

Simulink를 이용한 고분자 전해질 연료전지 시스템 시뮬레이션

황 남선¹⁾, 이 호준²⁾, 주 병수³⁾

Polymer Electrolyte Fuel Cell Simulation Using Simulink

Namsun Hwang, Hojun Lee, Byungsu Ju

Key words : Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell(고분자 전해질형 연료전지), Air cooled fuel cell system(공랭식 연료전지 시스템), Fuel cell stack(연료전지 스택), Air compressor(공기압축기)

Abstract : In this paper, a mathematical modeling was developed to simulate 1kW class air cooled Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell(PEMFC) system. The proposed modeling was conducted under SIMULINK based environment. The modeling was developed based on the thermodynamic and chemical equilibrium.

The objective is to design and implement the entire fuel cell system modeling including the system controller modeling. The fuel cell process and the control system modeling should have to be connected with each other simultaneously, therefore the two types of modeling influences each other when the system simulator run. The fuel cell modeling libraries are simulated using the SIMULINK under the thermodynamic and chemical equilibrium base. The PID controller application was designed and developed to test the process modeling and verify it. This is the prototype development of the fuel cell system to design and test more complicate fuel cell systems, like the residential power generation system.

The simulation results was compared to the real PEMFC system performance. We have achieved the reasonable accordance with the Lab test and the simulation results.

1. 서 론

화석 연료를 대체하여 새로운 에너지원으로서 전기 및 열을 동시에 생산할 수 있는 연료전지 시스템으로 고분자 전해질형 연료전지 시스템(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, PEMFC)기술이 사용된다. 연료전지 시스템은 화학 에너지를 전기 및 열에너지로 변환하는 장치이다. 생산된 전기는 전력변환장치를 통하여 가정에서 사용이 가능한 품질의 전력으로 변환되며, 열은 회수되어 급탕 등에 활용하거나 외부로 배출시킨다. 연료전지 시스템에 사용되는 연료는 천연가스, 수소 등의 청정연료를 사용하며, 배출되어 생성되는 반응물 역시 환경오염을 유발하는 물질이 거의 포함되어 있지 않기 때문에 친환경적인 에너지원으로 각광받고 있다. 연료전지 기술이 실용화되는 경우 에너지 자립도가 우리나라

에너지원의 일부를 담당하게 되므로써 국제 에너지 시장에 대한 민감도를 낮추고, 보다 안정적인 에너지 공급 구조를 갖추게 될 것으로 기대된다.

공랭식 연료전지 시스템은 가정 및 사무실 등에서 사용되는 에너지의 보조 전원류로 사용될 수 있으며, 순간적으로 발생할 수 있는 피크(peak)부하 수요를 담당하여 안정적이고, 환경 친화적인 에너지 시스템이다.

-
- 1) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : aoromast@hyosung.com
Tel : (02)707-4378 Fax : (02)707-4399
 - 2) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : gomax@hyosung.com
Tel : (02)707-4377 Fax : (02)707-4399
 - 3) (주)효성 중공업연구소 분산전원시스템팀
E-mail : ju.bs@hyosung.com
Tel : (02)707-4395 Fax : (02)707-4399

2. 시뮬레이터 구성

공랭식 계통연계형 시스템의 모델링 구성을 위한 기본적인 모델링 구성은 다음과 같다. 연료전지 시스템 발전의 주요 부분인 스택 모델링 구성 완료 후 이를 실제 연료전지 스택의 성능과 비교하여 검증한다.

2.1 기본 모델링

연료전지 시스템의 기본적인 반응은 Fig 1과 같으며 사용 연료는 천연가스 개질기(reformer)를 사용하여 개질된 연료를 사용한다. 개질기 구성이 용이하지 않은 경우 직접 수소 방식의 연료전지 스택을 적용하여 직접수소공급 방식의 연료전지 시스템을 구성할 수 있다.

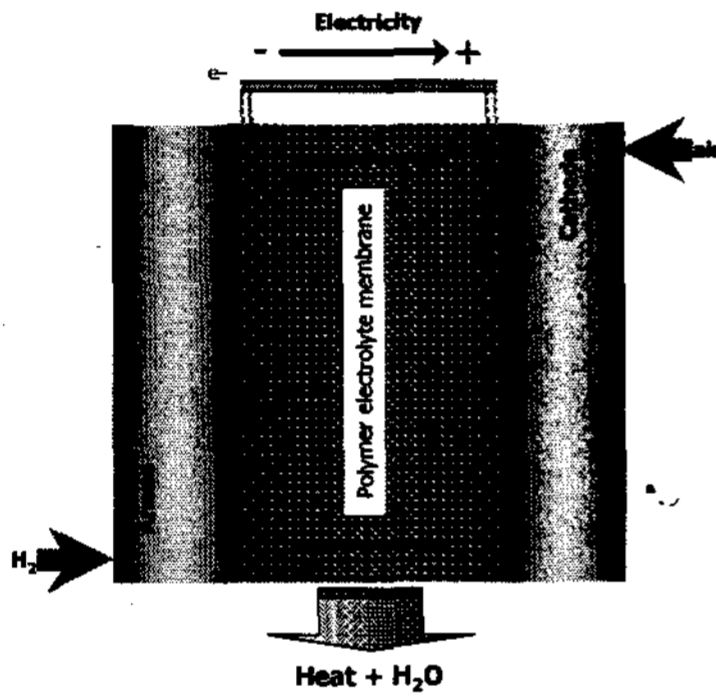


Fig 1. General fuel cell stack reaction

연료전지 시뮬레이션의 모델링은 Fig 2와 같이 연료전지를 이루는 각 구성품의 단위 프로세스 모델링을 수행하여 각 모델링이 실제 시스템의 운전 거동을 모사하는지 검증하는 작업이 필요하다. 이때 발생하는 입출력 데이터 포트를 별도로 구성하여 시스템 각 부분의 모사가 가능한 모델링으로 구조를 꾸민다. 동시에 프로세스 모델링과 연계하기 위한 시스템 제어 모델링을 구성하여 연료전지 시스템의 거동에 필요한 입출력 제어기를 구성한다. 이때 소요되는 입출력 포트 역시 별도로 구성하도록 한다. 최종적으로 프로세스 모델링과 제어 모델링 입출력 포트를 상호 연결하여 하나의 독립적인 시스템을 모사할 수 있는 시뮬레이션 모델링을 구성한다.⁽¹⁾

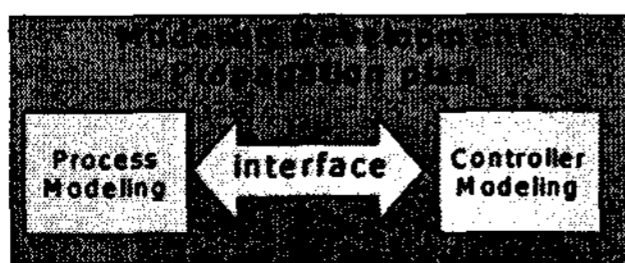


Fig 2. Modeling Propagation plan

2.2 시스템 시뮬레이션 구성

공랭식 계통연계형 연료전지 시스템은 직접수소 방식의 1kW급 PEMFC 연료전지 스택을 적용하였다. 시스템을 구성하는 주요 구성품으로는 스택 및 냉각팬, 공기공급장치, 가습기, 전력변환기(PCS)이며 기타 배관/밸브를 구성하는 부품으로 구성되어 있다. (Fig 3)

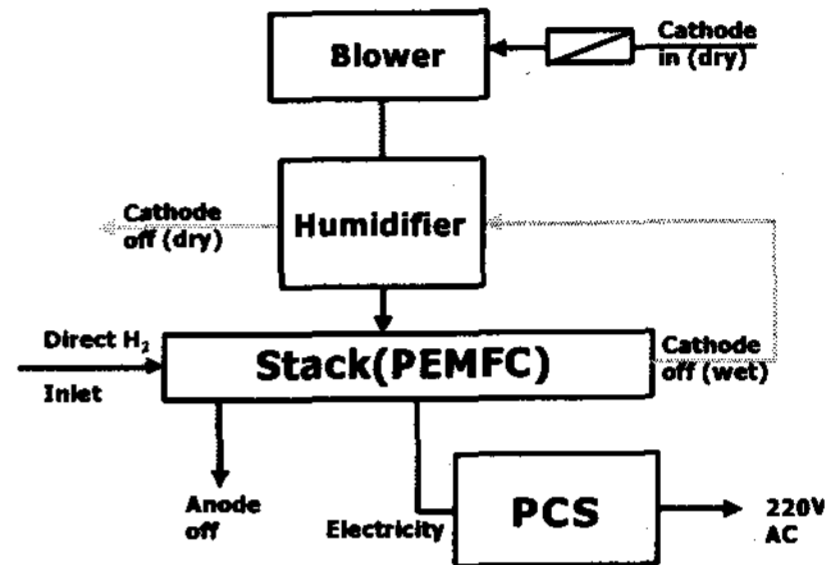
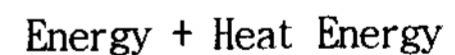
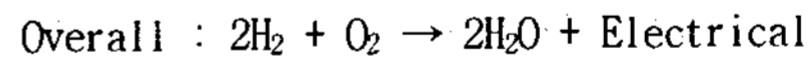
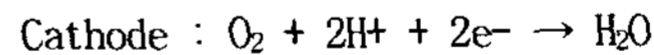
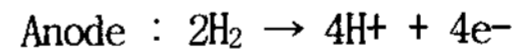


Fig 3. Air cooled fuel cell system schematics

공랭식 시스템의 시뮬레이션 모델링 데이터의 입출력을 위해 excelink를 사용하였으며, 모델링은 Mathworks사의 MATLAB/Simulink를 사용하여 구성하였다.

2.3 스택

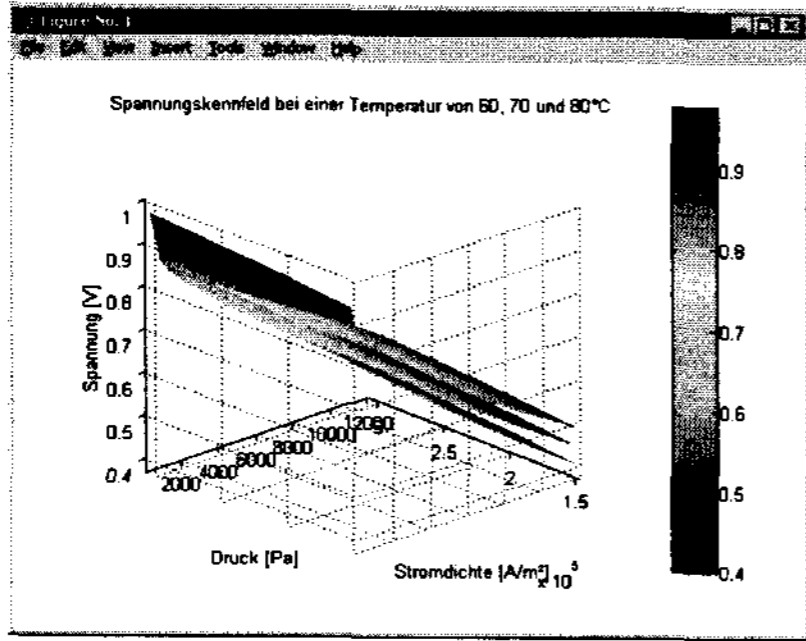
스택의 양극단(anode)과 음극단(cathode)단에서 일어나는 반응은 아래와 같으며 simulink를 이용하여 이때 발생하는 반응 및 열을 열역학 및 화학적 평형을 고려하여 모델링을 구성한다.⁽²⁾



연료전지 시뮬레이션의 핵심 모델링인 스택의 모델링을 위해 다음과 같이 excelink를 사용하여 연료전지 시스템의 거동을 모사하기 위한 기본 성능 자료를 입력한 후 개별 모델링 운전 성능을 검증한다.(Fig 4)⁽³⁾

Hydrogen conversion rate	[-]		0.80
Temperature of anode offgas	[K]		338.00
Number of Cells	[-]		52
Cell voltage (ideal)	[V]		1.15
Heat transfer coefficient for heat loss	[W / m ² K]		1.00
Total surface	[m ²]		0.30
Surface temperature	[K]		780.00
Active membrane area	[m ²]		0.20
Maximum current density	[A / m ²]		0.000165
Maximum voltage	[V]		60.00
Max. temperature feedgas in (Reformer)	[K]		330.00
Min. temperature feedgas in (Reformer)	[K]		328.17

(a) Excelink data sheet



(b) Stack V-I performance (3D position)

Fig 4. Simple stack modeling input

2.4 공기공급장치(Air supplying)

공랭식 계통연계형 연료전지 시스템의 공기공급장치의 성능을 모사하기 위해 1차적으로 공기압축기의 성능 시험을 수행하였으며, 수행 결과를 바탕으로 이를 Simulink 내 압축기 모델링의 운전성능 자료로 입력하였다.(Fig 5)

	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.05	
0.012	1.10	1.20	1.30	1.45	1.68	1.95	2.38	2.77	3.27
0.015	1.09	1.20	1.30	1.44	1.68	1.96	2.36	2.76	3.27
0.01875	1.08	1.18	1.30	1.44	1.68	1.96	2.36	2.76	3.27
0.0225	1.08	1.15	1.30	1.44	1.67	1.96	2.36	2.76	3.27
0.02625	1.08	1.10	1.29	1.44	1.67	1.96	2.36	2.76	3.26
0.0278	1.08	1.10	1.28	1.44	1.67	1.96	2.36	2.76	3.26
0.03	1.08	1.10	1.28	1.43	1.67	1.95	2.36	2.76	3.26
0.031875	1.08	1.10	1.27	1.43	1.67	1.95	2.36	2.76	3.26
0.03375	1.07	1.10	1.26	1.41	1.66	1.95	2.36	2.76	3.26
0.0375	1.07	1.10	1.26	1.39	1.64	1.95	2.35	2.76	3.26
0.039375	1.07	1.09	1.26	1.37	1.64	1.95	2.35	2.76	3.26
0.04125	1.07	1.09	1.26	1.35	1.59	1.93	2.35	2.75	3.26
0.045	1.07	1.09	1.26	1.28	1.55	1.90	2.35	2.75	3.26
0.04875	1.07	1.09	1.26	1.28	1.50	1.85	2.35	2.75	3.26
0.0525	1.07	1.09	1.19	1.28	1.49	1.80	2.33	2.75	3.25
0.05625	1.07	1.09	1.19	1.28	1.40	1.75	2.30	2.75	3.25
0.06	1.07	1.09	1.19	1.28	1.40	1.62	2.29	2.75	3.25
0.061875	1.07	1.09	1.19	1.28	1.40	1.50	2.23	2.74	3.25
0.066	1.06	1.09	1.19	1.27	1.40	1.50	2.22	2.74	3.25
0.0675	1.06	1.09	1.19	1.27	1.40	1.50	2.10	2.70	3.24
0.07125	1.06	1.09	1.19	1.27	1.39	1.50	1.85	2.60	3.20
0.073125	1.06	1.09	1.19	1.27	1.39	1.50	1.68	2.50	3.18
0.08	1.06	1.08	1.19	1.27	1.38	1.50	1.65	2.35	3.15
0.0855	1.06	1.08	1.19	1.27	1.38	1.49	1.65	1.80	3.12
0.08825	1.06	1.08	1.18	1.27	1.39	1.49	1.65	1.80	3.05
0.09	1.06	1.08	1.18	1.27	1.39	1.49	1.65	1.80	2.85
0.0915	1.06	1.08	1.18	1.27	1.39	1.49	1.65	1.80	2.80

Fig 5. Air supplier performance data input

3. 시뮬레이션 결과

3.1 스택 시뮬레이션

1400W 출력의 연료전지 스택의 성능 모사의 결과는 Fig 6과 같다.

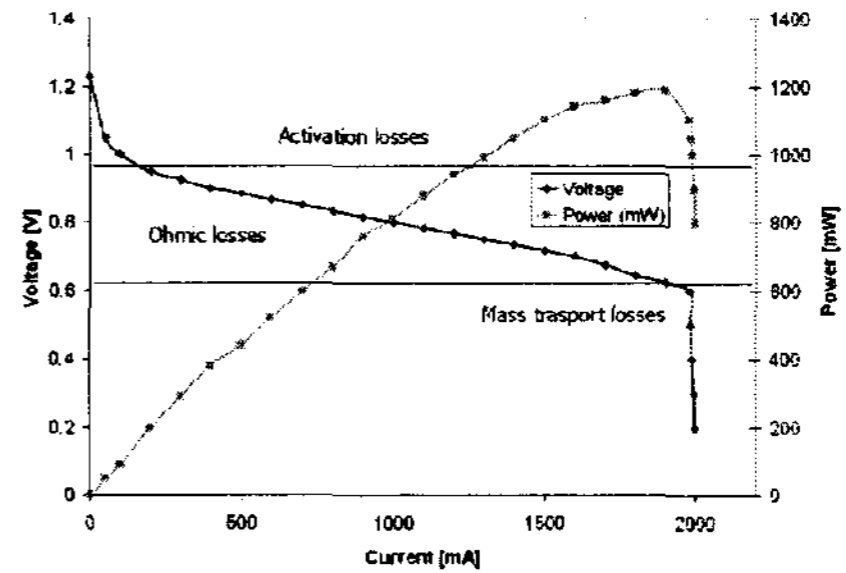


Fig 6. Stack modeling results (1400 W)

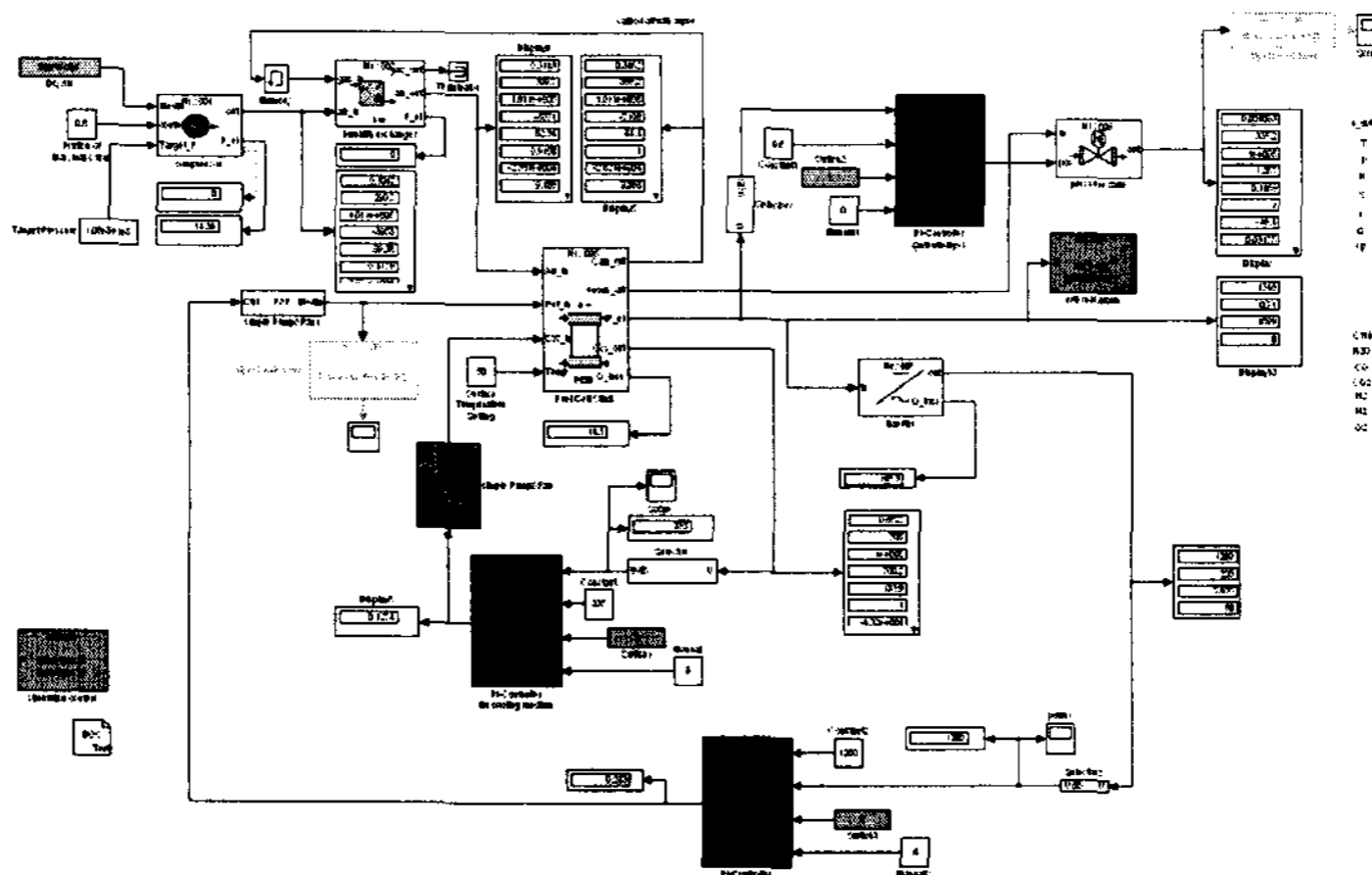


Fig 7. Air cooled fuel cell system modeling example

스택의 성능은 excelink를 통해 입력하며 실제 운전시의 반응은 열역학 및 화학적 평형을 고려한 반응식을 통해 계산된다.

3.2 시스템 시뮬레이션

Fig 7과 같이 공랭식 계통연계형 시스템의 시뮬레이션을 위해 Simulink를 사용하여 연료전지 시스템 모델링을 구성하였다. 주요 구성부분은 공기공급용 압축기, 스택, 연료공급 컨트롤러, 스택 냉각공기 공급 블로워, PCS 등의 모델링으로 구성되어 있다.

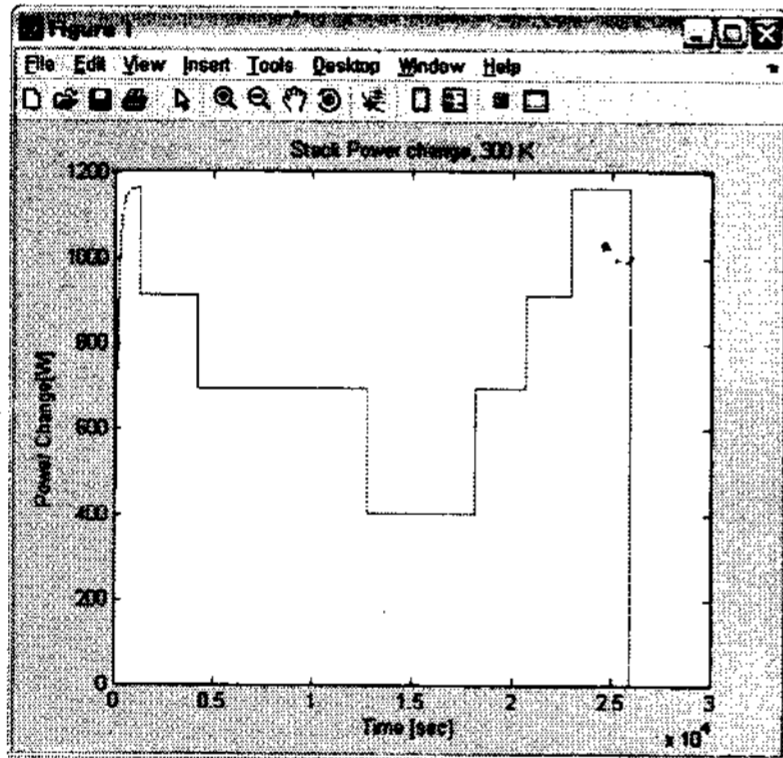
연료전지 프로세스 및 컨트롤러 모델링을 통해 구성된 공랭식 연료전지 시스템의 운전 특성 시뮬레이션 결과는 Fig 8(a)와 같다. 실제 시스템을 구성하여 운전한 연료전지 시스템 운전 특성은 Fig 8(b)와 같으며, 시뮬레이션 결과와 실 운전 특성을 비교한 결과 약 10% 이하의 오차값에서 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

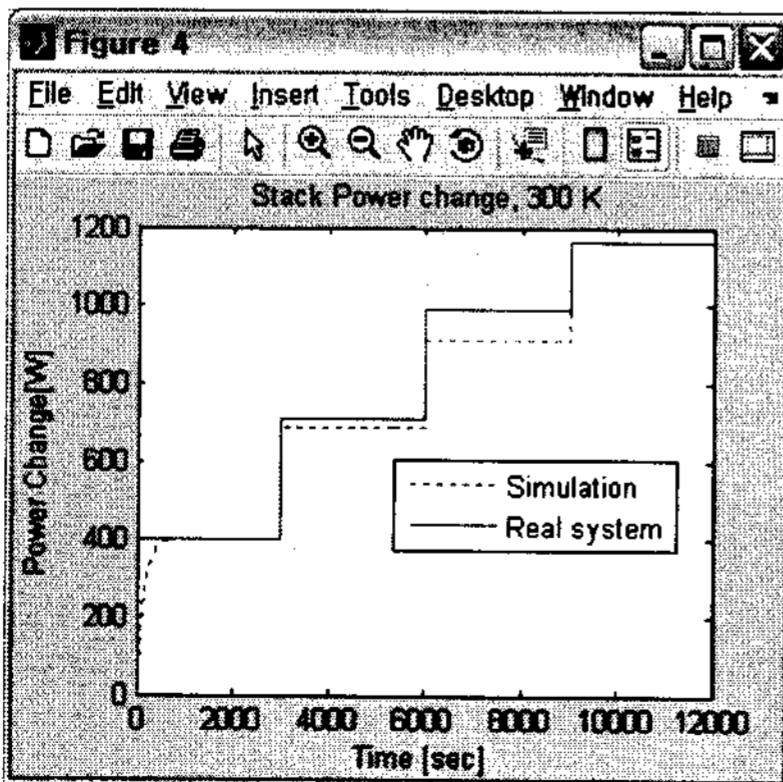
시스템 제작 단계에서 구성비용을 절감하고 공수를 줄이기 위해서 시스템의 시뮬레이션 수행을 통해 다양한 prototype에 대해 미리 성능을 검증하고 적절한 시스템 구성요소를 미리 선정하는 것이 중요하다. 그러나 실제 시스템을 정확하게 모사하는지 검증하는 절차가 반드시 선행되어야 한다.

Simulink를 적용하여 개발한 연료전지 시스템 시뮬레이터의 결과를 당사 개발한 공랭식 계통연계 시스템의 운전 특성과 비교한 결과 약 10%이하의 오차범위 내에서 근사적으로 일치하였다.

향후 프로세스 모델링 및 컨트롤러 모델링 개선을 통해 오차를 5%이하로 줄일 계획이며 Simulink를 활용한 연료전지 시뮬레이터를 활용하여 가정용 연료전지 시스템 개발의 prototype 및 시스템 최적 구성에 활용하고자 한다.



(a) Simulation results : load variation test



(b) Load variation of simulation results and real system

Fig 8. Compare to simulation results with real system operating results

References

- [1] EUTECH Scientific Engineering GmbH, "FClib" - Simulink Fuel Cell Library, 2005
- [2] J. Larminie, A. Dicks, "Fuel Cell Systems Explained", John Wiley & Sons.
- [3] Jim Ledin, Mike Dickens, Jay Sharp, 2003, "Single modelling environment for constructing high-fidelity plant and controller models", AIAA, 2003