

연료전지 시스템 자동차용 부동 냉각액 연구

조 창렬¹⁾, 이 흥기²⁾, 정 재훈³⁾, 이 미지⁴⁾

Study of Antifreeze Coolant for Fuel Cell System using the vehicle

Chang-Ryeol Jo¹⁾, Hong-Ki Lee²⁾, Jae-Hoon Jeong³⁾, Mi-Ji Lee⁴⁾

Key words : Antifreeze Coolant(부동 냉각액), Fuel Cell(연료 전지), Vehicle(자동차), Corrosion(부식)

Abstract : We aim to develop antifreezing coolant used to in the 200kW Fuel Cell system that is possible to starting at low temperature and that must not to be freezed under -30°C , have high conductivity, excellent system protection ability and durability.

Nomenclature

PEFC : polyelectrolyte fuel cell

FC : fuel cell

1. 서론

최근에 전 세계적으로 환경 문제가 중요한 관심사로 부각되고 있다. 이를 해결하기 위한 여러 가지 규제들이 국제적으로 제정되어 환경 보호를 위해 시행되고 있다. 이에 대응하기 위하여 세계 각국이 저공해 자동차의 개발을 통한 공해 발생을 줄이기 위하여 전기 자동차, 하이브리드 자동차, 연료 전지 자동차 등을 개발하고 있다.

연료 전지 기술은 1839년 영국의 과학자 William Grove경에 의해서 시작되었으나, 여러 가지 기술적인 문제로 실제 적용되지 못하였다. 이후 1960년대에 미국의 우주개발사업에서 우주선의 전력으로 주목받기 시작하였다.¹⁾

자동차에 대한 본격적인 적용 연구는 1980년대 후반에 미국의 DOE의 지원으로 시작되었으며, 국내에서도 현대자동차(주)를 주축으로 자동차용 고분자 연료 전지에 대한 연구 개발이 활발히 진행중이다.²⁾

자동차용 고분자 전해질형(PEFC) 연료 전지는 수소이온 교환특성을 갖는 고분자 막을 전해질로 사용하는 연료전지로서 작동온도가 100°C 이하 정도로 낮고 효율이 높으며, 전류밀도 및 출력밀도가 크고 시동시간이 짧은 동시에 부피변화에 따른 응답이 빠른 특성을 가지고 있다.

연료전지는 수소와 산소의 전기화학반응을 이용하여 전기를 생성하며 열이 부수적으로 발생되는 기관이다. 연료 전지를 전기 자동차에 적용하기 위해서 수십 KW급 stack이 개발되고 있으며,

연료전지의 대용량화에 따라 단위부피당 열 생성량이 많아져 냉각의 중요성이 증대되고 있다.³⁾

고분자 전해질형 연료전지로부터 필요한 전기 출력을 얻기 위해서는 여러개의 셀을 직렬로 연결한 셀스택으로 구성되어지며, 연료인 수소가 이상적인 상태로 모두 전기에너지로 변환되어야겠지만, 실제로는 셀 내부에 약간의 전기저항이 있어 그 저항으로 인해 일부 에너지가 전기에너지가 아닌 열에너지로 변해 버린다. 이로 인해 셀에서 열이 발생하며 셀 온도가 상승하므로 냉각수가 통과하는 관을 셀스택의 여러 곳에 설치하여 셀이 적정 온도가 되도록 냉각하지 않으면 안 된다.

현재 연구개발 과정에서는 냉각수로 전기저항이 높고 절연성과 냉각성능이 우수한 초순수(DI-Water)가 사용되어지고 있다. 냉각수는 연료 전지 스택의 분리판 사이에 형성된 냉각수 유로를 지나가는데 연료전지가 작동 중에는 스택의 음극과 양극사이에 250 ~ 460 V의 고전류가 흐르므로 초순수처럼 전기절연성이 우수하지 않으면 누전되어 효율이 급격히 떨어지게 된다.

그러나, 초순수는 동결기에 동결하고 냉시동의 문제점과 쉽게 오염되어 전기절연성이 급격히 떨어지므로 상용화가 불가능한 문제를 안고 있

- 1) 극동제연 주식회사 기술연구소
E-mail : cycho@jeyen.com
Tel : (051)205-7493 Fax : (051)206-1836
- 2) 극동제연 주식회사 기술연구소
E-mail : lkh8765@jeyen.com
Tel : (051)205-7493 Fax : (051)206-1836
- 3) 극동제연 주식회사 기술연구소
E-mail : jjh2050@jeyen.com
Tel : (051)205-7493 Fax : (051)206-1836
- 4) 극동제연 주식회사 기술연구소
E-mail : inaive@jeyen.com
Tel : (051)205-7493 Fax : (051)206-1836

다. 이러한 문제로 인하여 연료 전지 자동차용 부동 냉각액 개발에 대한 이슈가 부각되었다.

본 논문에서는 연료 전지 자동차 냉각 시스템의 핵심인 부동 냉각액 개발 현황에 대해 소개하고자 한다.

2. 요구 사양

Table. 1에 요약된 바와 같이 연료 전지 자동차용 부동 냉각액은 누전으로부터 시스템을 보호하고 전기적 위험을 방지하기 위해 전기 절연성이 우수하여야 하며, 겨울철 또는 혹한지역에서도 냉시동이 가능할 수 있도록 -30°C 이하에서도 동결되지 않아야 한다.

연료전지 자동차 운행시 부동냉각액에 대한 전기 절연성의 기준치는 현재 설정되어 있지 않지만 $5\ \mu\text{s}/\text{cm}$ 로 설정하여 부동냉각액에 대한 상대비교 평가를 실시하였으며 물리적 성질 목표치는 다음과 같다.

Table. 1 Requirement item of Coolant

Conductivity	lower than $5.0\ \mu\text{s}/\text{cm}$
Boiling point	more than 100°C
Freezing point	Freezing under -30°C
Thermal conduction	more than $0.4\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$
Viscosity	$< 1\ \text{mpa}\cdot\text{s}(\text{lcp})$ above 80°C
Corrosion prevention	Protection of metal parts surface
Influence of parts	None harmful influence on non-metal parts
Durability	5000hrs(Power-On Hours)

2.1 전기 전도도

기존의 사용 중인 내연기관용 Coolant의 경우 유기계, 무기계 첨가제를 동시에 사용하고 있어 전기 전도도 값이 약 $500\ \mu\text{s}/\text{cm}$ 으로 연료 전지 자동차용 냉각수로 사용하기에 적합하지 않다. 만약 기존의 Coolant로 연료 전지 스택에 사용 시 전류의 통전으로 인하여 연료 전지 시스템이 Down이 될 것이며, Coolant내의 첨가제가 이온화되어 석출되는 현상이 발생되면 분리판의 유로를 막아 연료 전지 시스템 기능을 상실하게 된다. 따라서 연료 전지 시스템용 부동 냉각액의 전기 전도도 값은 차량 운행 중 $5\ \mu\text{s}/\text{cm}$ 이하로 유지되어야 한다.

Table. 2는 기존의 내연기관용 부동액과 연료 전지용 부동냉각액 및 DI Water(3차 증류수)에 대한 비교 평가를 실시 하였으며, 전기 전도도 값의 측정은 공기 중에 노출된 상태에서 측정되어 DI Water의 전기 전도도 값은 이론치와 많은 차이를 가지고 있다.

Table. 2 Primary properties of Coolant

	DI Water	Fuel Cell Coolant	Motor Coolant (50%)
Conductivity	$0.20\ \mu\text{s}/\text{cm}$	$0.30\ \mu\text{s}/\text{cm}$	$> 500\ \mu\text{s}/\text{cm}$
Boiling point	100°C	$> 100^{\circ}\text{C}$	115°C
Freezing point	0°C	$< -30^{\circ}\text{C}$	$< -30^{\circ}\text{C}$
Thermal conduction (50%)	$0.64\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$	$> 0.4\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$	$0.41\ \text{W}/\text{m}\cdot\text{k}$

2.2 어는점

기존의 연료전지 자동차의 경우 냉각수로 초순수를 사용하여 왔다. 그러나 냉시동의 문제점과 동절기 동결에 따른 각종 부품의 동파에 따른 문제점이 부각되었다.

물의 경우 어는점이 0°C 인데 반해 부동액의 Base물질인 Glycol의 경우 -30°C 이하로 영하에서도 동결되지 않는 장점을 가지고 있다. 연료 전지 자동차의 경우도 동절기 냉각수의 동결 방지를 위한 Glycol Base의 부동 냉각액의 개발이 필요하다.

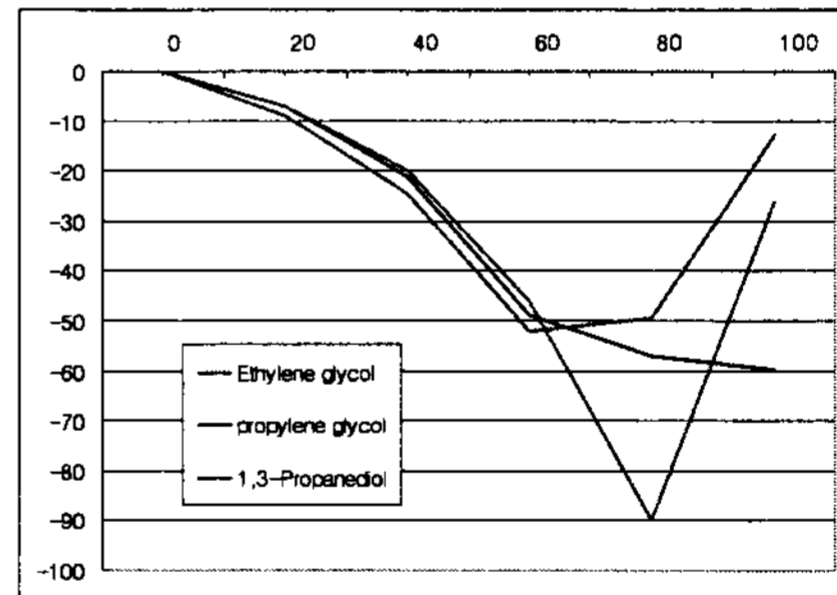


Fig. 1 Freezing point of Glycol solvent

Fig.1은 Glycol류에 대한 농도별 어는점을 나타낸 것이다. 농도에 따라 어는점이 차이가 나며, Glycol류의 최적의 농도는 30 - 60%가 가장 적당하다.

2.3 부품에 대한 영향성

연료 전지 시스템의 냉각 시스템은 크게 2가지로 분류될 수 있으며 이원 냉각 방식(Fig. 2)과 일원 냉각 방식(Fig. 3)이 있다.

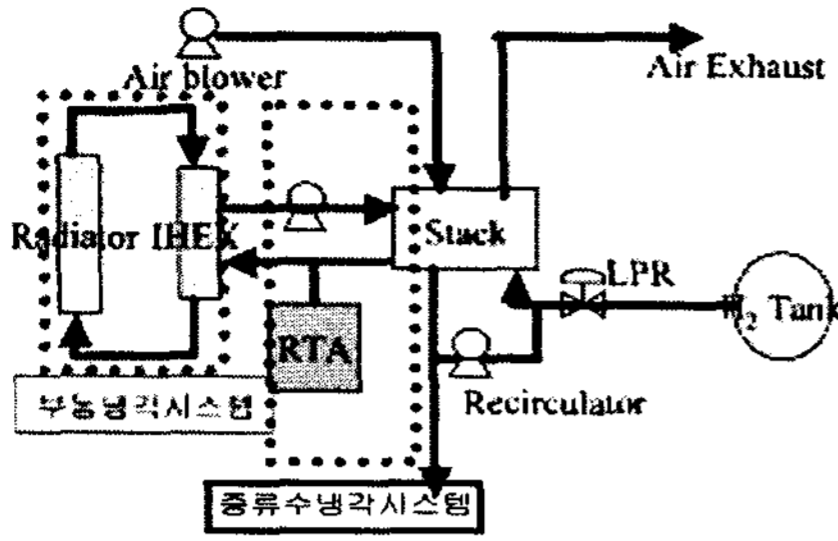


Fig. 2 Duality cooling system

냉각 시스템 구성을 살펴보면 냉 시동을 갖기 위해서 중류수 냉각 루프와 부동액 냉각 루프를 별도로 구성하는 2루프 냉각 방식으로 되어 있다.⁴⁾

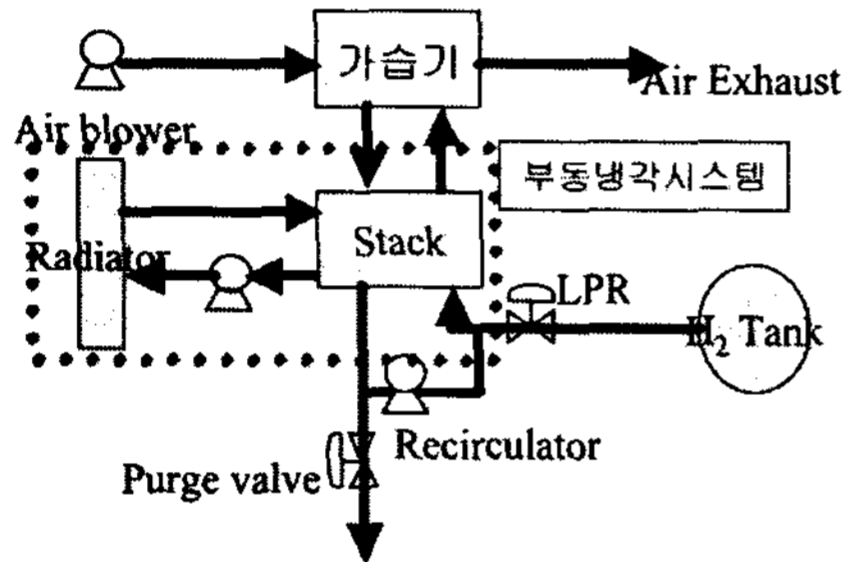


Fig. 3 One cooling system

일원 냉각 시스템의 구성을 살펴보면 부동액 냉각액이 스택과 Radiator를 동시에 냉각하는 1루프로 구성되어 시스템을 간소화 할 수 있는 장점이 있으며, 부동액 냉각액과 접촉하는 부품 대상은 크게 비금속 재료인 스택(분리판, 가스켓, Rubber O-Ring, Hose 등)과 금속 재료인 Aluminum Radiator로 구분 될 수 있으며, 각 부품과의 접촉으로 인하여 부동액 냉각액의 기본 물성이 거의 변화하지 않아야 한다.

2.4 내구성

시중 일반 차량용으로 시판되어 있는 부동액 냉각액의 내구 성능은 5년 10만km이며 향후 10년 20만km의 내구성을 갖는 제품이 상품 단계에 있다. 이러한 흐름과 동일하게 연료 전지 차량용 부동액 냉각액의 내구성도 주행시간 기준으로 5000시간을 목표로 하고 있으며, 장기간의 내구성을 가지기 위해서는 시간에 따른 부동액 냉각액의 산화를 방지하기 위한 기술 개발과 부품과의 상호 악영향이 없는 제품의 개발이 필요하다.

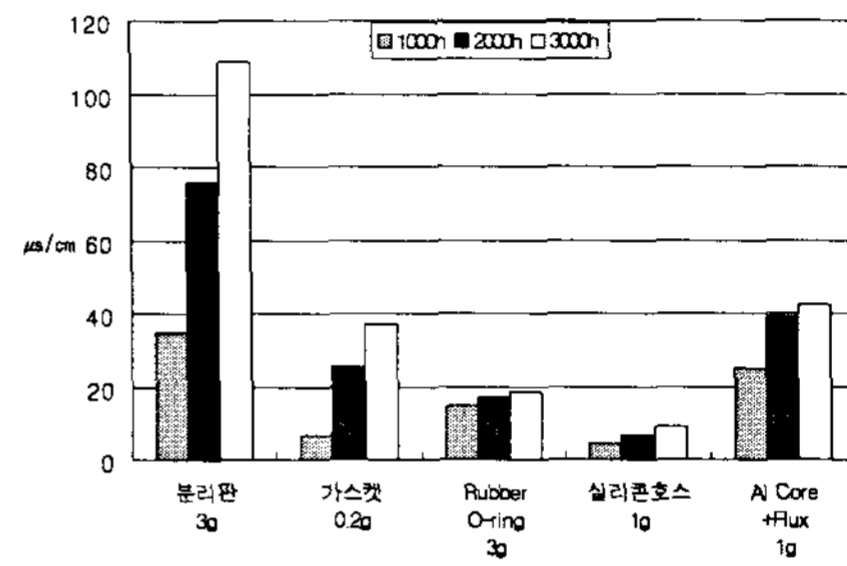
3. 제품의 성능 및 내구성 테스트

본 연구에서는 개발 중인 연료 전지 자동차용 부동액 냉각액을 이용하여 냉각수와 접촉하는 부품과의 상호 작용에 대한 실험이 진행되었다.

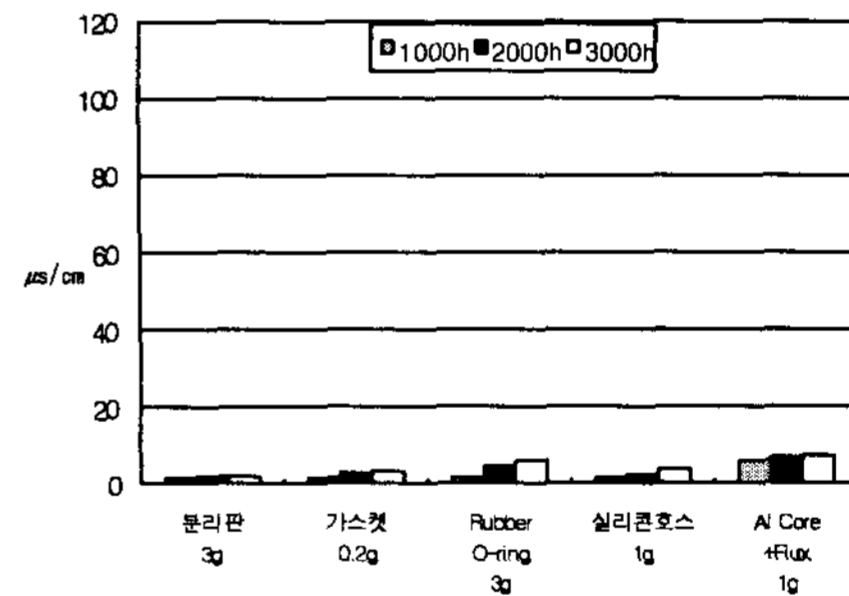
3.1 부품 영향성 테스트

연료 전지 자동차에서 냉각수와 접촉하는 부품 중에 분리판, Radiator 소재 등을 이용하여 침적 시험한 결과로서 부동액 냉각액 150cc에 각 소재부품을 침적하여 90°C chamber에 방치하였으며, Fig. 4와 같은 결과를 나타내었다.

3000시간 동안 침적 시험결과 초순수의 경우 모든 부품에서 자체 기준치인 5 μ s/cm를 많이 초과 하였다. 하지만 개발 중인 부동액 냉각액의 경우 5 μ s/cm 근방의 낮은 전기 전도도 값을 나타내었다. 그리고, 침적 시험 후 부품의 외형도 특이한 현상은 발견되지 않았다.



(a) DI Water



(b) Fuel Cell Antifreeze coolant

Fig. 4 Deposition test of Coolant

3.2 Simulation Test

Fig. 5는 연료 전지 차량의 각 부품을 조립하여 실차 기준 1/20로 축소된 모형의 시뮬레이션 테스트 장치로서 DI Water 대비 연료 전지용 부동액 냉각액에 대한 내구성 평가가 진행중이다.

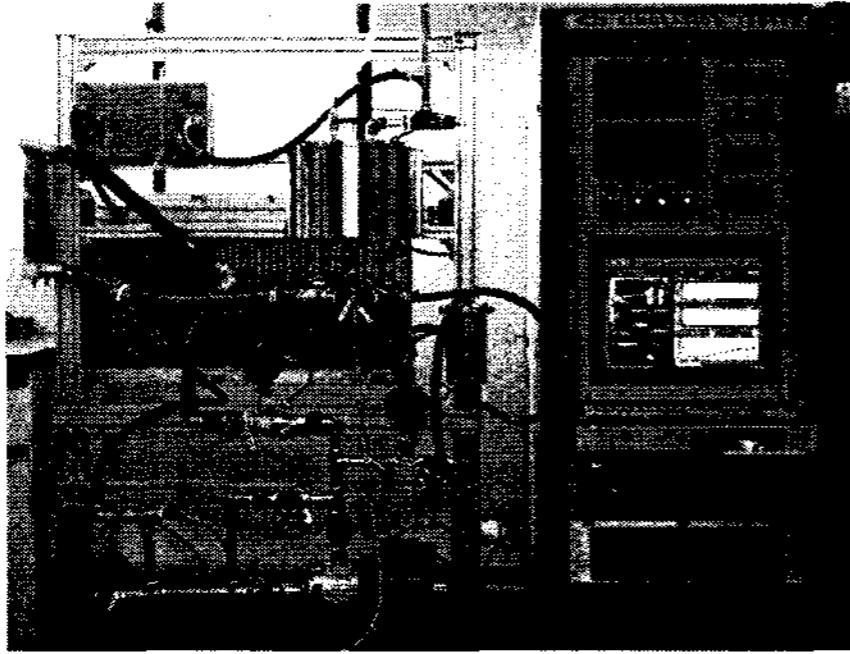


Fig. 5 Simulation Tester(1/20)

4. 결 론

기존의 연료 전지 차량에는 냉각수로 초순수가 사용 되어왔으나, 동절기 동결과 냉시동의 문제점이 부각되어 부동 냉각액의 개발의 필요성이 대두되었다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 여러 가지 연구가 진행 되어왔다.

(1) 연료전지용 부동 냉각액의 경우 DI Water보다 전기 전도도 값의 상승억제 능력이 우수하였으며, 동결 방지 기능 및 냉 시동에 대한 문제점을 해결할 수 있었다.

(2) 현 연료전지 시스템에 사용 중인 부품에 대한 영향성 평가 결과 소재와의 상용성이 우수하였다

(3) Simulation Test를 통한 부동 냉각액 내구성 평가를 진행 중이며, 향후 부동 냉각액의 성능과 내구성 향상을 위한 연구를 계속 진행하고자 한다.

후 기

본 연구는 산업자원부 신재생에너지 프로젝트 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] L.J.M.J. Blomen, M.N. Mugerwa, "Fuel Cell System", p. 19, *Plenum Press*, N.Y.(1993)
- [2] 차일남, 박준철, 조은애, 임태훈, 손지원, 김민수, 이관영, 김세훈, 임태원, 홍성안., "연료전지 자동차 -이론과 실제-", 2005, 아진
- [3] M.V.Willams, H.R.Kunz, and J.M.Fenton, "Operation of Nafion-based PEM fuel cells with no external humidification : influence of operating conditions and gas diffusion layers", *J.Power sources*, 135, 122, (2004).
- [4] S. K. Kim, s. Y. Lee, C. M. Kim, Y. s. Park, " Development of Cooling System for Thermal Management and Water Balance in Fuel Cell Vehicle", 한국 신·재생에너지학회 추계학술대회논문집. (2006)