

퍼지 논리를 이용한 연료전지/축전지 하이브리드 시스템의 운전제어

정귀성[†], 이원용, 김창수
한국에너지기술연구원 저온연료전지연구센터

Energy management strategies of a fuel cell/battery hybrid system using fuzzy logics

Kwi-Seong Jeong[†], Won-Yong Lee, Chang-Soo Kim
Fuel Cell Research Center, Korea Institute of Energy Research,
Daejeon 305-343, South Korea

ABSTRACT

Hybrid power systems with fuel cells and batteries have the potential to improve the operation efficiency and dynamic response. A proper load management strategy is important to better system efficiency and endurance in hybrid systems. In this paper, a fuzzy logic algorithm has been used to determine the fuel cell output power depending on the external required power and the battery state of charge(SoC). If the required power of the hybrid system is small and the SoC is small, then the greater part of the fuel cell power is used to charge the battery pack. If the required power is relatively big and the SoC is big, then fuel cell and battery are concurrently used to supply the required power. These IF-THEN operation rules are implemented by fuzzy logic for the energy management system of hybrid system. The strategy is evaluated by simulation. The results show that fuzzy logic can be effectively used to optimize the operational efficiency of hybrid system and to maintain the battery SoC properly.

주요기술용어 : Fuel cell(연료전지), Battery(축전지), Hybrid(하이브리드), Fuzzy control(퍼지 제어)

1. 서론

연료전지는 축전지와 달리 외부에서 연료

가 공급되면 계속적으로 전기를 발생시키는 전원 장치로 기존의 발전 설비에 비해 연료변환 효율이 높은 장점이 있다. 그러나 연료전지 자체의 전기 화학 반응 시간은 매우 빠르지만 반응가스 공급 장치를 포함한 외부 주변기기의 특성에 따라 지연시간이 발생하여 전체 시스템 측면에서는 전기

[†] Corresponding author : ksjeong@kire.re.kr

부하 변화만큼 신속히 변화하지 못하는 단점이 있다. 따라서 반응이 비교적 빠른 축전지와 복합적으로 사용할 경우에는 축전지에 의해 외부 부하 변동을 신속하게 대응할 수 있으며, 동시에 외부에서 축전지의 충전없이 연료전지에 의해 장시간 운전 할 수 있는 장점이 있다. 또한 연료전지 시스템은 부하가 높을 때 효율이 낮아지는 단점이 있는데 축전지와 하이브리드 시스템을 구성하는 경우 높은 부하영역에서 축전지가 전력을 분담함으로써 효율이 높은 영역에서의 연료전지 운전이 가능하다. 무정전 전원장치나 독립 운전 연료전지의 경우 순간적인 최고 요구부하를 만족시키기 위해서는 연료전지의 용량이 커져야 하는데 하이브리드 시스템을 구성할 경우 일반적인 기준 부하 요구량의 범위는 연료전지가 담당하고 부하 요구량이 아주 높은 경우와 빠른 부하 요구를 축전지가 담당하도록 함으로써 연료전지의 규모를 작게 할 수 있으며 연료전지의 부하제어를 간이화시킬 수 있는 장점이 있다.^{1,2,3)}

연료전지/축전지 하이브리드 시스템의 경우 축전지를 통한 빠른 충전과 방전을 위해서는 축전지의 충-방전 전류가 커야 한다. 이를 위해 충전시에는 높은 전압이 필요하며, 방전에도 축전지의 내부 저항증가에 의해 단자전압의 하락폭이 증가하게 되어 충-방전의 효율이 감소하게 되며,

동시에 수명도 단축된다. 축전지의 성능과 수명을 향상시키기 위해서는 충방전시의 전류 조절이 필요하다. 따라서 연료전지 하이브리드 시스템의 경우 축전지의 상태에 따라 충전 전류를 조절해야 하며, 또한 외부 부하에 따라 최적으로 연료전지와 축전지의 부하를 분담시킬 필요가 있다. 이를 위한 적절한 제어 방식이 필요하다.

본 연구는 측정된 외부부하와 축전지의 충전 상태를 입력으로 하여 퍼지 논리를 이용하여 연료전지의 출력을 산출하였으며, 이 결과를 이용하여 연료전지와 축전지의 부하 분담 비율을 결정하였다. 그리고 제안된 퍼지 제어기의 성능을 확인하기 위하여 구성 요소 및 하이브리드 시스템에 대한 에너지 손실 및 효율에 대한 해석을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해 필요한 주요 구성요소의 모델식을 위하여 각 부품의 실험을 통해 특성식을 유도하였다. 부품의 특성식과 본 연구의 퍼지 제어기가 연계된 전체 하이브리드 시스템을 해석하여 운전제어 방식의 성능을 검증하였다.

2. 연료전지 축전지 하이브리드 시스템의 구성

Fig. 1은 퍼지 로직 제어기가 포함된 연료전지 하이브리드 시스템의 구성도이다. 하이브리드 시스템은 연료전지, 퍼지 논리 제어기, 전력 변환기, 축전지관리 시스템(BMS)와 축전지 등으로 구성된다. DC/DC 컨버터는 연료전지의 출력 조건에 관계없이 전압을 유지하고, 연료전지의 출력전류를 조절한다. 축전지 관리 시스템(BMS)은 축전지의 전류, 전압과 온도를 계측하여 축전지의 충전상태를 파악한다. 퍼지 논리제어기는 축전지의 충전상태(SoC)와 외부 부하를 기준으로 연료전지에 연계된 DC/DC 컨버터의 출력을 조절한다. 본 연구에서 사용한 주요 부품의 재원을 Table 1에 정리하였다.

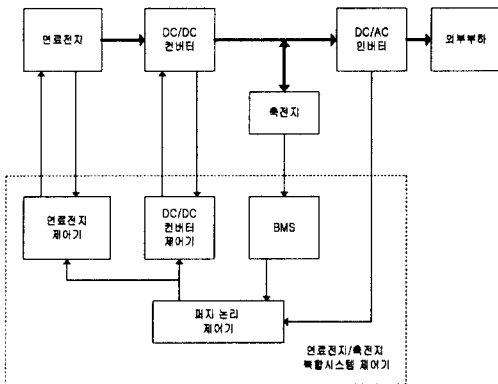


Fig. 1 Configuration of the hybrid system

2.1 연료전지 및 전력 변환기

Table 1. Specifications of the hybrid system

Fuel cell system					
Model	No. of cell	operating range	Rated voltage	Rated current	Rated power
Nexa	48	22-50V	26V	46A	1.2kW
Battery					
Type	Capacity	No. of Module	Nominal voltage		
Lead-acid	100Ah/10hr	4	48V		
DC/DC converter					
Input voltage	Output voltage	Input current	Max. output current		
22-58	40-60V	0-100A	96		
DC/AC inverter					
Continuous power	Input voltage	Output voltage	Max input current	Max output current	
3000W	42-68V	220V/60Hz	197A	41A	

본 연구에서는 전극면적 100cm², 48개의 셀로 구성된 ballard사의 Nexa 시스템의 실험 결과를 이용하였다.

Fig. 2는 연료전지시스템의 출력특성을 나타낸 것이다. 연료전지의 최대 출력은 1.4kW이고, 연료전지를 운전하기 위한 보조 동력으로 사용되는 전력을 제외한 연료전지 시스템의 최대 출력은 1.2kw이다.

Fig. 3은 DC/DC 컨버터의 출력에 따른 연료전지 시스템의 효율과 공급된 연료의 에너지에 대한 연료전지시스템 ($\eta_{fc, \neq t}$)의 효율과 DC/DC 컨버터의 효율($\eta_{dc, out}$)을 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 사용하기 위해 식(1)과 식(2)와 같은 특성식을 사용하였다.

$$P_{fuel} = \dot{m}_{H_2} \times HHV = a + bP_{dc} + cP_{dc}^2 + dP_{dc}^3 + eP_{dc}^4 + fP_{dc}^5$$

$$\eta_{dc, out} = \frac{P_{dc}}{P_{fuel}}$$

(1)

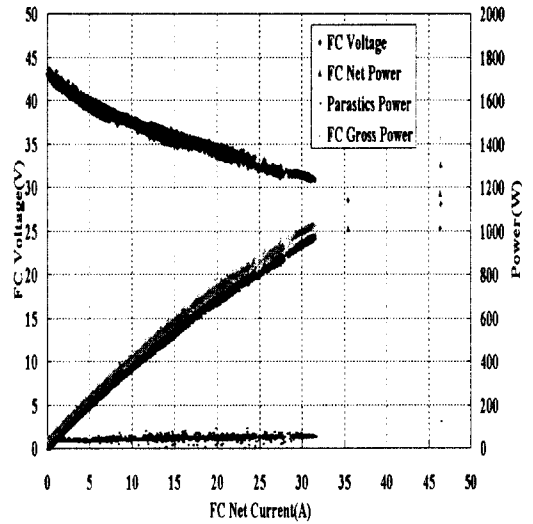


Fig. 2. Fuel cell system characteristics

$$P_{fc, \neq t} = a + bP_{dc} + cP_{dc}^2 + dP_{dc}^3 + eP_{dc}^4 + fP_{dc}^5$$

$$\eta_{fc, \neq t} = \frac{P_{fc, \neq t}}{P_{fuel}} \quad (2)$$

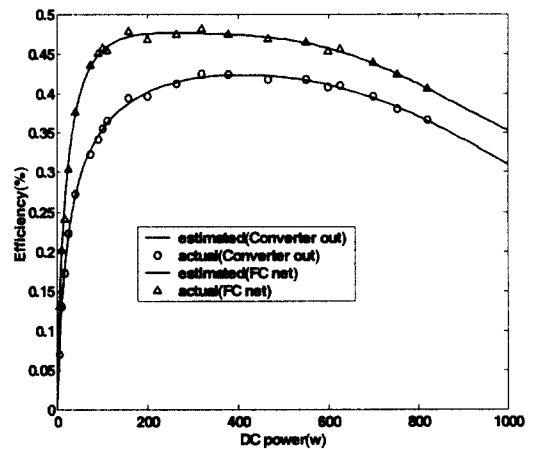


Fig. 3. Fuel cell system net efficiency and DC/DC converter efficiency

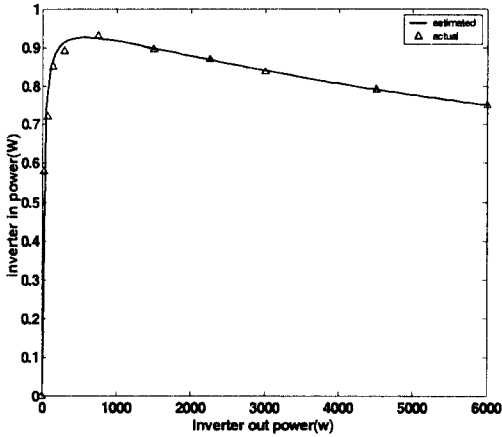


Fig. 4. DC/AC inverter efficiency

Fig. 4는 외부 부하에 따른 DC/AC 인버터의 효율을 나타낸 것이다. 최대 효율은 750W일 때 93%이다. 성능 해석을 위해서는 Fig. 4의 특성을 식(3)의 회귀식으로 유도하여 사용하였다.

$$P_{inv,i} = a + bP_{inv,o} + cP_{inv,o}^2 + dP_{inv,o}^3$$

$$\eta_{inv} = \frac{P_{inv,o}}{P_{inv,i}} \quad (3)$$

Table 2는 식(1), 식(2) 및 식(3)에 사용된 계수들이다.

2.2 축전지

축전지는 하이브리드 시스템을 구성하기 위하여 100Ah급 연축전지 4개를 직렬로 연결하여 사용하였다.

Purkert의 축전지 용량에 관계식을 기본으로 하여 축전지의 충방전 실험을 하여 얻은 자료를 이용하여 식(4)와 같은 축전지의 방전전류에 따른 축전지의 용량관계를 식으로 나타낸 것이다⁴⁾.

Table 2. Constant for equation

	FC net (1)	Fuel (2)	DC/AC inverter (3)
a	1.3322	61.641	19.498
b	1.426	2.2546	1.0103
c	-0.002023	-0.0006246	6.3351e-5
d	4.8659e-6	1.596e-6	-1.6752e-9
e	-5.1924e-9	-1.3181e-9	
f	2.0635e-12	1.2604e-12	

$$C_i = 119.8 * I^{-0.0872} + 74.646 * I - 0.12235 * I \quad (4)$$

축전지 충전상태(SoC)의 계산은 다음과 같이 충전시와 방전시의 용량 및 충전량 관계를 고려하여 계산하였다.

i) 방전시

단위 시간당의 전류의 크기를 알면, 그 순간의 SoC의 변화량을 구할 수 있다

$$\Delta SoC = -\frac{\Delta C_i}{C_i} = -\frac{I_i \cdot \Delta t}{3600 C_i} \quad (5)$$

여기서 축전지 용량 C_i 는 온도와 방전 전류의 함수로 표시되는 축전지의 용량이며 식(4)에 의해 계산된 값이다.

ii) 충전시

축전지 충전시 충전량의 변화는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다

$$\Delta SoC = \frac{\Delta C}{C_{ref}} = \frac{\alpha \cdot I_i \cdot \Delta t}{3600 C_{ref}} \quad (6)$$

여기서 α 는 Table 3의 SoC, 전류에 따른 충

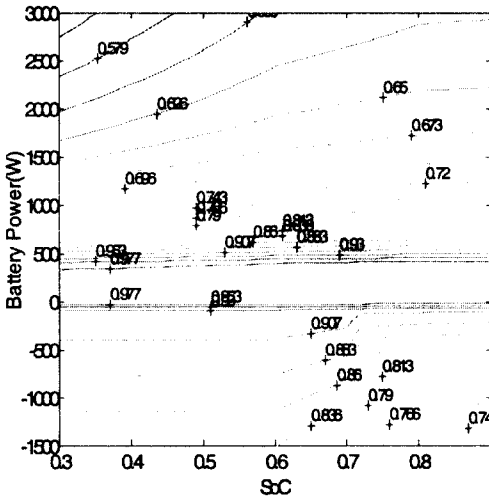


Fig. 5. Efficiency map of battery

전계수로 실험적으로 구한 값이며, C_{ref} 는 20℃, 0.1C(?)에서의 축전지 용량이다.

특정 시간 t 에서 SoC는 다음과 같다.

$$SoC = SoC_{initial} + \int_0^t \Delta SoC dt \quad (7)$$

축전지의 충전량이 높은 경우 충전저항은 증가하고 방전 저항은 감소한다. 반면 충전량이 낮은 경우 방전저항이 증가하고 충전 저항은 감소한다.

Fig. 5는 축전지의 충-방전시의 축전지 내부 저항에 의한 에너지 손실과 충전전류에 따른 충전량의 손실을 고려한 효율을 나타낸 것이다. 충전

Table 3. Battery charge capacity constant

SoC	Current	α
0~70%	0.1C	0.98
	1C	0.77
71~90%	0.1C	0.93
	1C	0.72
91~96%	0.1C	0.9
	1C	0.7
96~100%	0.1C	0.88
	1C	0.66

Table 4. Rule base of fuzzy logic controller

- IF SoC is low THEN DC/DC converter is high.
- IF SoC is medium and power demand is low THEN DC/DC converter power is medium
- IF SoC is high and power demand is low THEN DC/DC converter power is low
- IF SoC is high and power demand is medium THEN DC/DC converter power is medium
- IF power demand is high THEN DC/DC converter power is high

지의 전류가 낮고, 충전시는 SoC가 낮을 때, 방전 시에는 SoC가 높을 때 축전지의 효율은 높게 나타난다.

3. 연료전지 하이브리드 시스템의 효율

일반적인 동력 시스템의 효율은 입력에너지에 대한 유용하게 사용된 에너지의 비율로 계산된다. 연료전지 하이브리드 시스템의 효율(η_{sys})은 방전시와 충전시 및 축전지가 작동하지 않는 세 가지 모드로 구분하여 정의하였다.

i) 축전지 방전모드

$$\eta_{sys,1} = \frac{W_{ac}}{\dot{m}_{H_2} \times HHV + W_E}$$

$$W_E = \frac{V_{bat,d} \times I_{bat,d}}{\eta_{c,mean} \times \eta_{discharge}} \quad (8)$$

$$\eta_{c,mean} = \frac{\sum_c (\eta_{charge} \times V_{bat,c} \times I_{bat,c} \times t)}{\sum_c (V_{bat,c} \times I_{bat,c} \times t) / \eta_{dc,out}}$$

ii) 축전지 충전모드

$$\eta_{sys,2} = \frac{W_{ac} - W_L}{\dot{m}_{H_2} \times HHV}$$

$$W_L = V_{bat,c} \times I_{bat,c} \times \eta_{charge} \quad (9)$$

iii) 연료전지만의 작동모드

$$\eta_{sys,3} = \frac{W_{ac}}{\dot{m}_{H_2} \times HHV} \quad (10)$$

여기에서 W_{ac} 는 최종 부하단의 교류 출력 전력이며 식(8)에서 W_E 는 축전지에서 방전되는 전력이다. $V_{bat,d}$ 는 방전 할 때 축전지의 단자 전압, $I_{bat,d}$ 는 방전 할 때의 전류이다. $\eta_{discharge}$ 는 축전지의 방전효율이다. 식(9)에서 W_L 는 연료전지에서 축전지로 충전되는 전력이다. $V_{bat,c}$ 는 충전 할 때 축전지의 단자 전압, $I_{bat,c}$ 는 충전 할 때의 전류이다. η_{charge} 는 축전지의 충전효율이다.

축전지의 방전효율은 연료전지의 효율에 비하여 상대적으로 높다. 따라서 충전시의 연료전지의 효율을 고려하지 않고 효율을 표현하면 축전지의 출력 비중이 높을 경우 연료전지 시스템의 최대 효율보다 높게 하이브리드 시스템의 효율이 계산 되는 경우가 있다. 그러므로 하이브리드 시스템이

효율의 계산은 연료전지에 의한 충전시의 충전효율을 고려하는 것이 필요하다. 식(8)은 축전지 충전시의 평균적인 효율을 고려하였다. 여기서 축전지 충전시의 평균적인 효율 ($\eta_{c,mean}$)은 하이브리드 시스템의 사이클 운전시, 축전지가 충전상태일 때 연료전지로부터 축전지를 충전하기 위해 소모된 연료의 에너지에 대한 축전지에 충전된 전체에너지의 비이다. 축전지의 평균적인 충전효율은 운전 조건 및 부하 분담의 방법에 따라 변한다. 축전지의 충전평균 효율상수는 사이클 해석결과를 기본으로 하여 38%라 가정하고 계산하였다.

Fig. 6은 축전지의 충전량과 외부부하에 따른 하이브리드 효율식의 결과가 최대가 되는 DC/DC 컨버터의 출력을 나타낸 것이다. Fig. 7은 이 때의 효율을 나타낸 것이다. 축전지의 SoC가 0.65이고, 외부 부하가 0일 때 하이브리드 시스템의 효율이 최대가 되는 DC/DC 컨버터의 출력은 350W이고, 외부부하가 3000일 때는 1000W였다. 축전지의 SoC가 0.65일 때, 외부 부하가 0과 최대일 때 하이브리드 시스템의 효율이 최대가 되는 DC/DC 컨버터출력을 퍼지 제어기 출력결정의 기준 값으로 활용하였다.

연료전지 하이브리드 시스템의 효율은 축전지의 충-방전 경로에 따라 달라질 수 있다. 연료전

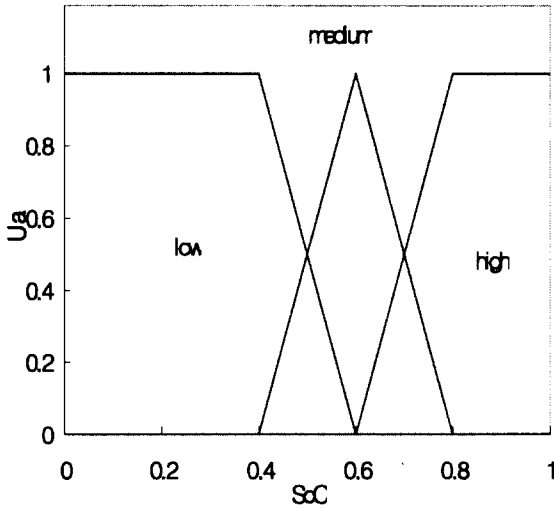


Fig. 8. Input(SoC) membership function

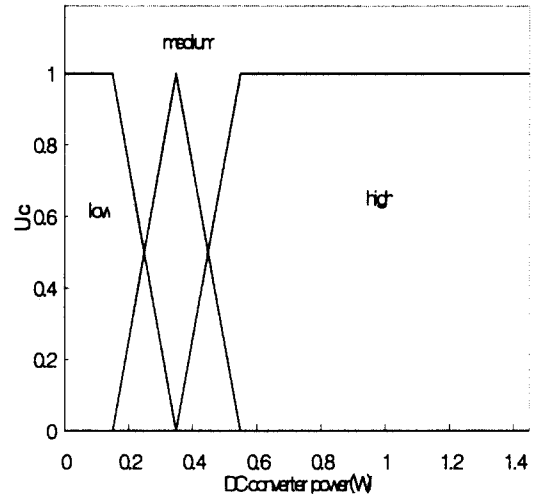


Fig. 10. Output membership function

지만으로 운전되는 시스템의 경우 외부의 동력 요구량에 연동되어 단순하게 연료전지의 출력이 결정된다. 그러나 축전지를 포함하는 하이브리드 시스템으로 구성하는 경우 연료전지의 출력은 축전지와와 부하 분담에 따라 달라질 수 있다. 시스템 효율은 운전 측면에서 현 상태만을 고려한 순시적인 효율과 운전 구간을 고려한 전체적인 싸이클 효율을 고려할 수 있다. 순시 효율이 가장

높은 부하 분담을 선택할 경우 축전지의 충전 상태의 유지가 문제가 될 수 있으며 연속적인 운전이 불가능할 수 있다. 즉 하이브리드 시스템의 효율이 최대인 점만을 선택하여 운전하는 경우 축전지의 방전되어 기준 충전량 이하로 내려가거나 과충전이 되면, 최대의 시스템 효율 상태로 운전은 불가능하게 될 수 있다. 반대로 축전지의 충전 상태를 유지하기 위한 운전이 지배적일 경우 효율적인 운전의 관점은 배제될 수 있다. 그러므로 축전지의 충전상태(SoC) 유지와 효율적인 운전을 위한 부하의 제어 방법이 필요하다. 이를 위해 퍼지 논리 제어를 사용하였다.

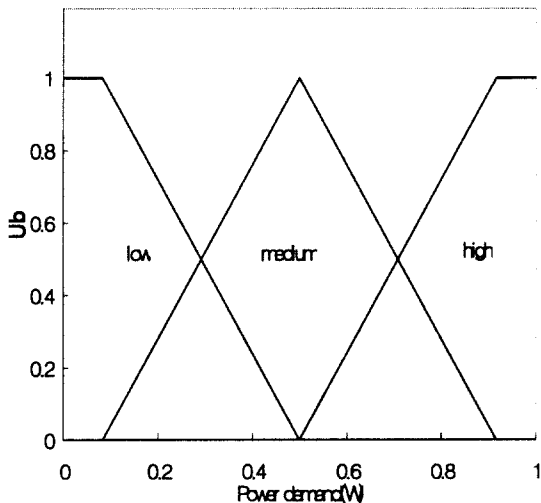


Fig. 9. Input(power demand) membership function

4. 퍼지 논리 제어

퍼지제어기는 수치적 입력, 퍼지 언어 변환(퍼지화기), 규칙 추론 및 퍼지 언어 출력(퍼지 추론장치), 그리고 수치적 출력 변환(비퍼지화기)의 단계로 구성된다. 이런 일련의 단계를 거쳐 연료전지와 축전지의 부하 분담값이 계산된다. 언어적 추론을 하기 위해 퍼지 룰베이스가 이용되며, 룰베이스는 연료전지 하이브리드 시스템을 최적으로 운전하기 위한 사용된 제어규칙이다. 2개의 입

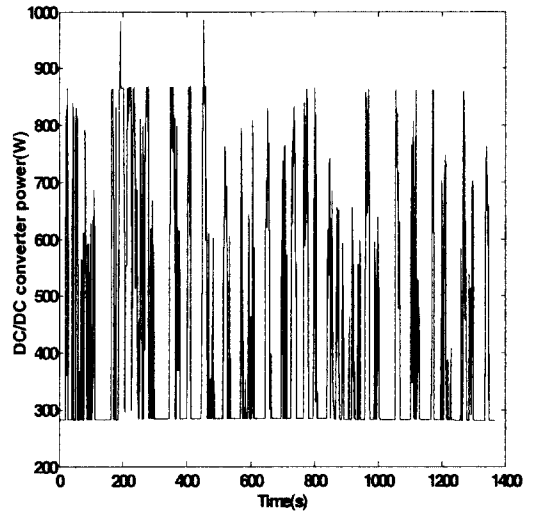


Fig. 13. Simulation result of DC/DC converter power

력값(외부부하와 축전지 충전상태)에 따라 하나의 출력 조건(연료전지의 출력)을 결정하는 규칙이 룰베이스로 이용된다.

퍼지화기에서 외부 부하값과 축전지 충전상태가 수치적인 값으로 입력되면, 추론장치에 의해 "크다(high)", "낮다(low)"등의 언어적 퍼지 변수로 변환된다. 이렇게 변환된 언어적 입력으로부터 추론장치는 다시 언어적 퍼지 제어 변수를 발생

시키고, 이 퍼지 제어 변수는 직접 제어 변수로 사용될 수 없기 때문에 비퍼지화 과정에서 다시 연료전지의 부하를 제어하기 위한 수치적인 제어 변수로 변환된다.

퍼지논리 제어기는 룰베이스에 대응되는 2개의 입력과 한 개의 출력을 가지고 있다. 축전지의 SoC와 외부 부하가 퍼지논리 제어기의 입력이다. 축전지 SoC와 외부 부하는 퍼지화기에서 퍼지수

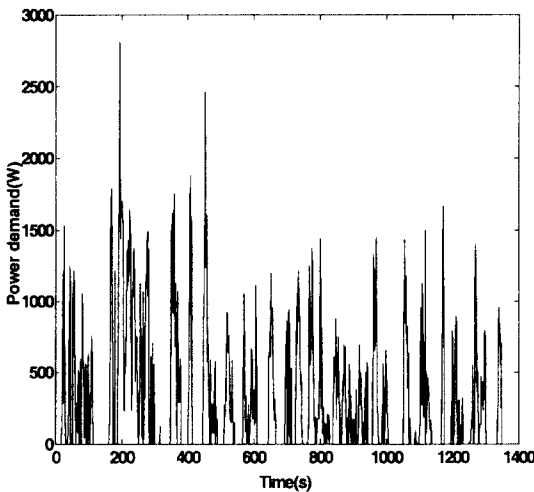


Fig. 12. AC electricity demand for simulation

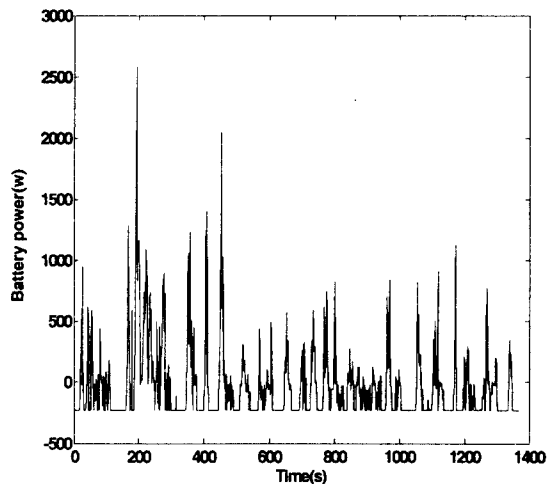


Fig. 14. Simulation result of battery power

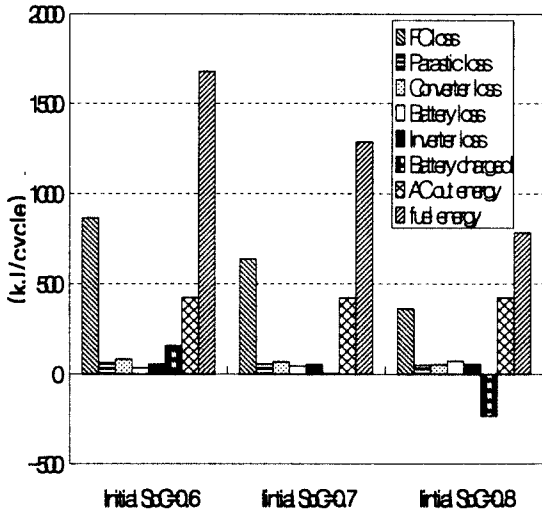
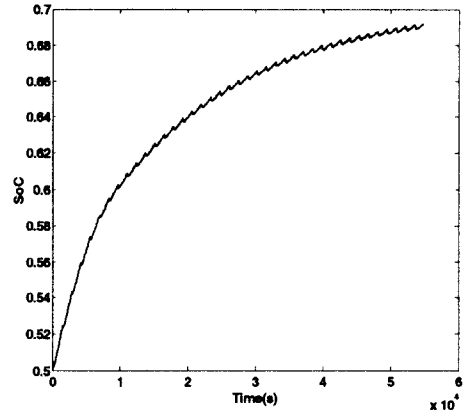


Fig. 15. Total fuel usage and primary energy

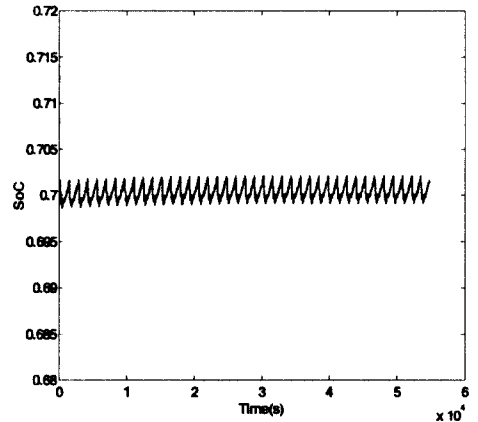
로 변환되어 퍼지 추론장치로 입력된다.

퍼지 추론장치 설정된 퍼지 룰베이스와 Fig. 8과 Fig. 9에 의해 계산된 2개의 입력 변수에 의해 언어적 출력이 결정되며, Fig. 10의 출력 퍼지 소속 함수를 이용하여 최종 퍼지논리 제어기의 출력이 결정된다. DC/DC 컨버터의 출력을 퍼지논리 제어기의 출력으로 하였는데, 연료전지는 DC/DC 컨버터와 직접연결되어 있어 연료전지의 출력은 DC/DC 컨버터의 출력으로 결정된다. 퍼지 추론은 Max-min, 비퍼지화 방법으로는 무게 중심법(center of gravity)을 사용하였다.

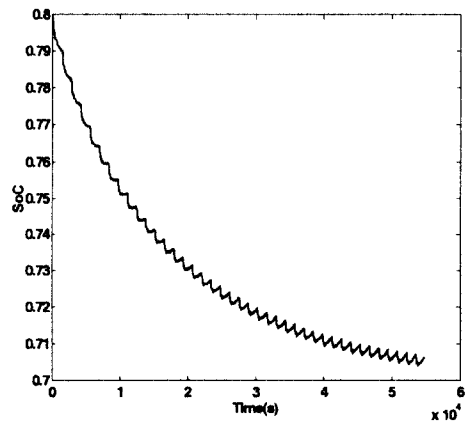
연료전지 하이브리드 시스템에서 외부부하의 요구 조건을 만족하고 축전지의 충전 상태를 유지하기 위해서는 축전지의 충전상태가 낮은 경우는 외부부하의 조건과 관계없이 연료전지의 출력을 증가시켜서 빠른 충전을 하여야 한다. 외부 부하가 높은 경우는 연료전지는 축전지와 연동하여 최대 부하를 출력하여 부하 요구를 만족 시켜야한다. 축전지의 충전 상태가 높은 경우는 연료전지의 출력을 줄여 낮은 비율의 충전을 하거나 충전이 되지 않아야 한다. 이와 같은 목적을 위해 Table 4와 같이 퍼지 논리 제어기의 룰베이스를



(a) Initial SoC=0.6



(b) Initial SoC=0.7



(c) Initial SoC= 0.8

Fig. 16. State of Charge history for the battery module in 40cycles

Table 5. Pure fuel cell cycle efficiency

	Maximum FC net power					
	4kW	5kW	6kW	7kW	8kW	9kW
Cycle efficiency (%)	30.85	29.35	27.88	26.52	25.25	24.1

결정하였다.

축전지의 충전상태가 0.65일 때를 기준으로 외부부하가 0일 때는 DC/DC 컨버터의 출력이 35%가 되고, 외부부하가 1일 때는 DC/DC 컨버터의 출력이 최대가 되도록 멤버함수를 결정하였으며, 축전지의 충전 상태가 0.7이 유지되도록 하였다. Fig. 11은 퍼지논리 제어기의 출력 결과이다.

5. 사이클 해석 및 결과

부하의 형태는 연료전지 하이브리드 시스템의 운전 조건을 선택하고, 전체 효율을 높이기 위한 방법의 선택에서 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 가정용 연료전지의 부하의 형태에 대해 퍼지 논리 제어기를 적용한 결과를 예시하였다. 부하의 형태를 위해 NTIS 보고서의 한 시간과 1/4 시간 단위의 전력 소모량에 대한 통계적 자료를 이용하였다. 한 시간 단위의 평균적 전력 소모량은 0.2-0.5kWh 정도이고 저녁 시간의 경우는 0.6-1.6kWh 정도로 조사되었다. 1/4시간 단위의 전력 소모는 최고 6.5kW 정도였다⁵⁾. 국내의 경우 가정에서 전력 사용의 형태에 대한 자료는 부족한 편이어서 Fig. 12와 같은 외부부하의 변화에 따른 시물레이션하였다. Fig. 13과 Fig. 14는 축전지의 SoC가 0.7일 때 DC/DC 컨버터와 축전지의 출력에 대한 사이클 해석 결과이다.

Fig. 15는 축전지의 초기 충전 상태가 0.6, 0.7, 0.8 일 때의 한 사이클 동안 해석한 연료의 소모 에너지 및 하이브리드 시스템 구성 요소 각각의 출력 에너지를 나타낸 것이다. 축전지의 충전량이 낮을 때는 연료전지의 출력 비율이 높으며 축전의 충전을 위한 운전을 한다. 축전지의 충전량이 높으면 축전지의 출력 비율이 상대적으로 높아진다.

Fig. 16은 축전지의 초기 상태가 0.6, 0.7, 0.8에서 Fig 12의 AC 부하를 40번 반복한 경우 축전지의 충전상태의 변화에 대한 해석 결과이다. 축전지의 충전상태가 0.6으로 낮을 때는 축전지의 충전을 위한 운전을 하기 때문에 빠른 충전이 이루어지고, SoC가 증가 할수록 충전량의 상승 정도는 줄어들다. 0.8의 경우는 축전지의 방전에 의해 충전량이 점차 감소하며, 0.7에서는 충전상태가 일정하게 유지되었다.

Fig. 17은 축전지의 충전 상태가 0.7 일 때의 에너지 손실 비율 및 출력 에너지를 나타낸 것이다. 연료전지에서의 손실이 49.46%로 가장 높았다. AC의 진원으로 사용되는 에너지는 32.76%였다. 축전지의 충전량(0.32%)을 고려하면 하이브리드 시스템의 효율은 33%이상이 되었다.

Table 5는 연료전지만으로 가정전원을 공급하는 경우 DC/DC 컨버터의 출력이 38%에서 최대 효율 42%이고, DC/DC컨버터의 최대출력에 대해 Fig. 3과 같은 비율로 성능을 갖는다고 가정하고 해석한 연료전지 최대 출력에 따른 사이클 효율을 나타낸 것이다. 연료전지의 최대 출력이 4kW인 경우는 30.85%이고, 연료전지의 규모가 커질수록 사이클 효율은 감소한다. 이는 연료전지의 규모가 커질수록 연료전지의 효율이 낮은 부하에

운전비중이 증가하기 때문이다. 순수한 연료전지만으로 운전하는 경우 가정에서 필요한 최대 부하요구량을 연료전지에서 공급하여야 하며 NTIS 보고서에 의하면 6.5kW 이상이 되어야 한다. 연료전지 하이브리드를 하는 경우의 효율이 33%이고, 최대 출력이 6.5kW 일때 순수한 연료전지만으로 작동하는 경우 27% 정도이므로 사이클 효율은 6%정도 높게 운전할 수 있다.

6. 결론

연료전지/축전지 하이브리드 시스템의 최적 운전을 위해 퍼지로지직 제어 방식을 적용하였으며 시뮬레이션을 통해 성능을 확인하였다. 시스템 해석에 필요한 주요 부품의 모델식은 성능 실험을 통해 구한 특성 방정식을 사용하였다.

퍼지 제어기의 입력으로는 외부부하와 축전지의 SoC를 사용하였으며, DC/DC 컨버터, 즉 연료전지의 출력 부하 값을 제어기의 출력 값으로 계산하였다. 본 논문에서 결정한 퍼지 제어기의 규칙과 소속 함수에 의해 축전지의 상태를 0.7를 유지하는 가운데 퍼지 제어기와 연계된 하이브리드 시스템이 연료전지 단독 운전보다 높은 성능을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

독립전원을 공급하기 위한 수소 연료전지 하이브리드 시스템운전 제어를 위해 각 구성 요소에 대한 실험을 하여 해석 자료로 사용하였다. 축전지의 충전 상태와 부하 조건에 따라 퍼지논리의 룰베이스 및 멤버함수를 결정하였으며, 사이클 해석 결과 축전지의 충전상태를 운전 범위로 유지할 수 있었다. 가정용 전력의 최대 부하가 6.5kW 인 경우 연료전지만으로 운전하는 경우 효율이 27%이나, 하이브리드 운전일 경우 33%이었으며, 축전지의 SoC는 적절한 운전범위로 계속 유지시킬 수 있었다.

하이브리드 시스템으로 구성하는 경우 효율적인 측면과 안정적인 운전, 비용 면에서 장점이 있어 가정용 전원 같은 소형 분산형 전원은 물론 무정전 전원장치(UPS), 자동차용 연료전지/축전지 하이브리드 시스템의 운전 방법으로 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 1) D. J. Friedman, T. L. Lipman, A. Eggert, S. Ramaswamy, K. H. Hauer, Hybridization: Cost and Efficiency Comparisons for PEM Fuel Cell Vehicles. SAE Technical Paper 2000-01-3078
- 2) N.J. Schouten, M.A. Salmon, N.A. Kheir, Energy manage strategies for parallel hybrid vehicle using fuzzy logic. Control Engineering Practice 11, 2003, pp. 171-177
- 3) B. Gleen, G. Washington, G. Rizzoni, Operation and Control Strategies for Hybrid Electric Automobiles, 2000Future Car Congress Proceedings, SAE Technical Paper 2000-01-1537.
- 4) Valerie Johnson, Matthew Keyser, Testing, Analysis, and Validation of a Hawker Genesis Lead Acid Battery Model in ADVISOR
- 5) Mehmet Burak Gunes, Investigation of a fuel cell based total energy system for residential application. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- 6) Mehmet Burak Gunes, Investigation of a fuel cell based total energy system for residential application. Virginia Polytechnic Institute and State University.