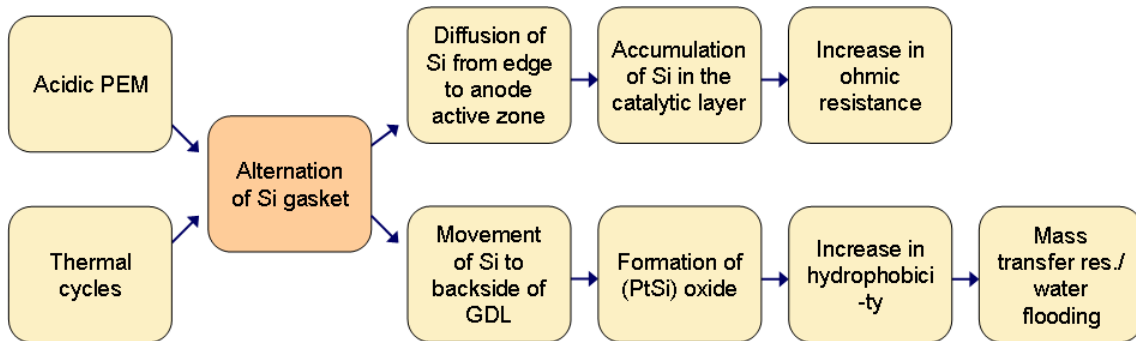


그림 3. 고분자 전해질 연료전지 가스켓 열화 기구

연료전지 자동차의 수명을 향상시켜 상용화에 이르기 위해서는 고분자 전해질 연료전지의 열화 현상에 관한 체계적인 연구를 통해 열화 방지 대책을 개발하는 것이 시급하다. 또한 각각의 구성요소의 열화 현상 뿐만 아니라 대면적화 및 다층 stacking, 잦은 on/off 반복에 따라 가속화되는 고분자 전해질 연료전지의 열화현상에 대한 이해하고 대응기술을 개발하는 것이 요구된다.