

Code : KTE7000HS-AK100

수소연료전지 발전 시스템 성능 실험장비 매뉴얼  
PERFORMANCE TEST EQUIPMENT of HYDROGEN FUEL CELL  
POWER GENERATION SYSTEM  
Ver.1.0.0



(주)케이티이엔지

TEL: 031-749-5373 | FAX: 031-749-5376 | kcs@kteng.com | <http://www.kteng.com>

본 사 : (464-895) 경기도 광주시 오포읍 머루숫길 11

사업장 : (464-895) 경기도 광주시 오포읍 문형산길 170

핸드폰 연락처 : 010-3897-2296 , 대표이사 김 철 수

# ◀ 차 례 ▶

1. 수소연료전지 발전 실험장비	
1-1. 개요	3
1-2. 실험장치의 구성	5
1-3. 각부의 기능	7
1-3-1. 제어판	7
1-3-2. 전해조	7
1-3-3. 수소제습부	8
1-3-4. 수소연료전지	9
1-3-5. 물탱크	10
1-3-6. 가스/물 분리기	10
1-3-7. 부하부	11
1-3-8. 주요 부품 목록	12
1-3-9. 주요 부품 설명	13
2. 장비의 구동 및 실습	
2-1. 전기분해를 이용한 수소연료전지 성능 실험하기	16
2-2. 전기분해를 이용한 수소연료전지 부하변화에 따른 성능 비교 실습하기	29
3. 장비 사용 시 주의사항	34
4. 고장 및 대책	
4-1. 전원이 인가되지 않을 때	38
4-1. 기타 부품에 이상이 있을 때	38
4-1. 전반적인 사항	38

# 1. 수소연료전지 발전 실험장비

## (1) 개요

수소연료전지 발전 실험장비는 순수(알칼리 첨가 없이)의 전기 분해를 통해 극히 순수한 수소를 발생하는 가벼우며 고도의 효과, 에너지 절감 및 환경을 보호합니다. 제품의 핵심인 SPE 전극은 높은 전해 효율을 가진 합성 촉매제 및 이온막 통합에 의해 형성된 전극 간 거리가 거의 0인 고도의 능동 촉매 전극입니다. 기타 핵심 부품은 모두 우수한 품질을 나타내는 최상급 엔지니어링 플라스틱 금형을 사용하여 제작되었습니다. 완벽한 전기 제어 시스템을 이용한 설계로 신뢰할 수 있는 품질, 고도의 자동성, 순수하게 발생하는 수소와 더불어 출력도 향상되어 광범위하게 사용될 수 있습니다.

### 1) 작동 원리 및 기술적 과정

전원이 켜지면, 전해조의 양극 챔버에 담은 후(전기 저항이  $1M\Omega/cm$ 를 초과하고, 이를 위해 전자 및 분석 산업에서 물이 탈이온화 되고 재증류된) 요건을 충족시키는 전해수는 양극에서 즉시 분해 된다.( $2H_2O=4H^{++}+2O^{-2}$ )

분해 된 산소산 음이온( $O^{-2}$ )은 산소 ( $O_2$ )를 형성하기 위해 즉시 전자를 방출한 다음 약간의 물이 있는 양극 챔버에서 물탱크로 방출된다. 물은 순환적으로 사용될 수 있으며, 산소는 물탱크 상단 덮개의 작은 구멍에서 대기로 방출된다. 아쿠아 이온( $H^{+} \cdot XH_2O$ )형태로 SPE 이온막을 통한 전기장력의 작용에 따르는 수소 양자는 수소를 형성하는 전자를 흡수하기 위해 음극에 도달한 다음, 음극 챔버에서 제거할 전해조에서 대부분의 물을 가져오는 가스/물 분리기로 방출된다.

따라서 물이 거의 없는 수소는 99.997% 이상의 순도를 가진 건조기의 수분 흡수에 따른 것이다. 가스/물 분리기 내 응축수가 일정한 양으로 누적되면, 플로트가 상승하여 가스/물 분리기 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출된다. 방출 후 플로트는 즉시 제자리로 환원하며, 이로 인해 가스/물 분리기의 수위는 일정한 상태를 유지한다.

### 2) 전기적 제어

전체적인 전기 시스템은 주로 전해용 전원 시스템, 메인 제어장치, 보조 제어장치 및 디스플레이 패널과 같은 4개 부분으로 구성되어 있다.

전원 스위치 SW1을 누르면 발생기는 작동하기 시작한다. 전해 과정 중에 공기압이 사전 설정값에 도달하면 압력 변환기 SEN은 공기압 상승과 더불어 감소하는 전해 전류를 제어하기 시작하므로 자동으로 소모량 수요를 충족시키기 위해 안정된 압력 하에서 발생된 수소의 출력을 가능하게 한다.

정상 작동을 위해 발생기에는 2개의 경고 보호 시스템이 장치되어 있다.

가. 과압 경고

발생기 작동 중에 심하게 흔들리거나 부품 어딘가 고장이 생김으로 인해 출력 압력을 통제할 수 없고 압력이 0.42 MPa로 상승하면, 과압 보호 인식을 위해 발생기는 간격을 두고 네 차례 ‘삐’ 소리를 내며 전해용 전원 장치를 자동으로 차단하고 전해를 중지한다. 그러면 전면 보드에는 압력 경고등(적색)이 켜지고 수소 출력은 0을 나타낼 것이다.

사용자는 압력을 배출하고 전원 연결을 확실히 한 후에 발생기를 재시동 한다. 만약 앞서 언급한 현상이 계속 다시 발생하면 고장으로 간주하여 유지보수를 위해 제조업체에 통보한다.

나. 수위 경고

발생기 작동 중에 물탱크 내 수위가 최소 한계로 떨어지거나 0 출력 압력 하에서 발생기의 장시간 작동으로 인해 가스/물 분리기 내 물고임이 최대 한계로 상승하면 대략 6초 마다 한번씩 ‘삐’ 소리를 내고 전해를 중지한다.

사용자는 고장 유무를 파악하기 위해 발생기의 전원을 끈다. 만약 물탱크 내 수위가 정상이고 발생기의 출력 압력이 0.02 MPa 이상을 유지하면, 앞서 언급한 두 가지 요인으로 인한 경고는 발생되지 않는 것으로 간주하여 유지보수를 위해 제조업체에 통보한다.

3) 기술적 파라미터

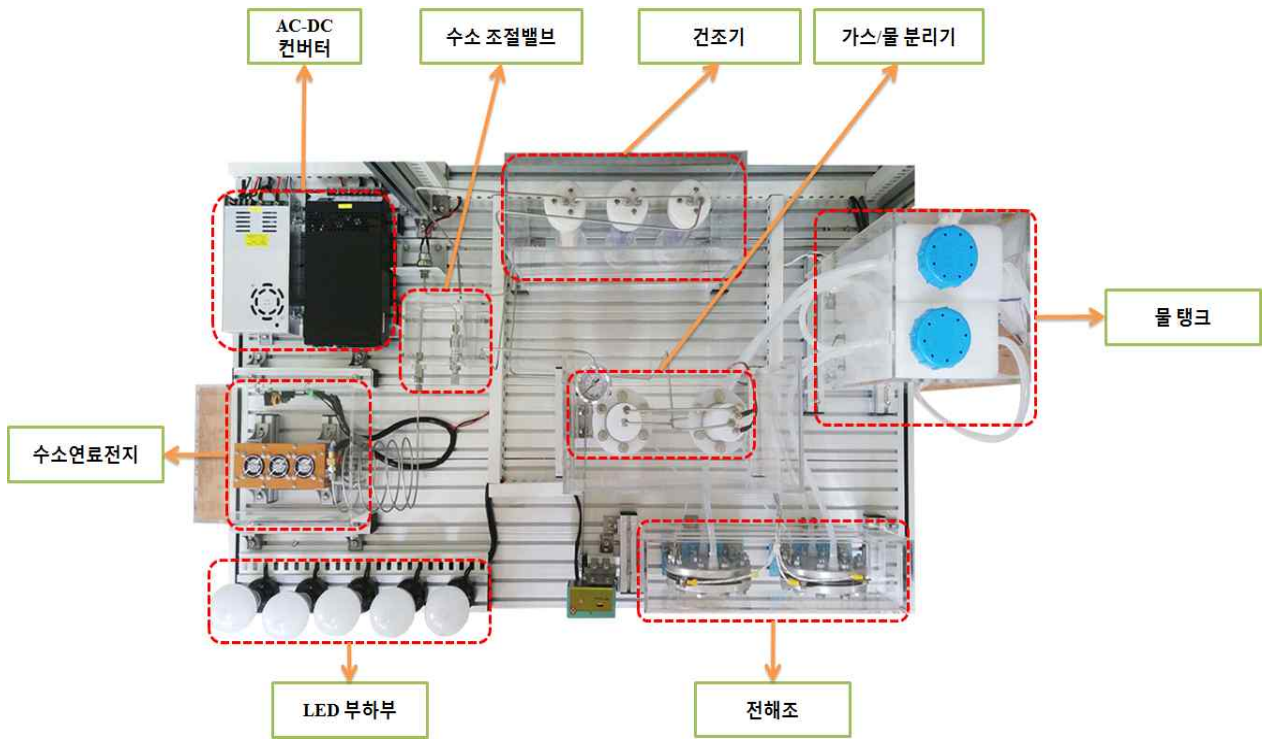
파라미터	명칭 / 모델	수소연료전지 발전 실험장비 (KTE-7000HS)
출력 유량 (ml/분)		0-1020
출력 압력 (MPa)		0.02-0.32 (안정된 압력 하의 출력)
수소 순도 (%)		>99.999
과압 보호용 압력값 (MPa)		0.42
출력 전압 (V)		220-240V ~ 50-60 Hz
입력 전력 (W)		<500

(2) 실험장치의 구성

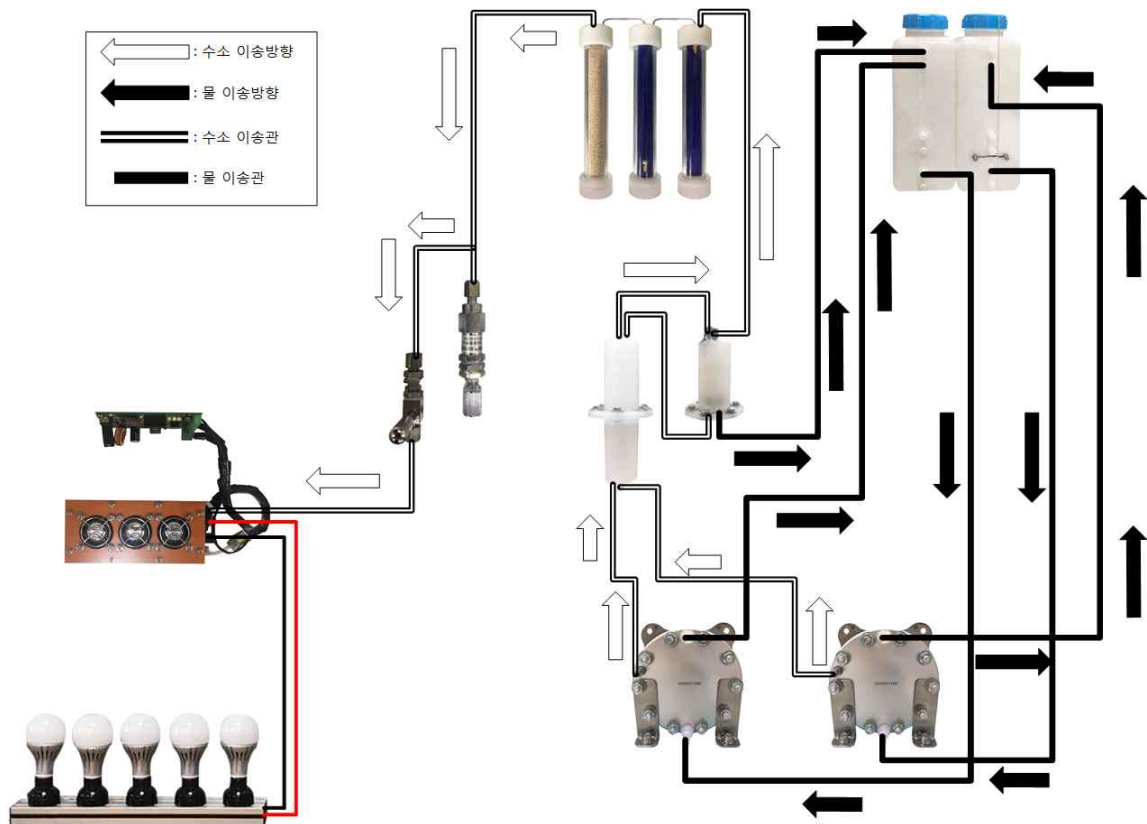
- 1) 제어판
- 2) 전해조
- 3) 수소제습부
- 4) 수소연료전지
- 5) 물탱크
- 6) 가스/물 분리기
- 7) 부하부
- 8) 주요 부품 목록
- 9) 주요 부품 설명



[수소 연료전지 실험장치]



[수소 연료전지 실험장치 부품 배치도]



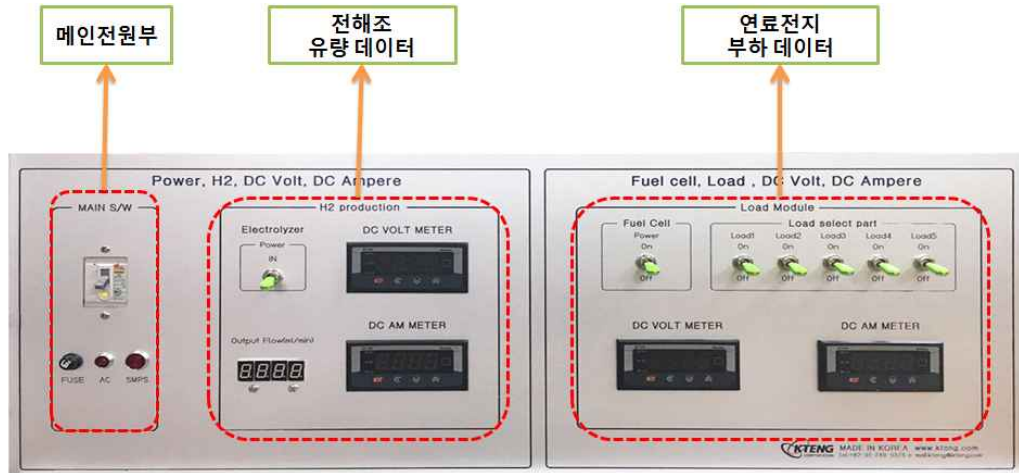
[물과 수소의 이송 경로를 나타낸 예시도]

(3) 각 부의 기능

1) 제어판

가. 토글스위치를 on/off하여 제어 할 수 있도록 구성되었습니다.

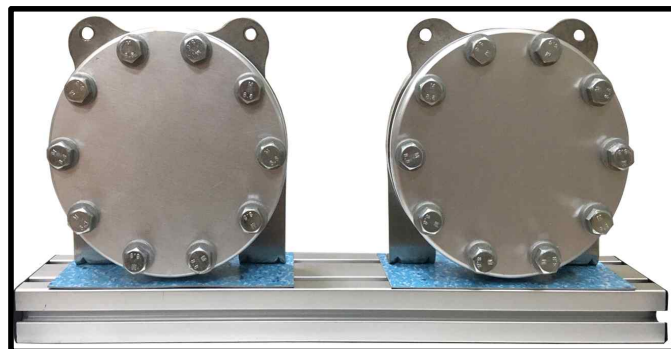
나. 디지털 계기를 통해 각부의 전압 전류 및 수소 발생량을 확인 할 수 있습니다.



[제어판]

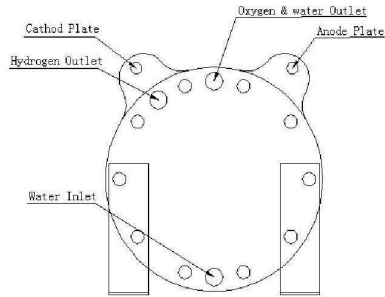
2) 전해조

가. 전해조의 양극 챔버에 담은 후(전기 저항이  $1M\Omega/cm$ 를 초과하고, 이를 위해 전자 및 분석 산업에서 물이 탈이온화 되고 재증류된) 요건을 충족시키는 전해수는 양극에서 즉시 분해 됩니다. ( $2H_2O = 4H^+ + 2O^{-2}$ ) 분해 된 산소산 음이온( $O^{-2}$ )은 산소( $O_2$ )를 형성하기 위해 즉시 전자를 방출한 다음 약간의 물이 있는 양극 챔버에서 물탱크로 방출됩니다. 물은 순환적으로 사용될 수 있으며, 산소는 물탱크 상단 덮개의 작은 구멍에서 대기로 방출됩니다. 아쿠아 이온( $H^+ \cdot XH_2O$ )형태로 SPE 이온막을 통한 전기장력의 작용에 따르는 수소 양자는 수소를 형성하는 전자를 흡수하기 위해 음극에 도달한 다음, 음극 챔버에서 제거할 전해조에서 대부분의 물을 가져오는 가스/물 분리기로 방출됩니다.



[전해조]





hydrogen outlet : 수소 배출구  
 water outlet : 물 배출구  
 oxygen/water outlet : 산소/물 배출구  
 water inlet : 전해수 투입 포트  
 anode plate : 양극판  
 cathod plate : 음극판

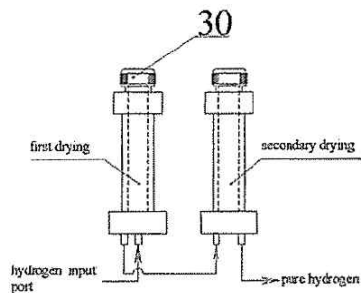
[전해조 각부 명칭]

### 3) 수소 제습부

가. 물이 거의 없는 수소는 99.997% 이상의 순도를 가진 건조기의 수분 흡수를 통해 가스/물 분리기 내 응축수가 일정한 양으로 누적되면, 플로트가 상승하여 가스/물 분리기 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출됩니다. 방출 후 플로트는 즉시 제자리로 환원하며, 이로 인해 가스/물 분리기의 수위는 일정한 상태를 유지하고, 발생된 수소는 연료 전지로 투입 됩니다.



[수소 제습부]



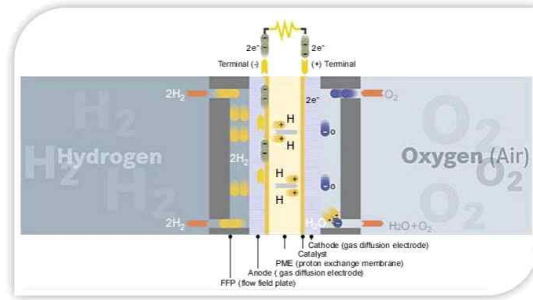
first drying : 1차 건조  
 secondary drying : 2차 건조  
 hydrogen input port : 수소 투입 포트  
 pure hydrogen : 순수 수소

[수소 제습부 각부 명칭]



#### 4) 수소연료 전지

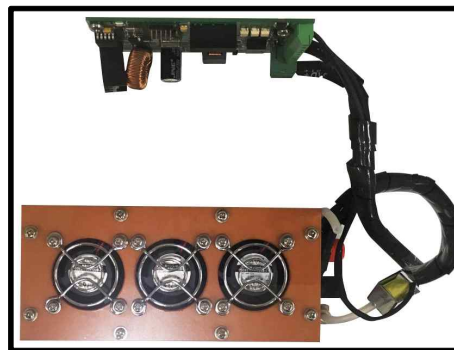
가. 연료 전지는 양성자 교환막, 촉매층, 음극 (가스 확산층), 양극 (가스 확산층) 및 집전판으로 구성됩니다. 양성자 교환 막과 촉매층은 막 전극을 구성합니다. 멤브레인 전극, 캐소드 및 애노드 가스 확산층은 MEA를 구성합니다. 마지막으로 MEA와 두 개의 컬렉터 플레이트가 단일 셀을 구성합니다.



[수소 연료전지 원리]

컬렉터 플레이트를 통과하는 가스 (수소 및 공기)는 양성자 교환막의 전극 양측으로 흐른다. 이 채널을 통해 수소가 수소 양성자와 수소 이온으로 분리된 백금 촉매로 코팅된 양극으로 흐릅니다. 자유 전자는 외부 회로로 흘러 들어가 전류를 생성하고, 양성자는 전해질 막을 통해 음극으로 이동합니다. 공기 중의 산소, 외부 회로의 전자와 양성자는 양극에서 반응하여 순수한 물을 생성하고 열을 방출합니다.

접합에 의해 형성된 단일 셀 연료 전지 스택의 수에 필요한 전력을 제공한다. 수소연료전지의 정격전압은 약 19.2V이고, 정격 전류는 2.6A이다. 단일 셀은 일련의 연료 전지 스택을 구성하여 필요한 출력 전압을 제공합니다. 연료 전지의 출력 전류는 유효 면적에 비례하므로 연료 전지 스택은 기하학적으로 접합하여 필요한 출력 전압, 전류 및 전력을 생성 할 수 있습니다.

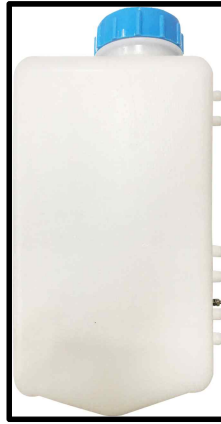


[수소연료전지]

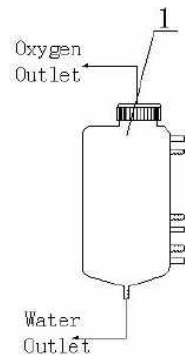
## 5) 물탱크

가. 수소를 발생하기 위한 물탱크로서 먼저 탈이온화 또는 재증류된 물을 가득 채운 다음, 시동 전에 5분동안 기다려야 한다.

장시간 동안 사용하면 수소의 출력 및 전해조의 유효 수명에 영향을 미치는 미생물이 번식하고 탁하게 될 수 있어 물탱크는 깨끗이 유지해야 한다.



[물탱크]



oxygen Outlet : 산소 배출구

water Outlet : 물 배출구

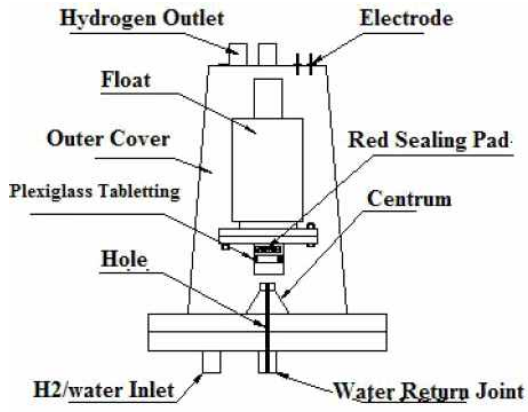
[물탱크 각부 명칭]

## 6) 가스/물 분리기

가. 가스/물 분리기 내 응축수가 일정한 양으로 누적되면, 플로트가 상승하여 가스/물 분리기 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출된다. 방출 후 플로트는 즉시 제자리로 환원하며, 이로 인해 가스/물 분리기의 수위는 일정한 상태를 유지한다.



[가스/물 분리기]



Hydrogen outlet : 수소 배출구  
 Electrode : 전극  
 Red Sealing Pad : 빨간 씰링 패드  
 Centrum :  
 Water Return Joint : 물 변환 조인트  
 H2/Water Inlet : 수소/물 주입구  
 Hole  
 Plexiglass Tableting : 플렉싱 유리 테블릿  
 Outer cover : 외피  
 Float : 부유물

[가스/물 분리기 각부 명칭]

7) 부하부

가. 수소연료전지로부터 생성된 전력을 이용하여 각각 DC램프를 점등 할 수 있습니다.







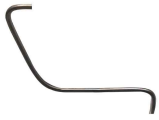




[부하부]

8) 주요 부품 목록

번호	설명	외형	번호	설명	외형
1	물탱크		2	응축기	
3	가스/물 분리기		4	플로트	
5	전해조		6	부하부	
7	수소/물 배출구		8	산소/물 배출구	
9	유량 표시 화면		10	퓨즈	
11	전원장치		12	출구 압력 게이지	
13	유량 조절장치		14	사방 피스	
15	건조기		16	배출 밸브	
17	압력스위치		18	응축수 순환 파이프	
19	변압기		20	전원 소켓	
21	연료전지				

9) 주요 부품 설명

번호	부품명	외형	설 명
1	물탱크		수소를 발생하기 위한 물탱크로서 먼저 탈이온화 또는 재증류된 물을 가득 채운 다음, 시동 전에 5분동안 기다려야 한다. 이 물은 전해조를 통해 산소와 수소로 분해 된다.
2	응축기		전해조의 물 배출구에서 나오는 수소와 물은 응축기에 응축수가 일정 수준에 도달하게 됩니다.
3	가스/물 분리기		기체 / 물 분리기의 응축수가 일정 수준에 도달하면 부유물이 상승합니다. 응축 된 물은 수소 압력 때문에 물 탱크로 배출되어 재활용됩니다. 배수 후, 부유물은 원래 위치로 되돌아 간다. 반복적으로 가스 / 물 분리기 내부의 수위가 안정되어 수소를 물과 분리시킬 수 있습니다.
4	플로트		가스/물 분리기의 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출 할 수 있도록 상하로 움직이며, 방출 후, 제자리로 돌아가게 되어 수위는 일정한 상태를 유지한다.
5	전해조		전해수는 양극에서 즉시 분해 됩니다. $(2H_2O = 4H^+ + 2O^{-2})$ 분해 된 산소산 음이온( $O^{-2}$ )은 산소 ( $O_2$ )를 형성하기 위해 즉시 전자를 방출한 다음 약간의 물이 있는 양극 챔버에서 물탱크로 방출됩니다. 물은 순환적으로 사용될 수 있으며, 산소는 물탱크 상단 덮개의 작은 구멍에서 대기로 방출됩니다. 아쿠아 이온( $H^+ \cdot XH_2O$ )형태로 SPE 이온막을 통한 전기장력의 작용에 따르는 수소 양자는 수소를 형성하는 전자를 흡수하기 위해 음극에 도달한 다음, 음극 챔버에서 제거할 전해조에서 대부분의 물을 가져오는 가스/물 분리기로 방출됩니다.

번호	부품명	외형	설 명
6	부하부		연료전지를 통해 만들어진 DC전압은 설치된 DC LED램프를 켜는데 사용이 되며, DC램프의 개수를 조절하면서 연료전지의 부하를 바꿀 수 있다.
7	수소/물 배출구		SUS 파이프로서, 수소의 이송관 역할을 수행합니다.
8	산소/물 배출구		실리콘 재질의 호스로서, 산소와 물을 재순환 및 방출하기 위해 사용됩니다.
9	유량 표시 화면		수소의 출력 유량을 확인 할 수 있다.
10	퓨즈		전원차단 역할 수행합니다.
11	전원장치		전해조의 전기분해 제조 효율을 위해4V의 전압을 유지 시켜주기 위한 전원공급장치입니다.
12	출구 압력 게이지		수소의 압력을 나타냅니다.
13	유량 조절장치		수소 출력 유량 조절 장치입니다.
14	사방 피스		각각의 서스 배관을 연결해주며 각 부분의 압력게이지 상태 표시를 할 수 있다.
15	건조기		건조 절차는 두 단계로 분류된다. 각각 청색 실리카겔을 이용한 두 개의 건조용 카트리지는 1차 건조이며 살색 몰레큘러시브를 이용한 한 개의 건조용 카트리지는 2차 건조이다. 기체 수소에 포함된 수분을 흡착하여 고순도의 수소를 분리하는 역할을 수행한다.

번호	부품명	외형	설 명
16	배출 밸브		실험장치 실험 후, 남아 있는 압력을 빼주기 위해 사용되며, 수소 배출구 정면 통기 밸브의 너트를 풀어 배출시켜야 한다. 압력이 배출 된 후 밸브를 다시 잠궈 밀봉시켜야 한다.
17	압력스위치		압력이상승하면, 과압 보호 인식을 위해 장치는 전해용 전원 장치를 자동으로 차단하고 전해를 중지하는 역할을 수행한다.
18	응축수 순환 파이프		가스/물 분리기의 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출하기 위해 쓰이는 실리콘 재질의 호스입니다.
19	변압기		교류전압을 더 높이거나 낮추는 데 사용되는 기기 이다. 변압기는 제어판 속에 위치하고 있다.
20	전원 소켓		전원 AC 220V를 투입하는 전원 소켓입니다.
21	연료전지		수소를 공급 받아 수소의 화학에너지를 전기 에너지로 변환하여 전력을 생산하는 장치이다.



## 2. 장비의 구동 및 실습

작업과제명	1. 전기분해를 이용한 수소연료전지 성능 실험하기	소요시간
		8
목 표	① 연료전지 시스템의 구조와 조작방법을 학습한다. ② 물의 전기분해를 통하여 생성되는 수소 발생 원리를 이해할 수 있다. ③ 수소 연료전지시스템의 구성요소와 설계 기술, 각 부분의 효율 분석 할 수 있다.	

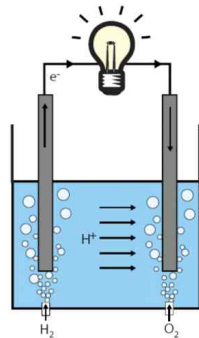
사 용 장 비	공구 및 재료명	규 격	수 량
· 전기분해 이용 수소연료전지 발전 실험장비 (KTE-7000HS)	· 드라이버	· #2× 6× 175mm	1
	· 니퍼	· 150mm	1
	· 와이어스트리퍼	· 0.5~6mm <sup>2</sup>	1
	· 후크메타기	· 300A 600V	조별1

### 실 험 회 로 도

#### 1. 관련이론

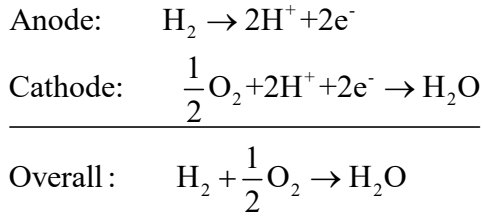
##### (1) 연료전지의 원리

연료전지는 그 종류가 매우 다양하지만 기본적으로 산화전극(anode) 및 환원전극(cathode) 그리고 그 사이의 전해질을 통해 주요 반응이 이루어진다. 산화전극으로 공급된 연료는 촉매에 의해서 이온과 전자로 분리되는데 이 때 생성된 이온은 전해질을 따라 환원전극으로 이동하여 산소 등과 결합하게 되고 남은 전자는 전선을 통해 전극 사이를 이동하며 전류를 발생시킨다.

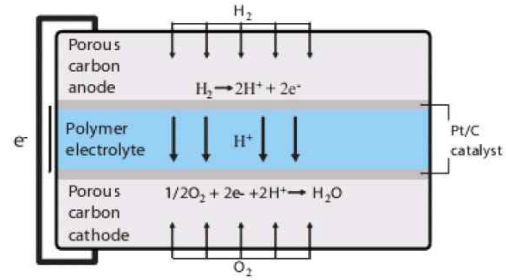


[연료전지 원리]

높은 에너지 밀도와 상대적으로 낮은 영역의 작동 온도/압력으로 인해 다양한 분야에서 가장 많이 활용되는 수소연료전지의 종류 중 하나인 PEMFC는 전해질로서 얇은 특수 고분자 막(polymer electrolyte membrane)을 사용하는데 이를 통해서 산화전극에서 생성된 양성자가 지나가게 되며 기체 및 전자의 이동은 억제된다. PEMFC에서 일어나는 화학반응은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있으며, 수소연료전지는 종류에 따라서 산화 및 환원 전극에서 일어나는 반응은 아래의 식과 달라질 수 있지만 전체 시스템의 화학 반응은 동일하다.



[연료전지의 반응식]



[연료전지의 모식도]

(2) 연료전지의 효율

연료의 산화를 통해 얻을 수 있는 에너지는 전체반응 전후의 엔탈피 차이에 해당하는 반응엔탈피 ( $\Delta \hat{h}_{rxn}^0$  : enthalpy of reaction)를 통해 알 수 있으며 이는 일반적으로 생성엔탈피 ( $\Delta \hat{h}_f^0$  : formation enthalpy)를 통한 계산으로 구한다. 하지만 반응엔탈피에 해당하는 에너지를 모두 활용할 있는 것은 아니기 때문에 이용가능한 에너지에 관한 척도로 깁스자유에너지 ( $\Delta \hat{g}_{rxn}^0$  : Gibbs free energy)를 사용한다. 또한 이 에너지 항들과 실제 연료전지에서 발생하는 전압과의 관계는 다음과 같은 식을 통하여 비교 및 정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned} W_{elec} &= EQ = -\Delta g_{rxn} \\ Q &= nF \\ \Delta \hat{g} &= -nFE \\ E^0 &= \frac{-\Delta \hat{g}_{rxn}^0}{nF} \end{aligned}$$

(n = number of electrons transferred, F = Faraday's constant)

연료전지내에서 일어나는 반응과 온도, 압력, 농도 등의 조건간의 관계는 아래의 네른스트 방정식(Nernst equation)을 통해 알 수 있고 이와 함께 가역 전지 전압(reversible cell voltage)을 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} E &= E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{H_2O}}{a_{H_2} a_{O_2}^{1/2}} \\ &= E^0 - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{p_{H_2} p_{O_2}^{1/2}} \end{aligned}$$

실제의 연료전지의 효율은 아래의 식과 같이 총 3가지 효율의 곱으로 나타낼 수 있다. 첫 번째 효율은 앞서 언급한 엔탈피와 깁스자유에너지를 활용한 가역 열역학적 효율(reversible thermodynamic efficiency)이며, 두 번째 효율은 연료전지 시스템 내에서 발생하는 전압강하에 관한 효율이다. 마지막 효율은 사용된 연료 중 실제 반응에 참여한 연료의 비율을 나타낸 것으로 흔히 연료 당량비(stoichiometric factor)를 사용하여 계산한다.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{real} &= (\varepsilon_{thermo}) \times (\varepsilon_{voltage}) \times (\varepsilon_{fuel}) \\ &= \left( \frac{\Delta \hat{g}}{\Delta \hat{h}_{HHV}} \right) \times \left( \frac{V}{E} \right) \times \left( \frac{i / nF}{v_{fuel}} \right)\end{aligned}$$

$g$  : 깁스자유에너지 (kJ/mol)  
 $h$  : 반응엔탈피 (kJ/mol)  
 $E$  : 가역 전지 전압 (V)  
 $v_{fuel}$  : 연료전지에 공급된 수소 유량 (mol/s)  
 $n$  : 분자당 생성되는 전자 수

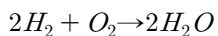
전기분해를 통해 분해되는 물질의 양은 패러데이의 법칙을 통하여 정량화된다. 패러데이의 전기분해 법칙은 전기분해되는 질량이 가해주는 전하량과 물질의 화학당량에 비례한다는 내용이며 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$m = \left( \frac{Q}{F} \right) \left( \frac{M}{z} \right)$$

(M : molar mass, z : valency number of ions, F : Faraday' s constant)

### (3) Stoichiometric 조건에서 수소와 공기의 체적 유량비

수소와 산소의 반응식은



이다. 즉 수소와 산소는 2:1의 부피비로 반응하게 되는데, 공기의 조성비율을 보면, 산소는 약 21%를 차지함을 알 수 있다. 수소와 산소의 반응을 위해 공급되는 공기는 위로부터, 산소와 공기는 21 : 100의 비율을 갖게 되므로, 수소 : 산소 : 공기의 비는 42 : 21 : 100의 비율이 됨을 알 수 있다. 즉 산소와 공기의 비는 42 : 100, 약 1 : 2.38의 체적 유량비를 갖게 된다.

공기의 조성 비율

No.	성분	체적비(%)
1	질소( $N_2$ )	78.3
2	산소( $O_2$ )	20.99
3	아르곤(Ar)	0.94
4	탄산가스( $CO_2$ )	0.03
5	수소( $H_2$ )	0.01

#### (4) Gibbs function

깁스 자유 에너지(Gibbs free energy)는 일정한 온도와 압력을 유지하는 계에서 일로 변환될 수 있는 열역학적 에너지를 뜻한다. 자유에너지는 엔탈피  $H$ , 온도  $T$ , 엔트로피  $S$ 의 함수로,  $G = H - TS$ 로 정의된다. 이는 주위에 관계없이 반응이 자발적인지, 비자발적인지를 알 수 있는 상태함수이다. 원래 내부에너지는 절대값을 얻기 힘든 양이므로 보통 엔탈피( $H$ )도 열적 변화에 따르는 증감만을 문제삼는다. 부피를 일정하게 유지한 채 물질계가 주고받은 열량은 그대로 내부에너지의 증감으로 되는데 반해, 압력을 일정하게 유지한 채 물질계에 드나든 열량은 물질계의 엔탈피의 증감과 같다. 등온 및 등압에서의 반응은 만일 자유에너지 변화가 0 보다 작으면 자발적이고, 0 보다 크면 비자발적, 0이면 평형이다. 일정한 온도와 압력에 놓인 계에서 깁스의 자유에너지 변화량( $\Delta G$ )은 계와 주위의 전체 엔트로피 변화에 비례한다. 즉  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ 이다.

자발적 변화는 전체 엔트로피의 증가를 수반한다(열역학 제2법칙). 그러므로 Gibbs Function에 의하면 일정한 온도와 압력에서 일어나는 자발적 변화는 계에서 깁스의 자유에너지가 줄어드는 현상이 나타난다. 그러므로 계에서 깁스의 자유에너지 변화를 통해 계가 자발적인 변화를 일으킬 수 있는지의 여부를 알 수 있다. 따라서 깁스의 자유에너지는 일정한 온도와 압력 조건에 있는 화학평형조건을 구하는 데 유용하다.  $\Delta G$ 와 반응의 자발성 간의 관계는, 온도와 압력이 일정한 경우  $\Delta G$ 가 0보다 작으면 정반응이 자발적이며, 0이면 반응은 평형상태, 0보다 크면 정반응은 비자발적이나 역반응이 자발적이다. 즉, 계에서 깁스의 자유에너지 변화를 통해 계가 자발적인 변화를 일으킬 수 있는지의 여부를 알 수 있고, 따라서 깁스의 자유에너지는 일정한 온도와 압력 조건에 있는 화학평형조건을 구하는 데 유용하게 사용될 수 있는 것이다.

연료전지에서는 주위온도와 같은 일정한 온도에서 일어나는 가역반응에서, Gibbs Function의 변화량을 통해 연료전지의 출력일(Work Output)을 나타내면

$$W = -(\Sigma n_e \bar{g}_e - \Sigma n_i \bar{g}_i) = -\Delta G \text{ 와 같이 나타낼 수 있다.}$$

#### (5) i-V 및 전력밀도(power density) 곡선

연료전지의 성능은 전류와 전압 특성을 통해 알 수 있으며, 사용하는 전류에 따라 전압이 바뀌기 때문에 전류-전압 곡선을 이용하여 연료전지의 성능을 관찰한다. 또한 연료전지의 크기가 클수록 더 큰 전류를 만들어 낼 수 있기 때문에, 곡선에는 일반적인 전류 대신 단위면적당 전류의 크기인 전류밀도(A/cm<sup>2</sup>)를 이용한다. 전류의 크기가 0인 상태의 전압을 개로전압(OCV: open circuit voltage)이라 하며 전력밀도(W/cm<sup>2</sup>)곡선은 전류-전압 곡선상에 위치한 각 점의 전류와 전압을 곱하여 나타낼 수 있다.

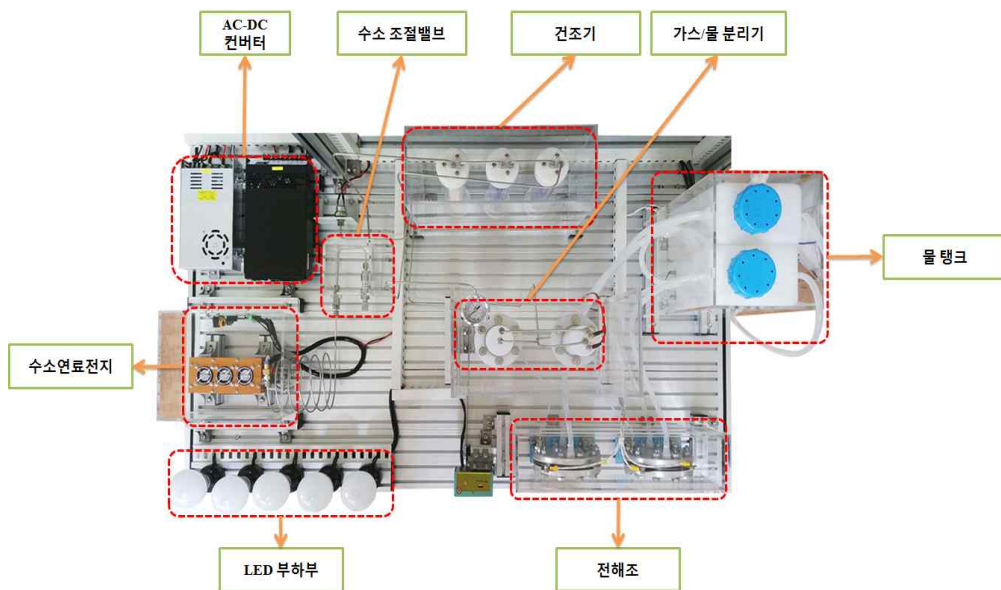
## 2. 실험장치

실험장치는 전해조, 수소연료전지, 제습장치, DC램프, 물탱크, 제어 스위치 및 계기판 등으로 이루어져 있다.

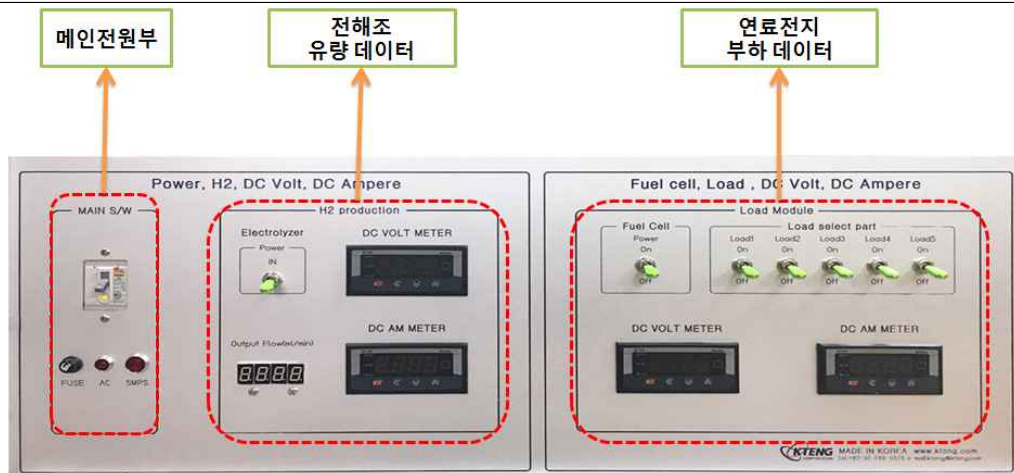
물탱크에는 증류된 순수한 물이 저장되어 있고 이 물은 전해조를 통해 산소와 수소로 분해된다. 이 때, 전기분해의 제조 효율을 위해 4V의 전압이 유지된다. 분해된 산소는 방출되며 수소는 제습장치를 통해 섞여 있던 물을 제거한 후 연료전지로 보내진다. 이 때 수소의 유량 유량계를 통해 측정할 수 있으며, 이는 밸브를 이용하여 조절이 가능하다. 연료전지를 통해 만들어진 전기는 설치된 DC램프를 켜는데 사용이 되며, DC램프의 개수를 조절하면서 연료전지의 부하를 바꿀 수 있다. 계기판을 통해서도 전기분해 및 연료전지에 관련된 전압, 전류 값을 확인할 수 있다.



[전기분해 이용 수소연료전지 발전 실험장비]



[수소 연료전지 실험장치 부품 배치도]

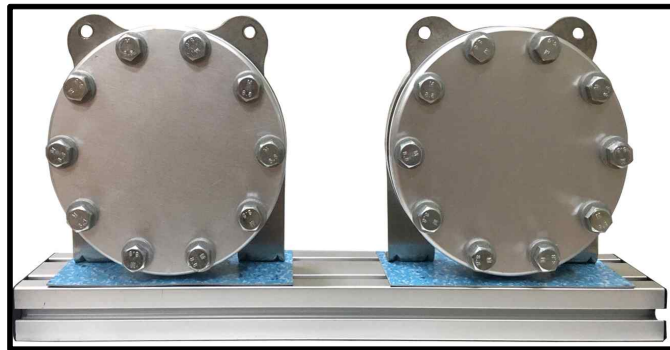


[수소 연료전지 제어판]

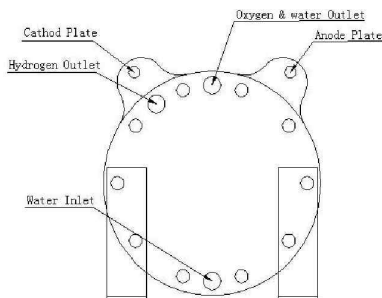
### 3. 주요 부품 설명

#### (1) 전해조

전해조의 양극 챔버에 담은 후(전기 저항이  $1M\Omega/cm$ 를 초과하고, 이를 위해 전자 및 분석 산업에서 물이 탈이온화 되고 재증류된) 요건을 충족시키는 전해수는 양극에서 즉시 분해 됩니다. ( $2H_2O = 4H^+ + 2O^{2-}$ ) 분해 된 산소산 음이온 ( $O^{2-}$ )은 산소 ( $O_2$ )를 형성하기 위해 즉시 전자를 방출한 다음 약간의 물이 있는 양극 챔버에서 물탱크로 방출됩니다. 물은 순환적으로 사용될 수 있으며, 산소는 물탱크 상단 덮개의 작은 구멍에서 대기로 방출됩니다. 아쿠아 이온 ( $H^+ \cdot XH_2O$ ) 형태로 SPE 이온막을 통한 전기장력의 작용에 따르는 수소 양자는 수소를 형성하는 전자를 흡수하기 위해 음극에 도달한 다음, 음극 챔버에서 제거할 전해조에서 대부분의 물을 가져오는 가스/물 분리기로 방출됩니다.



[전해조]



- hydrogen outlet : 수소 배출구
- water outlet : 물 배출구
- oxygen/water outlet : 산소/물 배출구
- water inlet : 전해수 투입 포트
- anode plate : 양극판
- cathod plate : 음극판

[전해조 각부 명칭]

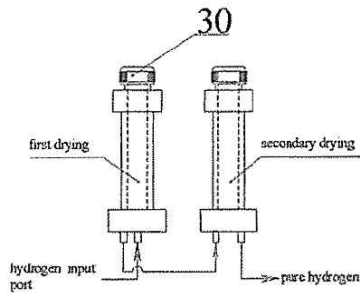


(2) 수소 제습부

물이 거의 없는 수소는 99.997% 이상의 순도를 가진 건조기의 수분 흡수를 통해 가스/물 분리기 내 응축수가 일정한 양으로 누적되면, 플로트가 상승하여 가스/물 분리기 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출됩니다. 방출 후 플로트는 즉시 제자리로 환원하며, 이로 인해 가스/물 분리의 수위는 일정한 상태를 유지하고, 발생된 수소는 연료 전지로 투입 됩니다.



[수소 제습부]

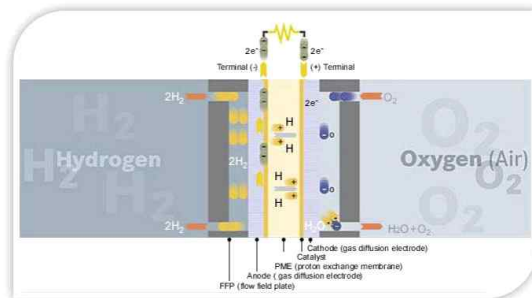


first drying : 1차 건조  
 secondary drying : 2차 건조  
 hydrogen input port : 수소 투입 포트  
 pure hydrogen : 순수 수소

[수소 제습부 각부 명칭]

(3) 수소연료 전지

연료 전지는 양성자 교환막, 촉매층, 음극 (가스 확산층), 양극 (가스 확산층) 및 집전판으로 구성됩니다. 양성자 교환 막과 촉매층은 막 전극을 구성합니다. 멤브레인 전극, 캐소드 및 애노드 가스 확산층은 MEA를 구성합니다. 마지막으로 MEA와 두 개의 컬렉터 플레이트가 단일 셀을 구성합니다.

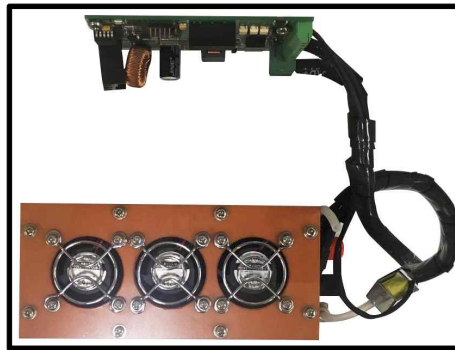


[수소 연료전지 원리]



컬렉터 플레이트를 통과하는 가스 (수소 및 공기)는 양성자 교환막의 전극 양측으로 흐른다. 이 채널을 통해 수소가 수소 양성자와 수소 이온으로 분리된 백금 촉매로 코팅된 양극으로 흐른다. 자유 전자는 외부 회로로 흘러 들어가 전류를 생성하고, 양성자는 전해질 막을 통해 음극으로 이동합니다. 공기 중의 산소, 외부 회로의 전자와 양성자는 양극에서 반응하여 순수한 물을 생성하고 열을 방출합니다.

접합에 의해 형성된 단일 셀 연료 전지 스택의 수에 필요한 전력을 제공한다. 수소연료 전지의 정격전압은 약 19.2V이고, 정격 전류는 2.6A이다. 단일 셀은 일련의 연료 전지 스택을 구성하여 필요한 출력 전압을 제공합니다. 연료 전지의 출력 전류는 유효 면적에 비례하므로 연료 전지 스택은 기하학적으로 접합하여 필요한 출력 전압, 전류 및 전력을 생성할 수 있습니다.



[수소연료전지]

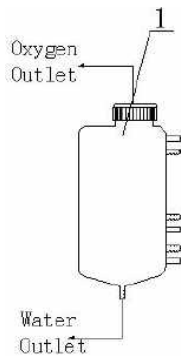
(4) 물탱크

수소를 발생하기 위한 물탱크로서 먼저 탈이온화 또는 재증류된 물을 가득 채운 다음, 시동 전에 5분동안 기다려야 한다.

장시간 동안 사용하면 수소의 출력 및 전해조의 유효 수명에 영향을 미치는 미생물이 번식하고 탁하게 될 수 있어 물탱크는 깨끗이 유지해야 한다.



[물탱크]



oxygen Outlet : 산소 배출구  
water Outlet : 물 배출구

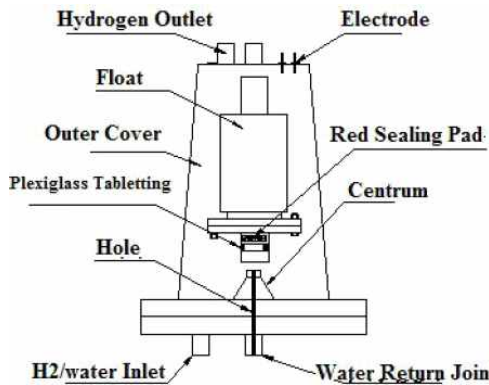
[물탱크 각부 명칭]

(5) 가스/물 분리기

가스/물 분리기 내 응축수가 일정한 양으로 누적되면, 플로트가 상승하여 가스/물 분리기 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출된다. 방출 후 플로트는 즉시 제자리로 환원하며, 이로 인해 가스/물 분리기의 수위는 일정한 상태를 유지한다.



[가스/물 분리기]



Hydrogen outlet : 수소 배출구

Electrode : 전극

Red Sealing Pad : 빨간 씰링 패드

Centrum :

Water Return Joint : 물 변환 조인트

H2/Water Inlet : 수소/물 주입구

Hole

Plexiglass Tableting : 플렉싱 유리 태블릿

Outer cover : 외피

Float : 부유물

[가스/물 분리기 각부 명칭]

(6) 부하부

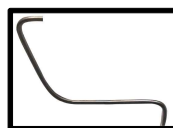
수소연료전지로부터 생성된 전력을 이용하여 각각 DC램프를 점등 할 수 있습니다.



[부하부]

(7) 수소/물 배출구

SUS 파이프로서, 수소의 이송관 역할을 수행합니다.



[수소/물 배출구]

(8) 산소/물 배출구



[산소/물 배출구]

실리콘 재질의 호스로서, 산소와 물을 재순환 및 방출하기 위해 사용됩니다.

(9) 유량 표시 화면



[유량 표시 화면]

수소의 출력 유량을 확인 할 수 있다.

(10) 전원 장치



[전원 장치]

전해조의 전기분해 제조 효율을 위해4V의 전압을 유지 시켜주기 위한 전원 공급장치입니다.

(11) 사방피스



[사방피스]

각각의 서스 배관을 연결해주며 각 부분의 압력게이지 상태 표시를 할 수 있다.

(12) 배출 밸브



[배출 밸브]

실험장치 실험 후, 남아 있는 압력을 빼주기 위해 사용되며, 수소 배출구 정면 동기 밸브의 너트를 풀어 배출시켜야 한다. 압력이 배출 된 후 밸브를 다시 잠금 밀봉시켜야 한다

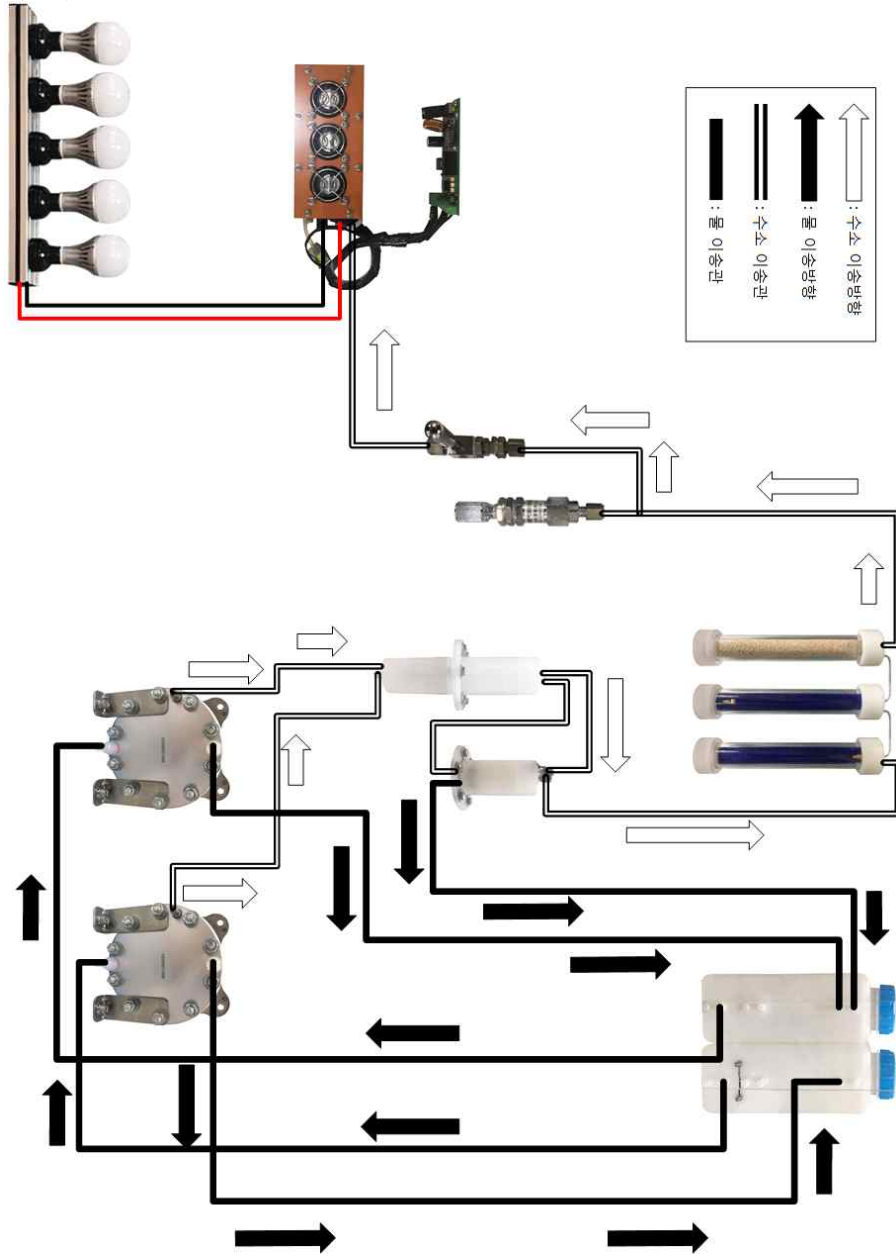
(13) 응축수 순환 파이프



[응축수 순환 파이프]

가스/물 분리기의 바닥 배출구에서 재순환용 물탱크로 방출하기 위해 쓰이는 실리콘 재질의 호스입니다.

#### 4. 수소연료전지 이송경로



[물과 수소의 이송 경로를 나타낸 예시도]

#### 5. 실험방법

- (1) Control Panel 의 차단기 스위치를 ON으로 한다.
- (2) 발생기의 탱크에 증류된 물을 채운다.
- (3) 스위치를 이용하여 수소 발생기를 작동시킨다.
- (4) 수소 유량이 확보 되면 수소연료전지 스위치를 ON으로 한다.
- (5) 수소발생기 및 연료전지가 안정된 후 부하 스위치를 이용하여 램프를 점등한다.
- (6) 시스템이 정상상태에 이르면 Control Panel의 전압, 전류 등의 조건을 기록한다.
- (7) 같은 방식으로 램프의 수를 통해 부하를 변화시켜가며 동일한 방식으로 실험을 수행한다.
- (8) 실험결과 내용 작성

6. 실험결과 내용 작성

(1) 실험에서 측정된 값을 이용하여 다음의 값들을 계산 및 도식하시오.

가. 전기분해 효율

$$\eta_{elec} = \frac{m_{real}}{m_{theory}}$$

$$m_{theory} = \left(\frac{I}{F}\right)\left(\frac{M}{Z}\right)$$

$m_{real}$  : 전해조에서 생산된 수소 질량 유량 (g/s)  
 $m_{theory}$  : 이론적으로 계산된 최대 수소 질량 유량 (g/s)  
 $F$  : 패러데이 상수 (C/mol)

나. 수소 연료전지의 당량비 및 효율(최대 부하 경우)

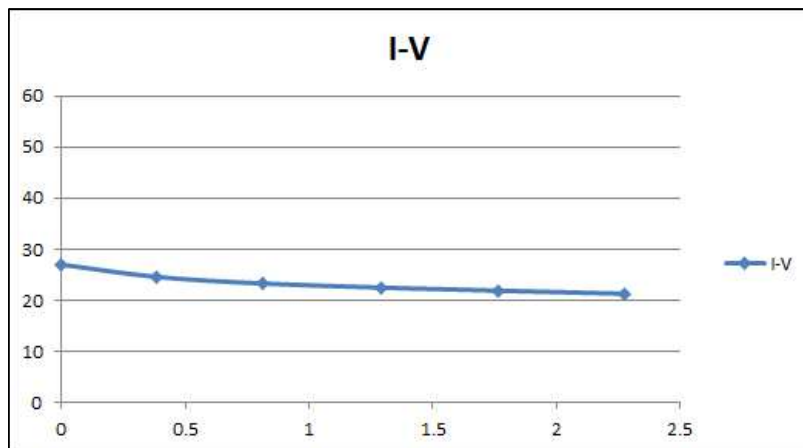
$$\lambda = \frac{V_{fuel}}{i/nF}$$

$V_{fuel}$  : 연료전지에 공급된 수소 유량 (mol/s)  
 $n$  : 분자당 생성되는 전자 수

$$\begin{aligned} \varepsilon_{real} &= (\varepsilon_{thermo}) \times (\varepsilon_{voltage}) \times (\varepsilon_{fuel}) \\ &= \left(\frac{\Delta\hat{g}}{\Delta\hat{h}_{HHV}}\right) \times \left(\frac{V}{E}\right) \times \left(\frac{i/nF}{v_{fuel}}\right) \end{aligned}$$

$g$  : 깁스자유에너지 (kJ/mol)  
 $h$  : 반응엔탈피 (kJ/mol)  
 $E$  : 가역 전지 전압 (V)  
 $v_{fuel}$  : 연료전지에 공급된 수소 유량 (mol/s)  
 $n$  : 분자당 생성되는 전자 수

다. i-V 곡선



과제 평가



전기분해 이용 수소연료전지 발전 실험장비  
(KTE-7000HS)

· 요구사항

1. 실험장비, 공구를 준비·점검한다.
2. 실험 동작순서 따라 구성하고 운전한다.
3. Electrolyze가 전기분해를 하는지 확인한다.
4. 수소연료전지 전압, 전류, 유량값을 측정하여 발생원리에 대해 설명한다.
5. 시스템을 동작 시켰을 때 발생하는 실험장비의 성능 및 효율에 대해 분석한다.

		평가항목	배점	득점	비고			
평가기준	작품평가 (80점)	각각 기구에 대한 이해	20					
		전체 회로에 대한 이해	20					
		동작 상태	20					
		전압, 전류, 유량 측정	20					
	작업평가 (10점)	작업 태도 및 안전	5					
		재료 공구 사용 및 정리·정돈	5					
시간평가 (10점)	· 소요시간 ( )분 초과마다 ( )점 감점			작품평가	작업평가	시간평가	총점	

작업과제명	2. 전기분해를 이용한 수소연료전지 부하변화에 따른 성능 비교 실습하기	소요시간
		8

목 표	① 연료전지 시스템의 구조와 조작방법을 학습한다. ② 물의 전기분해를 통하여 생성되는 수소 발생 원리를 이해할 수 있다. ③ 수소 연료전지시스템의 구성요소와 설계 기술, 각 부분의 효율 분석 할 수 있다.
-----	--

사 용 장 비	공구 및 재료명	규 격	수 량
· 전기분해 이용 수소연료전지 발전 실험장비 (KTE-7000HS)	· 드라이버 · 니퍼 · 와이어스트리퍼 · 후크메타기	· #2× 6× 175mm · 150mm · 0.5~6mm <sup>2</sup> · 300A 600V	1 1 1 조별1

**실 험 회 로 도**

1. 관련 이론

(1) 연료전지의 효율

연료의 산화를 통해 얻을 수 있는 에너지는 전체반응 전후의 엔탈피 차이에 해당하는 반응엔탈피( $\Delta\hat{h}_{rxn}^0$  : enthalpy of reaction)를 통해 알 수 있으며 이는 일반적으로 생성엔탈피( $\Delta\hat{h}_f^0$  : formation enthalpy)를 통한 계산으로 구한다. 하지만 반응엔탈피에 해당하는 에너지를 모두 활용할 있는 것은 아니기 때문에 이용가능한 에너지에 관한 척도로 깁스 자유에너지( $\Delta\hat{g}_{rxn}^0$  : Gibbs free energy)를 사용한다. 또한 이 에너지 항들과 실제 연료전지에서 발생하는 전압과의 관계는 다음과 같은 식을 통하여 비교 및 정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 W_{elec} &= EQ = -\Delta g_{rxn} \\
 Q &= nF \\
 \Delta\hat{g} &= -nFE \\
 E^0 &= \frac{-\Delta\hat{g}_{rxn}^0}{nF}
 \end{aligned}$$

(n = number of electrons transferred, F = Faraday's constant)

연료전지내에서 일어나는 반응과 온도, 압력, 농도 등의 조건간의 관계는 아래의 네른스트 방정식(Nernst equation)을 통해 알 수 있고 이와 함께 가역 전지 전압(reversible cell voltage)을 계산할 수 있다.



$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{H_2O}}{a_{H_2} a_{O_2}^{1/2}}$$

$$= E^0 - \frac{RT}{2F} \ln \frac{1}{p_{H_2} p_{O_2}^{1/2}}$$

실제의 연료전지의 효율은 아래의 식과 같이 총 3가지 효율의 곱으로 나타낼 수 있다. 첫 번째 효율은 앞서 언급한 엔탈피와 깁스에너지를 활용한 가역 열역학적 효율 (reversible thermodynamic efficiency)이며, 두 번째 효율은 연료전지 시스템 내에서 발생하는 전압강하에 관한 효율이다. 마지막 효율은 사용된 연료 중 실제 반응에 참여한 연료의 비율을 나타낸 것으로 흔히 연료 당량비(stoichiometric factor)를 사용하여 계산한다.

$$\varepsilon_{real} = (\varepsilon_{thermo}) \times (\varepsilon_{voltage}) \times (\varepsilon_{fuel})$$

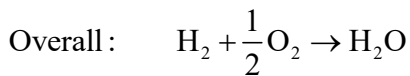
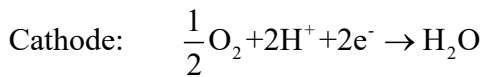
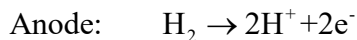
$$= \left( \frac{\Delta \hat{g}}{\Delta \hat{h}_{HHV}} \right) \times \left( \frac{V}{E} \right) \times \left( \frac{i / nF}{v_{fuel}} \right)$$

- $g$  : 깁스자유에너지 (kJ/mol)
- $h$  : 반응엔탈피 (kJ/mol)
- $E$  : 가역 전지 전압 (V)
- $v_{fuel}$  : 연료전지에 공급된 수소 유량 (mol/s)
- $n$  : 분자당 생성되는 전자 수

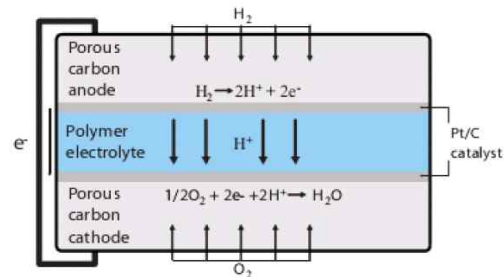
전기분해를 통해 분해되는 물질의 양은 패러데이의 법칙을 통하여 정량화된다. 패러데이의 전기분해 법칙은 전기분해되는 질량이 가해주는 전하량과 물질의 화학당량에 비례한다는 내용이며 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$m = \left( \frac{Q}{F} \right) \left( \frac{M}{z} \right)$$

(M : molar mass, z : valency number of ions, F : Faraday' s constant)



[연료전지의 반응식]



[연료전지의 모식도]

2. 부하에 따른 성능 비교 구성 방법

- (1) 발생기의 물탱크에 증류된 물을 충분히 채운다.
- (2) Control Panel 의 메인 스위치를 ON으로 한다.
- (3) H2 production 파트 Electrolyzer 토글스위치를 ON시킨다
- (4) 수소 유량이 확보 되면 Fuel Cell 토글스위치를 ON시킨다
- (5) 수소발생기 및 연료전지가 안정된 후 부하 스위치를 이용하여 램프를 점등한다.
- (6) 시스템이 정상상태에 이르면 Control Panel의 전압, 전류 등의 조건을 기록한다.
- (7) 같은 방식으로 램프의 수를 통해 부하를 변화시켜가며 동일한 방식으로 실험을 수행한다.
- (8) 실험결과 내용 작성

※ 주 의 ※

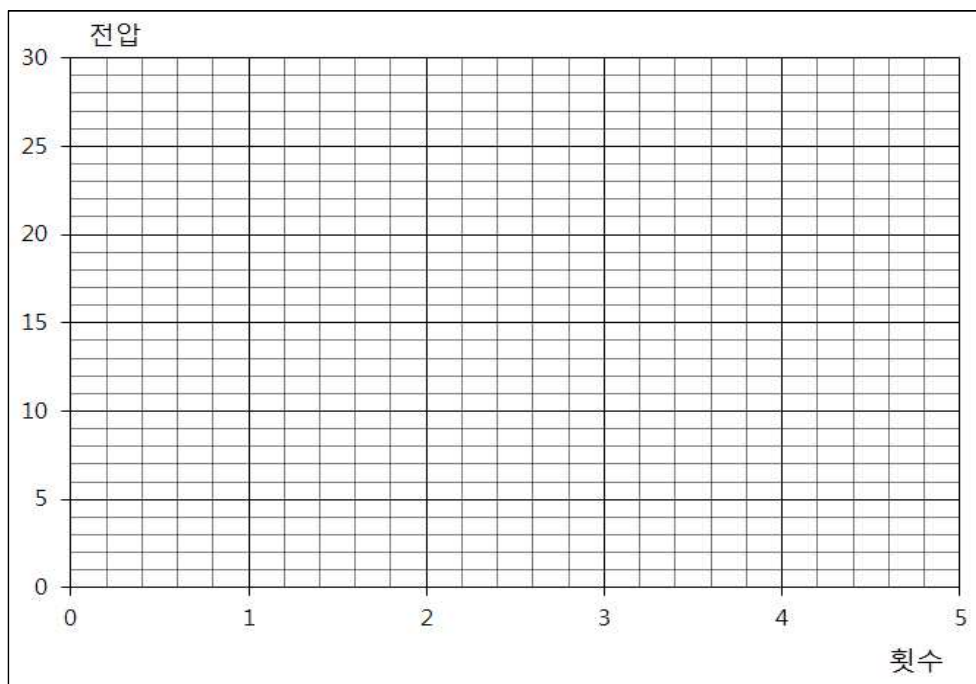
다른 액체는 Electrolyze의 막을 영구적으로 파손시키므로 반드시 증류수를 사용해야 한다.

3. 결과의 정리 및 계산

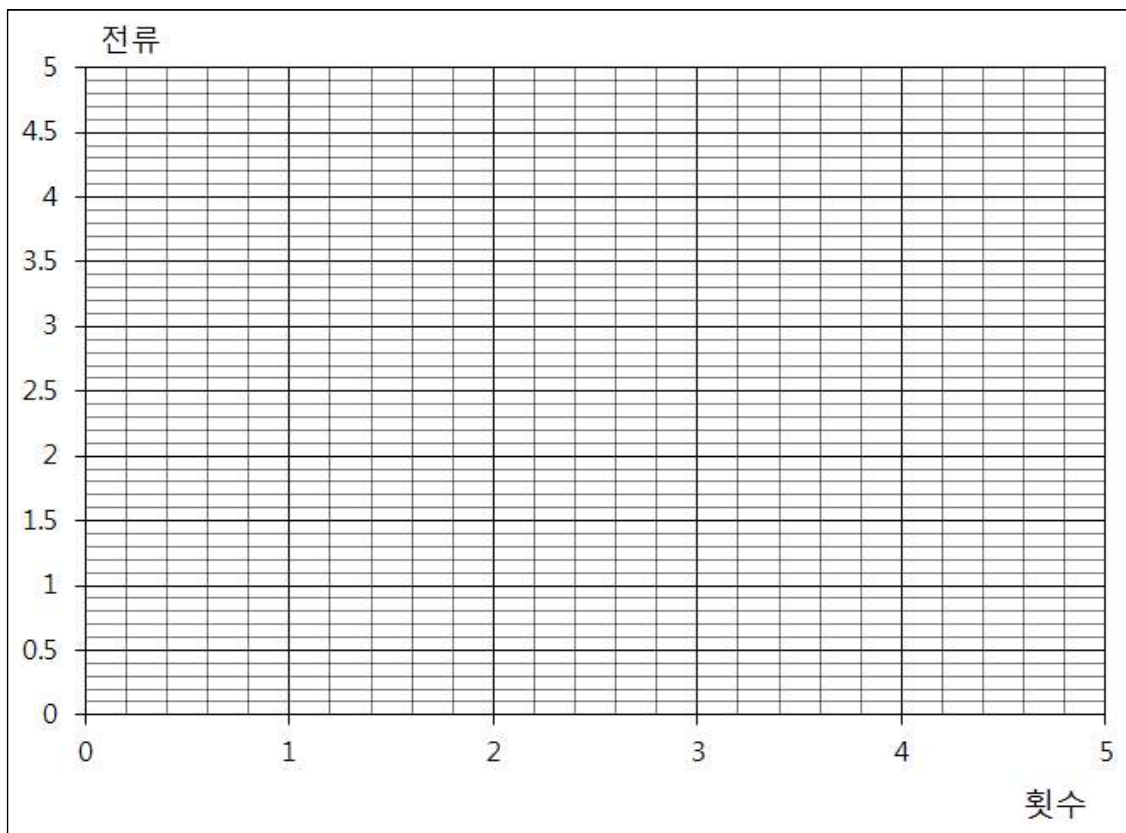
실험 1.

실험결과		
부하 (LED)	연료 전지 전압(V)	연료 전지 전류(I)
1개		
2개		
3개		
4개		
5개		

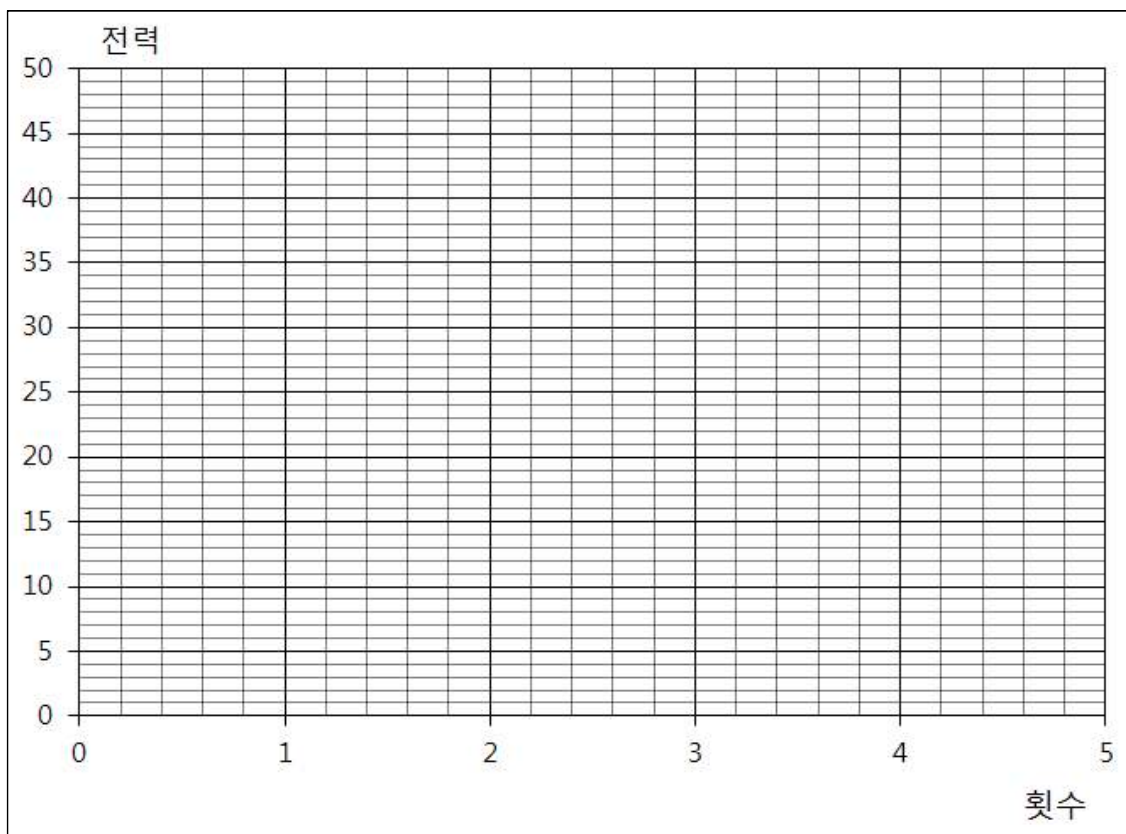
(1) V 곡선 작도



(2) I 곡선 작도



(3) 전력(W) 곡선 작도



과제 평가



전기분해 이용 수소연료전지 발전 실험장비  
(KTE-7000HS)

· 요구사항

1. 실험장비, 공구를 준비·점검한다.
2. 실험 동작순서 따라 구성하고 운전한다.
3. Electrolyze가 전기분해를 하는지 확인한다.
4. 수소연료전지 전압, 전류, 유량값을 측정하여 발생원리에 대해 설명한다.
5. 부하 변화에 따른 실험장비의 성능 및 효율에 대해 분석한다.

평가 기준	평가 항목		배점	득점	비 고				
	작품평가 (80점)	각각 기구에 대한 이해				20			
전체 회로에 대한 이해			20						
동작 상태			20						
전압, 전류, 유량 측정			20						
작업평가 (10점)	작업 태도 및 안전		5						
	재료 공구 사용 및 정리·정돈		5						
시간평가 (10점)	· 소요시간 ( )분 초과마다 ( )점 감점					작품 평가	작업 평가	시간 평가	총점

### 3. 장비 사용 시 주의사항

3-1. 사용 설명서 요건을 충분히 숙지한 후 발생기를 사용한다.

3-2. 밀폐된 공간에서는 수소 발생기 작동을 금지한다.

(1) 최대 출력 유량의 2/3 이내에서 수소 가스를 이용하는 고객이 필요로 하는 이 장비의 최대 출력 유량은 1000ml/분이다.

(2) 만약 장시간(10시간 이상) 작동이 필요하다면 최대 유량의 1/2 이내에서 출력 유량을 사용하는 것이 바람직하다. 수소 출력 유량은 “유량 조절장치” 밸브로 조절할 수 있다.

3-3. 발생기의 작동 환경 및 조건에 대한 요건

(1) 온도 : 4℃-40℃

(2) 습도 : 85%

(3) 전원 : 220v-240v~50~60Hz 또는 99-121v~50-60Hz

(4) 작동 편의를 위해 운용자와 마주보는 전면 보드를 가진 수소 적용 계기 근처에 수평으로 두어야 한다.

(5) 진동 및 충격이 없어야 한다.

(6) 직사광선 및 발화가 없어야 한다.

(7) 대형 분진, 전도성 입자, 산, 알칼리 및 기타 부식성 가스

(8) 환기가 잘되어야 한다.

(9) 전원 연결이 잘되어야 한다.

3-4. 발생기의 물탱크에 먼저 탈이온화 또는 재증류된 물을 가득 채운 다음, 시동 전에 5분 동안 기다려야 한다.

3-5. 압력 상승 요건 및 수소 적용 장비 연결 없이 설정 압력에 도달한 경우에 발생된 수소 처리 방법

(1) 출력 압력이 0이고 최소 작동 압력이 0.02 MPa 일 때 발생기는 작동되지 않는다.

(2) 시동 후 압력 상승이 늦어지면 가스/물 분리기가 정상적인 배출을 하지 않고 전해 증기를 야기하는 최대 경고 한계에 수위를 도달하게 하는 내부 물고임이 발생한다.

(3) 수소 출력이 최대값에 도달하면 출력 압력이 0를 나타내는 작동 시간은 10분을 넘지 않아야 한다.(발생기는 2단계 건조기와 수소 출력 유동 방향을 연결하는 황동 파이프라인을 갖추고 있으므로 발생기가 배송된 후에 일부 내부 저항이 생성되며, 내부 저항은 필요한 최소 압력 한계에 도달할 수 있다.)

(4) 시동 후 수소 적용 장비를 연결하지 않고 설정 압력에 도달하는 경우 장시간 발생기 작동은 전해조의 핵심 부품에 손상을 줄 수 있다.

3-6. 수소 발생기 압력은 수신기 정지 후 0으로 배출되어야 한다.

- (1) 압력은 뒤판 위에 있는 수소 배출구 정면 통기 밸브의 너트를 풀어 배출시켜야 한다.
- (2) 압력이 배출된 후 밸브를 다시 밀봉시켜야 한다.

### 3-7. 수질 요건

- (1) 부적합한 물 속의 단단한 이온으로 인해 전극의 기공을 막는 침전물이 생겨 전극을 폐기시킬 수도 있으므로, 전해 시 물의 전기 저항(탈이온수 또는 재증류수)은 적어도 1MΩ/cm이 되어야 한다.
- (2) 사용자는 이를 명심해야 하며 잘못된 운전에 대한 책임은 사용자에게 있다.

### 3-8. 물탱크 수위 요건

- (1) 수위는 물탱크 용적(물탱크 용적은 3.2L이다)의 2/3 이상 되어야 한다.
- (2) 전기 부품을 손상시키는 물이 발생기에 들어가는 것을 방지하기 위해 발생기 하우징을 밀봉하는 O링이 있는 아래에 물이 나일론 배수관 밖으로 흘러 나가는 것을 방지하기 위해 물탱크에 물을 넣을 때는 천천히 신중하게 한다.

### 3-9. 물 교환 및 물탱크 세척 요건

- (1) 물탱크는 깨끗이 유지해야 한다.
- (2) 처음에는 물이 적합할지라도 장시간 동안 사용하면 수소의 출력 및 전해조의 유효 수명에 영향을 미치는 미생물이 번식하고 탁하게 될 수 있다.
- (3) 배수관을 통해 2-3개월마다 물탱크를 비운 다음 배출된 물에 이물질이 포함되지 않고 투명해질 때까지 수차례 세척해야 한다.(소량의 새 물을 탱크에 채워 수차례 가볍게 흔든다).
- (4) 물탱크의 배수관은 발생기의 뒤판에 위치하며 탈부착이 가능하다.
- (5) 물탱크의 상단 덮개 위 작은 구멍은 산소 방출 포트가 사용되므로, 이를 차단하지 않아야 하며, 탱크의 상단 덮개를 임의로 바꾸지 않아야 한다.

### 3-10. 발생기를 운송할 때는 물이 흘러 나와 전기 부품의 손상을 일으키는 것을 방지하기 위해 물탱크에 물을 저장하지 않아야 한다.

### 3-11. 전해조에 물이 부족하지 않아야 한다.

### 3-12. 건조제 교체 요건 및 방법

수소 발생기는 보다 적은 내부 저항, 높은 전해 효율 및 전기 에너지를 열 에너지로 변형하는데 극히 작은 소모량 특징을 나타내므로, 건조제(실리카겔 또는 몰레큘러시브)의 유효 수명은 지금까지 시장에 나와 있는 모든 수소 발생기 중 가장 길다.

만약 앞서 언급한 것과 상반된 현상이 발생하거나 건조제 색상이 대부분 변하면, 발생기가 전용량으로 장시간 동안 작동되어 거대한 출력을 나타낼 가능성이 있다. 부적절한 작동을 정정하였음에도 불구하고 건조제 색상이 빠르게 변하면, 유지보수를 위해 제조업체에 통보한다.

### (1) 건조제 교체에 대한 소개

- 1) 우측 플레이트(전면 보드를 향하여 우측에 전면 보드를 뒤돌아보는) 내부에 위치한 건조기는 건조제 뷰 포트를 갖추고 있다. 건조 절차는 두 단계로 분류된다. 각각 청색 실리카겔을 이용한 두 개의 건조용 카트리지는 1차 건조이며 살색 몰레쿨러시브를 이용한 한 개의 건조용 카트리지는 2차 건조이다.
- 2) 세 개의 건조용 카트리지를 덮고 있는 상단 캡은 발생기의 상단 덮개 외부에 돌출되며, 동일한 방식으로 카트리지를 교체하기 위해 한 줄로 배열된다.

### (2) 건조제 교체 요건

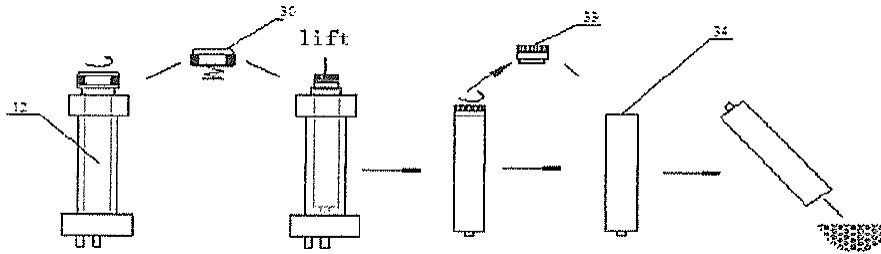
- 1) 고압 수소 누출 및 인명 피해를 방지하기 위해 발생기 작동 중에 건조제를 교체하지 않아야 한다.
- 2) 건조제 교체 전에 발생기를 중지시켜야 하며 정화기 상단 캡의 나사를 풀어 열기 전에 압력을 배출해야 한다.
- 3) 건조제(변색된 실리카겔 또는 몰레쿨러시브)는 포화 상태까지 물이 흡수된 후에는 효과가 상실되므로 제때에 교체해야 한다. 변색된 실리카겔의 높이가 뷰 포트 높이의 1/2 이상이면 실리카겔을 교체해야 한다! 그렇지 않으면 발생된 수소의 순도에 영향을 미치는 수소 내 물 함유량은 표준 이상이 될 것이다. 1차 건조용 실리카겔이 제때에 교체되면 2차 건조용 몰레쿨러시브는 6개월 또는 1년에 한 번 교체될 수도 있다.
- 4) 건조제 교체 후 건조용 카트리지에 생긴 공기가 비워지기를 기다리기 위해 발생기는 몇 분 동안 작동이 정지되어야 하며 발생된 수소의 순도가 표준에 도달되는 경우에만 수소가 사용될 수 있다.

### (3) 건조제 교체 방법

- 1) 발생기를 끄고 압력을 배출한 다음 1차 건조용 카트리지를 덮고 있는 상단 캡의 나사를 시계방향으로 푼다. 상단 캡은 오염되지 않은 상태로 발생기에 두어야 하며, 캡 내의 밀봉 링을 폐기하지 않아야 한다. 상단 캡에 고정된 스프링은 제거하지도 오염되지도 않아야 한다.
- 2) 깨끗한 손가락으로 건조제가 있는 내부 카트리지의 상단 캡을 집어 올린 다음 건조제를 비우기 위해 내부 카트리지 상단 캡의 나사를 시계방향으로 푼다. 증류수로 카트리지를 세척하고 카트리지를 볼거나 바람을 쐬어 건조시킨다. 카트리지에 새로운 또는 재생된 건조제를 다시 채우고, 상단 캡을 나사로 쥘 다음 원래 자리에 카트리지를 넣는다. 절차 중 다음 두 가지 사항을 유의해야 한다.
  - 내부 카트리지의 바닥에 돌출된 헤드는 외부 카트리지 맨 아래 부분의 구멍에 배치되어야 한다.
  - 내부 카트리지의 바닥에 돌출된 헤드 내 O링을 분실하지 않아야 한다. 만약 손상되면, 부착된 부속품을 새 것으로 교체해야 한다.두 가지 사항을 주목하는 목적은 수소의 순도를 보증하기 위해 필수 건조 경로에 따라 수소가 건조기를 통과할 수 있도록 보장하기 위함이다.
- 3) 2차 건조제 교체 방법은 동일하다.



4) 마지막으로 건조기의 상단 덮개를 나사로 죄어 밀봉한다.



건조제 교체에 대한 계통도

5) 건조제 재생

- ① 청색으로 완전히 변할 때까지 실리카겔은 120~140℃ 온도 하에서 굳어지지 않아야 한다.
- ② 몰레큘러시브는 2시간 동안 120~140℃ 온도 하에서 굳어지지 않아야 한다.
- ③ 앞서 언급한 건조제가 마르고 온도가 50℃ 이하로 감소되면 사용을 위해 포장해야 하며, 온도가 너무 높으면 피부에 화상을 입을 수 있다. 너무 높은 온도는 용기 또는 운용자의 피부에 손상을 입힐 수 있다.

3-13. 수리하기 전에 발생기를 정지시켜야 한다. 발생기 작동 중 전기 충격을 피하기 위해 발생기의 하우징 및 기타 부품을 해체하지 않아야 한다.

3-14. 카트리지 퓨즈를 교체하기 전에 전력 코드를 전원과 차단시켜 발생기를 정지시켜야 한다. 1000에서 사용된 카트리지 퓨즈 모델은 F8AL250V이며 화재를 피하기 위해 카트리지 퓨즈를 사용에 주의하도록 한다.

3-15. 주의사항

- 1) 본 실험장비는 메인전원이 단상 AC220V를 사용합니다.
- 2) 장비 동작 순서는 파워 코드가 꼽혀 있다는 전제 하에서 N.F.B를 켜시고 토글스위치를 On 하십시오.
- 3) 수소발생기 안정화 후 부하 램프를 켜십시오.
- 4) 본 장비 사용을 위해서 반드시 매뉴얼 또는 사용법을 숙지하신 후 사용하시기 바랍니다.
- 5) 장비의 해체 또는 변형 사용으로 인한 고장 발생 시에는 무상 A/S기간 내의 장비라 하더라도 수리비가 청구 될 수 있습니다.
- 6) 장비 사용에 있어 고장이나 이용 방법 문의에 대해서는 당사로 연락 주시면 친절히 상담해 드리겠습니다.

## 4. 고장 및 대책

### 4-1. 전원이 인가되지 않을 때

(1) N.F.B를 On 시켜도 전원이 인가되지 않는다면, N.F.B 뒷면에 전원 코드선이 콘센트 또는 전원 입력에 설치되었는지 확인 바랍니다.

### 4-2. 기타 부품에 이상이 있을 때

(1) 기타 부품의 작동이 이상하거나 작동하지 않을 때, 당사로 A/S 신청해주시면 신속하게 처리하여 드리겠습니다.

### 4-3. 전반적인 사항

- (1) 본 장비 사용을 위해서 반드시 매뉴얼 또는 사용법을 숙지하신 후 사용하시기 바랍니다.
- (2) 장비의 해체 또는 변형 사용으로 인한 고장 발생 시에는 무상 A/S기간 내의 장비라 하더라도 수리비가 청구 될 수 있습니다.
- (3) 장비 사용에 있어 고장이나 이용 방법 문의에 대해서는 당사로 연락 주시면 친절히 상담해 드리겠습니다.

TEL : +81-31-749-5373 | FAX : +81-31-749-5376 | kcs@kteng.com | http://www.kteng.com

본 사 : (462-120) 경기도 광주시 오포읍 신현리 679-7번지

사업장 : (464-895) 경기도 광주시 오포읍 신현리 133-1번지