## 특정 주파수에 대한 알카라인 및 고분자 전해질막 스택의 수소 생산 동특성 비교

김재훈, 오창열, 김기룡, 김태진 한국전기연구원

### Comparison of Hydrogen Production Dynamics of Alkaline and PEM Stacks for Specific Frequencies

Jae-Hoon Kim, Chang-Yeol Oh, KiRyong Kim, Tae-Jin Kim Korea Electrotechnology Research Institue

### ABSTRACT

주파수에 대한 알카라인 및 고분자 본 논문은 특정 전해질막 (PEM) 스택의 수소 생산 동특성 비교에 대한 것이다. 재생에너지를 활용한 수전해 기술은 알카라인과 고분자 전해질막 스택을 이용한 수전해 방식이 대표적이다. 이 두 수전해 방식은 스택의 구성과 주변의 부가 설비(BOP) 구성은 다를 수 있지만, 스택을 전기적으로 표현한 등가회로의 구성은 임피던스의 차이만 있을 뿐 유사한 측면을 가지고 있다. 스택의 전기적 등가회로의 구성은 옴 손실, 활성화 손실, 물질전달 손실 등을 대변할 수 있는 수동소자의 형태로 표현되며, 특히 등가회로 구성 중 전기 이중층 커패시터는 주파수를 가진 전압, 전류에 따라 임피던스가 다르게 된다. 이것은 특정 주파수를 가진 전압이나 전류를 통하여 수전해 스택의 임피던스를 가변함으로써 수소 생산 동특성에 영향을 줄 수 있음을 의미한다. 따라서, 본 논문은 알카라인 및 고분자 전해질막 스택의 수소 생산과 관련한 특정 주파수를 이용하여 수소 생산 동특성을 비교하려고 한다. 이를 검증하기 위해 1kW급 알카라인 스택과 400W급 고분자 전해질막 스택을 사용하여 특정 주파수에 대한 수소 생산 동특성을 비교하였다.

### 1. 서 론

지난 10년 동안 주변에서 주로 사용되고 있는 수소의 대부분은 화석연료를 이용하여 생산되는 그레이 수소가 차지 해왔다. 이는 생산 과정에서 이산화탄소가 발생하므로 진정한 의미에서 친환경 에너지원이라고 보기는 힘들다. 반면, 신재생에너지를 이용하여 물 전기분해를 통해 얻을 수 있기에 생산 과정부터 친환경적인 그린 수소는 전세계적으로 탄소 중립을 위해 많은 나라에서 연구가 진행되고 있다[1]. 특히, 유럽연합은 현재 러시아산 화석연료에 의존하지 않는 그린 수소 생태계 구축을 위한 규정이나 시스템 등을 선도하고 있으며, 그린 수소를 제외한 모든 수소의 역내 수입시 탄소 국경 제도를 도입하여 세금을 부과할 계획을 가지고 있다. 또한, 최근 각광받고 있는 탄소 중립을 위해 개발된 연료인 e-퓨얼 사용 허가 등의 다양한 전략으로 탄소 중립을 실현하고 있다. 이러한 세계적인 동향를 살펴보면 그린 수소를 생산하는 기술인 수전해 기술의 중요성이 점차 증가하고 있는 추세다. 이러한 이유로 수전해 관련한 다양한 테마의 연구들이 진행되었다[2-9]. 진행된 연구들은 크게 세 가지의 테마로 그린 수소 생산[2-3], 전기적 모델링[4-7], 주파수 동특성[8-9]으로 나눌 수 있다.

그린 수소는 전기분해를 통해 물에서 생산할 수 있어 소규모로 잉여 전기를 저장하고 플랜트 부하 계수를 개선하는 장점을 가지고 있지만 전해조에 의한 높은 전기소비로 인해 다른 에너지원에 비해 효율적인 측면에서의 단점이 존재한다[2-3]. 다음으로 전해조의 동적 거동을 기반으로 하는 전기적 등가회로 모델링은 주로 손실측면을 대변할 수 있는 수동소자의 형태로 기존의 전기화학적 모델링에 비하여 직관적인 장점이 있지만 전해조의 확산에 의한 물질 전달 영향 등을 고려하기 위해서는 다양한 전기적인 실험이 수반된다[4-7]. 기존의 DC 전류를 통해 생산되는 그린 수소와는 다르게 특정 주파수를 가지는 전압이나 전류를 사용하여 그린 수소를 생산하는 연구가 진행되었다. 이것은 전해조의 높은 전기소비의 단점을 저감하고 그린 수소 생산의 효율을 높이기 위한 방법에 대한 연구이다[8-9].

본 논문에서는 특정 주파수에 대한 알카라인 및 고분자 전해질막 (PEM) 스택의 수소 생산 동특성을 비교에 대한 것이다. 각 각의 스택이 가지는 전기적 등가회로의 구성은 임피던스의 차이만 있을 뿐 유사한 특성을 가지고 있을 것을 가정하에 1kW급 알카라인 스택과 400W급 고분자 전해질막 스택을 사용하여 특정 주파수에 대한 수소 생산 동특성을 비교하였다.

# 수소 생산과 관련한 특정 주파수 선정 2.1 주파수와 관련한 수전해조 성분

수전해조의 전기적인 등가회로에서 전하가 전달되지 않는 이상적인 편광 전극을 생성하며 커패시터와 유사한 특성을 가지는 전기이중층이 존재한다. 커패시터 특성을 고려하여 동일한 전위를 인가하면서 더 많은 전하(여기서, 수소 이온)을 축적하는 방법은 전극의 면적을 늘리거나 전극 간의 거리를 줄여 더 많은 양의 전하가 흐르도록 해야한다. 가지는 특정 인가하면 수전해조에 주파수를 펄스를 전기이중층을 포함하는 확산층의 두께(여기서, 분극)을 감소시켜 수소 생산에 영향을 미치게 된다. 또한, 확산층의 농도 구배가 선형이라고 가정하면 전류의 강도는 확산층의 두께에 따라 다르게 되며, 특정 주파수와 비례 관계를 가진다. 추가적으로 물질전달에 의해 주파수가 0에 근접할수록 전기이중층에 의한 용량성 임피던스가 증가하는 형태를 나이퀴스트 선도 상에서 확인된다. 이를 고려하여 계단입력 또는 펄스입력을 통하여 이 전기이중층 커패시터의 시정수를 시험적으로 구해낸 후 수전해조 스택에 주입할 특정 주파수를 선정하게 된다. 그림 1 과 같은 매커니즘은 알카라인 및 고분자 전해질막 (PEM) 과 같은 각각 스택에 맞게 적용될 수 있을 거라는 가정으로 실험 검증을 진행하였다.



Fig. 1 Selecting specific frequencies relevant to H<sub>2</sub> production

그림 2는 전기이중층 커패시터의 시정수 성분을 구하기 위한 전류 계단 입력 및 출력 전압을 의미한다.





#### 2.2 실험 검증

그림 4는 알카라인 및 고분자 전해질막 스택을 사용하는 수전해조에 특정 주파수를 가지는 펄스 전류를 인가하고, 그 결과로 수반되는 출력 전압을 보여주고 있다. 아래의 표 1은 수전해 실험 설정 데이터를 보여주고 있다.

표 1 수전해 실험 설정 데이터

Table 1 A water electrolysis experimental setup data

Parameters	ALKEL	PEMEL					
Operating Current	65-75 [A]	15-20 [A]					
Operating Temperature	60 [°C]	45 [°C]					
Pulse Current Amplitude	10 [A]	5 [A]					
5 tau time	3350 [us]	200 [ms]					
Frequency	50 [Hz]	0.8 [Hz]					
Averaging Current	70 [A]	17.5 [A]					

스택에 사용된 수전해조의 특정 주파수는 그림 2와 같이 정해진 진폭을 가지는 계단 전류 입력이 주어지면 스택에서 출력되는 전압 커패시터 충전 특성을 통해 얻을 수 있다. 여기서, 전류의 진폭은 그림 3에서와 같이 내부 전기이중층 커패시터를 통해 역전류가 스택에 흐르는 것을 방지하기 위해 충분히 큰 DC 옵셋을 가지도록 해야 한다. 아래의 표 2는 특정 주파수에서 DC 대비 펄스 전류의 특성을 각각 스택을 비교한 것이다.

표 2 수전해 실험 결과 데이터

Table 2 A water electrolysis experimental result data

Frequenc y	ALKEL	PEMEL			
0(DC)	10.8 [V] / 68.68 [A] / 2.56 [LPM]	9.3 [V] / 29.724 [A] / 0.975 [LPM]			
1 [Hz]	-	9.0 [V] / 29.812 [A] / 0.987 [LPM]			
50 [Hz]	11.0 [V] / 70.76 [A] / 2.65 [LPM]	_			

	CEAL/LOGIERLY	LAst.avg (A)			27		oct [4] / L	Col (4) .
		140			20	_		
			_		22	_	-	
10					10	7		+
			-					+
			-		7	_		-
	_				7	_		-
1			-		1		-	
			-				_	+
1	- Į	.   .	7		-10		-	+
	(a)				~		(	h)
	(a)							D.

그림 3 전기이중층 내부 전류 (a) 진폭 6 [A], (b) 진폭 10 [A] Fig. 3 Internal Current in an EDL



그림 4 수전해 스택 입/출력 파형 (a) ALKEL, (b) PEMEL Fig. 4 Water electrolysis stack input/output waveform

### 3. 결 론

본 논문은 특정 주파수에 대한 알카라인 및 고분자 전해질막 (PEM) 스택의 수소 생산 동특성 비교하였다. 각 각의 스택을 전기적으로 표현한 등가회로의 임피던스 차이만 있을 뿐 수소 생산 동특성은 유사한 측면을 가지고 있을 것이라는 가정하에 1kW급 알카라인 스택과 400W급 고분자 전해질막 스택을 사용하여 각각의 특정 주파수에 대한 실험 검증을 하였다. 실험결과로부터 특정 주파수를 가진 전압이나 전류를 통하여 수전해 스택의 임피던스를 가변함으로써 수소 생산 동특성에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

이 연구는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회의 지원을 받아 수행된 한국전기연구원 기본사업임 (No.23A01009)

### 참 고 문 헌

- J. Turner, G. Sverdrup, M.K. Mann, P.-C. Maness, B. Kroposki, M. Ghirardi, R.J. Evans, B. Dan, "Renewable hydrogen production", Int. J. Energy Res. 2008, 32, 379–407.
- [2] Nikolaidis, P.; Poullikkas, A. A comparative overview of hydrogen production processes. Renew. Sustain. Energy Rev. 2017, 67, 597–611.
- [3] Kumar, S.S.; Himabindu, V. Hydrogen production by PEM water electrolysis—A review. Mater. Sci. Energy Technol. 2019, 2, 442–454.
- [4] Ursúa, A.; Sanchis, P. Static-dynamic modelling of the electrical behaviour of a commercial advanced alkaline water electrolyser. Int. J. Hydrogen Energy 2012, 37, 18598-18614.
- [5] Gambou, F.; Guilbert, D.; Zasadzinski, M.; Rafaralahy, H. A Comprehensive Survey of Alkaline Electrolyzer Modeling: Electrical Domain and Specific Electrolyte Conductivity. Energies 2022, 15, 3452.
- [6] D. Guilbert, G. Vitale, "Dynamic Emulation of a PEM Electrolyzer by Time Constant Based Exponential Model", Energies, vol. 12, 2019, 750.
- [7] Rahim, A.A.; Tijani, A.S.; Kamarudin, S.; Hanapi, S. An overview of polymer electrolyte membrane electrolyzer for hydrogen production: Modeling and mass transport. J. Power Sources 2016, 309, 56-65.
- [8] Lin, M.-Y.: Hourng, L.-W. Effects of magnetic field and pulse potential on hydrogen production via water electrolysis. Int. J. Energy Res. 2013, 38, 106–116.
- [9] Kim, J.-H.; Oh, C.-Y.; Kim, K.-R.; Lee, J.-P.; Kim, T.-J. Electrical Double Layer Mechanism Analysis of PEM Water Electrolysis for Frequency Limitation of Pulsed Currents. Energies 2021, 14, 7822.