

# 연료전지 발전특성의 평가 · 분석방법

김광식, 강관중, 김상수  
(메카텍(주))

## 1. 서론

최근 환경 · 에너지 문제와 함께 급부상되는 크린 에너지 시스템의 하나로 연료전지의 실용화가 각광을 받고 있다. 그중 고체 고분자형 연료전지(PEFC)의 실용화를 위해 개발이 활발히 진행되고 일본내에서는 도요타자동차와 혼다기연공업에 의해 세계 최초로 연료전지 자동차가 시판되었다. 동경가스를 시작으로 에너지 관련 기업체가 대규모 실증을 위해 일반주택용 연료전지 분산발전시스템의 설치를 시작했다. 또한 휴대전화, 모바일용 PC, 휴대용 오디오 플레이어 등 소형 휴대기기 용도로 마이크로연료전지의 연구개발도 활발히 전개되고 있다. 메카텍(주)에서는 에너지 관련 분야를 대상으로 한 태양광 발전시스템, 연료전지 발전시스템, 풍력발전시스템 등 분산발전의 계통연계 시험시스템 및 각종 모의전원 시뮬레이션 시스템을 폭넓게 취급하고 있으며, 연구개발용으로 필요한 학계와 산업계에 시험 · 인증용 장비로 제공하고 있다. 여기서는 연료전지의 전기적 특성 평가법을 기술하고 연료전지 평가 분석시스템을 소개한다.

## 2. 연료전지 개발특성의 평가 및 분석방법

전기화학 반응에서 가장 단순한 등가회로로 전해질 저항(Rsol), 반응저항(Rc), 전기이중층용량(Cd)로 구성되어 있고, Rsol은 전해질 저항뿐 아니라 세퍼레이터나 집전체등의 전기저항도 포함한 전항분극에 기인하는 저항도 됩니다.

연료전지의 내부저항을 측정하는 방법으로 전류차단법과 교류임피던스법이 있다.

그리고 일본 NF회로 설계블록의 독자적인 기술에 의해 전

류변화를 적게하는 스텝법 등이 있다.

### 2.1 전류차단법

\* 장점 : 비교적 단순

\* 단점 : 저항 분극에 의한 저항(Rsol)만 측정가능. 부하 케이블의 단락 임피던스에 의해 서지 전압이나 노이즈에 의해 정확한 측정이 어렵다.

### 2.2 스텝법

\* 장점 : 전류차단법보다 작은 전류대역에서 내부저항측정이 가능.

유도기전력에 의해 발생하는 잡음을 줄일수 있다.

\* 단점 : 전류 · 전압의 변화가 작으므로 정밀 전압 증폭기가 필요.

### 2.3 교류 임피던스법

\* 장점 : 저항 분극에 의한 저항뿐만 아니라 반응저항(Rc)와 용량성분(Cd)도 측정되며, 활성화 분극이나 확산분극에서 발생하는 저항분석도 가능.

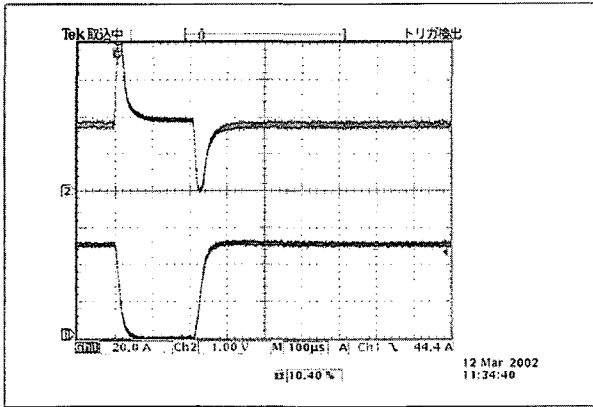
\* 단점 : 전류 차단법에 비해서 시간이 오래 걸림.

♣ 관련홈페이지: <http://www.nfcorp.co.jp>

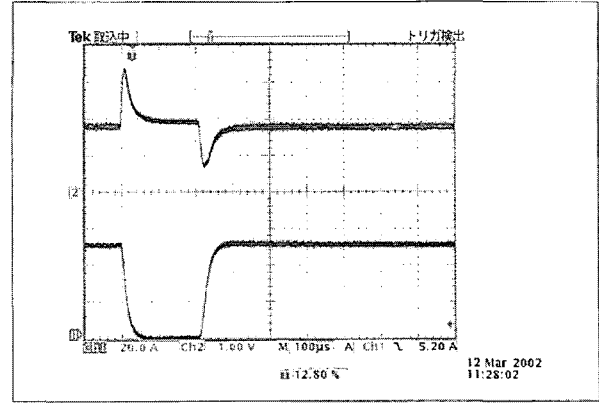
실제 측정 결과 비교 그래프와 같이 전류차단법과 스텝법은 거의 같은 결과로 나타나지만 자세히 보면 전류밀도에 따라서 안정된 측정결과가 얻어지는것을 알 수 있다.

이것은 전류변화를 억제하므로 전류차단법보다도 교류 임피던스법에 가까운 동작이 됩니다.

☞ 교류임피던스에 의한 측정결과 참조.

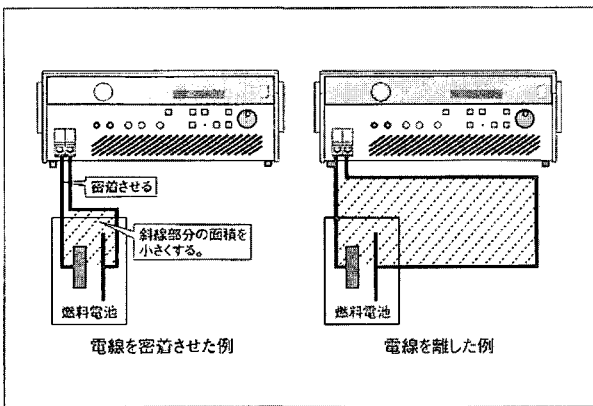


(a)

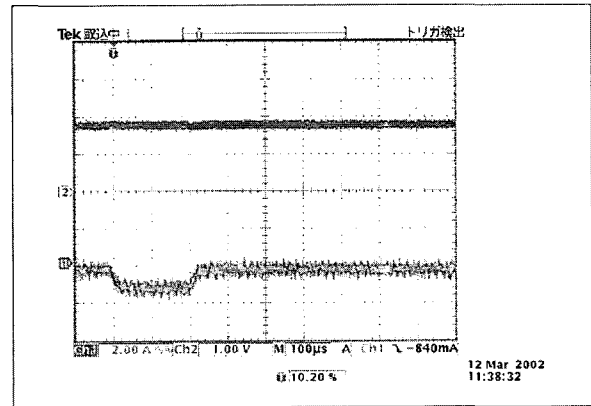


(b)

그림 1 (a) 전류차단 파형 (b) 부하케이블을 밀착한 경우의 전류차단파형



(a)



(b)

그림 2 (a) 연료전지의 결선에 (b) STEP법에 의한 전압전류파형

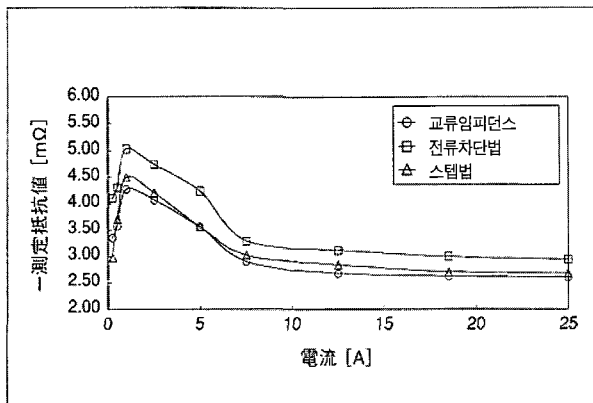


그림 3 전류차단법과 STEP법에 의한 데이터 비교

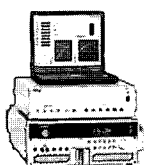
2.4 NF회로 블록설계에서 제공하는 연료전지 평가장비  
2.4.1 연료전지 임피던스 측정시스템 As-501-S4



참조전극 부착된 셀의 평가에 대응,  
연료전지내부의보다 상세한해석을 제공.

본시스템은, 연료전지발전특성분석기 As-510-4, 3단자간 임피던스 측정옵션 As-510-IMU, 시스템소프트웨어를 조합하여 애노드/캐소드/ 참조전극 각각의 전류-전압특성, 임피던스 특성을 동시에 측정하고, 전지내부의 반응 프로세스를 상세하게 분석하기 위한 자동측정시스템입니다.

2.4.2 스택 임피던스 평가시스템 As-510-SIM

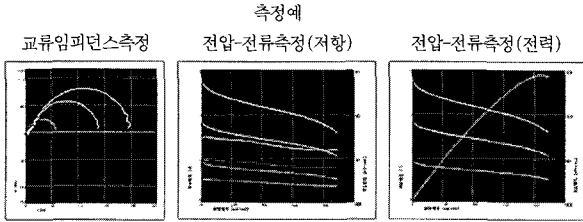


스택내부의 각 셀의 발전특성을 동시측정  
최대 6포인트까지의 전극간 교류임피던스를 동시측정

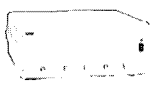
특징

- 교류법에 의한 임피던스 측정
- 스텝법에 의한 내부저항 측정

- 당사의 연료전지발전특성분석기 As-510-4 또는 전자부하 장치와 스택임피던스 메타 As-510-SIM, 시스템소프트웨어를 조합하여 시스템구성



### 2.4.3 3단자간 임피던스측정옵션 As-510-IMU

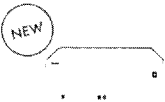


3개의 전압검출단자간의 교류임피던스를  
동시측정.  
3단자간 임피던스측정옵션 As-510-IMU

#### 특징

- 4개의 입력채널을 가지며, 1개의 전류를 기준으로 최대3점의 전압응답을 측정가능
- 각 채널간 절연에 의해 전지의 임의 포인트 측정가능
- 측정결과를 기준으로 연료전지특성분석 소프트웨어(As-510-Z별매)dp 의해 상세한 해석이 가능

### 2.4.4 전극특성분석옵션 As-510-CVM

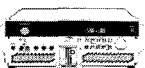


전극특성의 측정에.

#### 특징

- Cyclic Voltammetry, Linear Sweep Voltammetry에 의한 측정이 가능
- ±4A의 대전류증폭기를 탑재해서, 25cm<sup>2</sup>정도의 MEA의 특성측정에 최적
- 전기화학 임피던스(EIS)측정이 가능
- 측정결과를 기본으로 연료전지특성분석소프트웨어(As-510-Z별매)에 의해 상세한 해석이 가능

### 2.4.5 연료전지발전특성분석기(참조전극대응) As-510-4



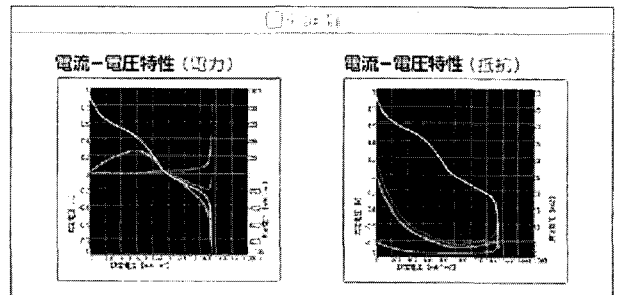
참조전극 부착셀의 평가에 대응.  
애노드/ 캐소드 각각의 상세한 특성평가·  
분석이 가능.

#### 특징

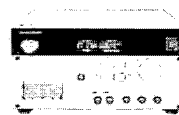
- + / - / REF의 3단자전압측정 입력단자를 장착. 각각의

단자간 전압 및 IR분해측정이 가능. 신호로 채용으로 여러 종류의 참조전극에 유연하게 대응

- 발전상태에서 바른 임피던스측정을 실현함. 교류특성에 우수한 부하기능을 내장
- 부하전류 0A에서도 교류임피던스 측정이 가능한 오프셋 바이폴라구성
- 셀 전압 0V의 과부하형태에서도 평가가능
- NF독자의『스텝법(PAT.P.)』에 의한 고재현성IR분해측정. 또한 전류차단법에도 대응
- 3단자간 임피던스 측정옵션을 조합하고, 각 단자간의 교류 임피던스를 접속변경할 필요없이 연속적으로 측정가능
- 각 레인지에서도 폴스케일의±0.05%의 높은 전류·전압 설정확도와 측정확도에서 재현성을 향상
- 정전류/정전압측정, OCV(개방전위)측정에 대응
- GPIB인터페이스 장착능

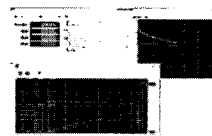


### 2.4.6 연료전지 발전특성분석기 As-501-T



재료평가용의 소형 단셀에서 마이크로FC스택까지 —  
각종 사이즈의 연료전지의 내구성평가에 최적.

#### 부속소프트웨어

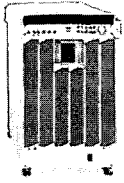


I/V/W/IR을 간단측정.  
결과를 다양하게 그래프  
표시

#### 특징

- 30A/10A/5A의 3레인지, 최대20V/100W
- 정전류운전, 정전압운전
- 높은 전류/전압설정확도· 측정확도
- NF독자의 스텝법(PAT.P)에 의한 고정도IR분해측정
- 2/3인치 랙폭의 아담한 본체
- GPIB인터페이스 장착
- 스택임피던스 메타 As-510-SIM, 임피던스 측정옵션 As-510-IMU, 주파수특성분석기와 접속해서 교류임피던스 측정가능

### 2.4.7 연료전지발전특성분석기 As-510-3 시리즈



소전류에서 대전류까지 제공.  
800A/80A타이프-단셀 평가용과 셀 모듈  
평가용으로 총 8종류의 표준품과 유저의  
요구에 의한 특수품 제작가능

### 2.4.8 시스템소프트웨어



복수그래프 동시표시, 중첩  
그래프작성가능.

각 셀의 발전형태와 각측정장치  
의 형태를 일원제어...  
제어형태와 측정결과와 그래프표  
시·데이터 보존을 한번으로 행  
하는 전용 소프트웨어.

<동작환경>

#### ■ 컴퓨터

OS : Windows2000/XP Professional 일본어판

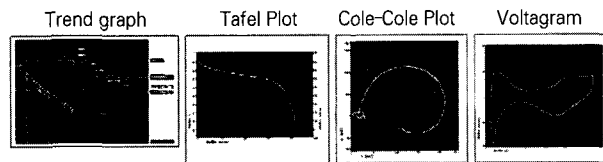
메모리 : 256MB이상 (1GB이상추천)

디스플레이 : SVGA 1024×768×256색이상

#### ■ GPIB인터페이스

PCI-GPIB, PCMCIA-GPIB USB-GPIB-HS

※ 확장슬롯이 필요



### 2.4.9 연료전지특성분석 소프트웨어 As-510-Z

연료전지특성의 정량적인 평가에.

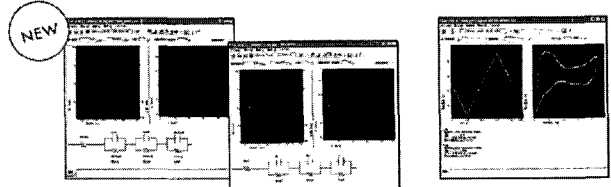
교류 임피던스측정의 결과로부터커브피팅을 준비한 독자의  
알고리즘에 의한 등가회로를 자동추정하고, 내부 임피던스의  
정량평가·분석을 합니다.

또, 전극특성측정을얻기위한 Voltamogram을 준비하고,  
촉매의 활성면적을 연산하여 촉매의 활성도를 정량화할 수가  
있습니다. 연료전지특성의 상세한 해석을 제공합니다.

특징

- 초기치설정없이, 교류임피던스의 측정결과로부터 등가회  
로를 자동추정. 정의가완료된 모델로부터 추정도 가능
- 임의의 등가회로에 대응하는 응답을 시뮬레이션
- 실현한 등가회로에서 실측불가능한 주파수에 대한 응답을  
시뮬레이션
- Voltamogram에서 촉매활성표면적을 연출하고 촉매활성  
도를 안정화

- R, L, C, R//C, R//L, R//L//C, Zw, CPE, R·Zw//C,  
R·CPE//C, R//CPE을 회로요소로서 이용가능



커브피팅· 등가회로자동추  
정에 의한 내부 임피던스  
의 정량평가

Voltamogram을이용  
한 촉매반응의 해석

### 2.4.10 참조전극부착 평가용셀 As-510-C



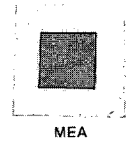
참조전극을 준비하고, As-510-4에 의한 3  
단자간의 특성측정에 대응한 셀광채. 임의  
의 MEA끼우고, MEA의 특성을 평가할 수  
있습니다.

MEA의 제작에 대하여

일반적인 재료에 의한 MEA 및 유저가 제공한 재  
료를 준비한 MEA의 제작도 가능합니다.

셀 측정 평가수탁에 대하여

유저가 제작한 유저용MEA 또는 셀의 수탁측정·  
평가를 받습니다.  
적용가능한 셀형태, 연료종별, 스택수 등 상세한  
것은 문의하여 주시기 바랍니다.



## PEFC, DMFC의 전기특성평가

가스공급에서부터 습도·온도제어, 각종 전기특성시험과  
등가회로 자동추정까지 서포트

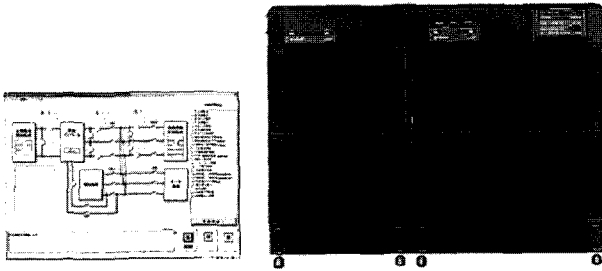


연료전지평가 시스템은 PEFC, DMFC의 발전성능을 종합적으로  
평가하는 시스템입니다. 본 시스템은 가스공급에서부터 가습, 보  
습, 가열, 기액분리, 배압제어 외에, 전류·전위특성의 자동측정,  
교류임피던스 측정, 전류차단법에 의한 저항측정 등의 각종 전기특  
성 측정을 하나의 소프트웨어로 일괄 제어할 수 있습니다. 연료전  
지평가 시스템은 PEFC, DMFC의 발전성능을 종합적으로 평가하  
는 시스템입니다. 본 시스템은 가스공급에서부터 가습, 보습, 가열,  
기액분리, 배압제어 외에, 전류·전위특성의 자동측정, 교류임피던  
스 측정, 전류차단법에 의한 저항측정 등의 각종 전기특성 측정을  
하나의 소프트웨어로 일괄 제어할 수 있습니다. 또한 주파수특성  
분석기(FRA)를 사용한 교류임피던스 측정에서는 커브 피팅  
(Curve Fitting)에 의한 등가회로의 추정이 가능합니다.

특징

- 가스 공급부에서 전기특성계측부까지 일체화하여 하나의 소프트웨어로 일원제어
- 다양한 측정에 대응
- 전류·전압특성 측정
- 전류차단법·스텝법에 의한 막저항 측정
- 교류임피던스 측정
- 교류임피던스 측정에서는 커브 피팅(Curve Fitting)에 의한 등가회로의 추정이 가능
- 각종 상태감시에 따른 자동 인터락으로 안정성을 확보.
- 장시간 소요되는 내구평가시험에 대응
- 측정데이터는 엑셀로 가공 가능한 형식으로 저장

## 2.4.11 계통연계시스템(연료전지형)



을 해결하기 위해서는 연료전지 셀의 성능을 정확히 파악하고 내구성의 향상, 코스트의 절감등의 기술적인 면을 보완하고 연구하여 보다 높은 목표를 향해 이상적인 기술실현을 확보하는 길이다.

이 연구개발에 있어 셀의 전기적인 발전특성에서 스택의 응용, 그리고 분산발전의 계통연계까지 종합적으로 지원하는 일본 NF회로설계블록의 각종 장비가 여러분의 연구개발에 많은 도움이 되길 바랍니다. ㄹㄹㄹ

## 3. 결론

현재 연료전지의 기술·개발에 큰 전기를 맞이했고 지금까지 고체 고분자 전해질막이라는 신소재의 등장을 계기로 다방면에서 활발한 연구개발이 이루어졌다. 국가차원에서 구체적인 실용안건을 목표로 연구개발을 활발히 전개하고 있다.

그러나 본격적인 현장실험이 시작된 지금, 보다높고 폭넓은 장애물이 향후 연구개발의 벽이 되어 가로막고 있다. 이 난관

## 〈 저 자 소 개 〉

**강관중(姜琯仲)**

1958년 9월 15일생. 1997년 3월 태신상사(주) 이사 재직. 1997년~현재 메카텍(주) 대표이사.