

# 초고층 건축물의 하이브리드 파워시스템의 적용 및 사례

이왕희 | 현대산업개발(주) 기술연구소 상무, 기술연구소 소장, myhome@hyundai-dvp.com

오창원 | 현대산업개발(주) 기술연구소 부장, ohchwon@hyundai-dvp.com

김성은 | 현대산업개발(주) 기술연구소 연구원, se0330@hyundai-dvp.com

신재생에너지를 이용한 하이브리드 파워시스템 및 적용 사례를 소개하고자 한다.

## 개요

건물에너지는 전체 총 에너지 소비의 약 15% 정도이며, 가정용 소비에너지의 약 25%가 전기에너지이다. 통계청 자료에 의하면 전기소비량은 지속적으로 증가하고 있으며, 2007년에는 1998년의 약 1.7배나 증가하였다. 아이러니하게도 전 세계적으로 에너지 문제를 해결하기 위해 에너지 소비 저감을 강조하고 있으나, 생활수준 향상과 함께 에너지소비량 증가 추세는 지속될 것으로 보인다. 특히 전기에너지는 가정에서 손쉽게 이용가능한 에너지인만큼 에너지 사용량이 크게 증가하였다. 그러나 전기에너지의 생산부터 소비과정까지를 본다면 결코 쉬운 에너지가 아니다. 전기는 발전소에서 화석연료를 이용하여 생산되는데, 그 발전효율이 40%정도밖에 되지 않는다. 그마저도 송전되는 동안 약 5%가 손실된다.

전기에너지 소비는 에너지의 절약적 측면에서만 접근할 것이 아니라 생산적인 측면에서의 접근 또한 필요하다. 이미 전기에너지를 절약하기 위한 에너지 고효율화 기술은 최고 수준으로 적용되고 있어 급증하는 에너지 수요를 충족하기 위해서는 건축물 계획시 신재생에너지 시스템 설치를 고려할 필요가 있다. 특히 초고층 건물과 같은 대형건물은 에너지소비량이 큰 대신 일반

건축물에 비해 신재생에너지의 적용 가능성이 크다(그림 2 참조).

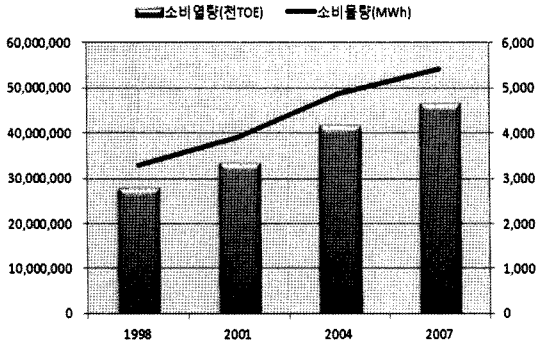
## 초고층 건축물의 신재생에너지 적용

초고층 건축물과 같이 용도가 주거, 업무, 상업 모두 포함되어 있는 대형 건축물의 경우 전기에너지 소비비율은 주거 용도인 아파트보다 매우 크다. 즉, 이러한 건축물의 전기에너지의 절약 및 생산은 더욱 중요하다 볼 수 있다.

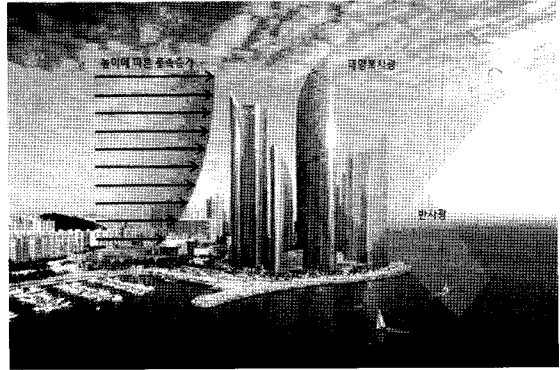
초고층 건축물의 경우 일반 건축물에 비해 적용성이 우수하다. 입면적의 증가로 BIPV 적용면적이 크며, 고층으로 갈수록 풍속이 증가하기 때문에 일반 건축물에 비해 높은 발전량을 기대할 수 있다(그림 2 참조).

그러나 신재생에너지를 이용하는 경우 가장 큰 문제는 신재생에너지는 외부환경변화에 발전량이 크게 영향을 받는다는 것이다. 독립적으로 운영되는 신재생에너지 시스템을 이용한 에너지 공급은 24시간 연속적으로 운전 가능한 기저발전으로 이용되기에는 외부조건(일사량, 풍속 등)에 따른 에너지 생산량의 변동이 매우 심하다.

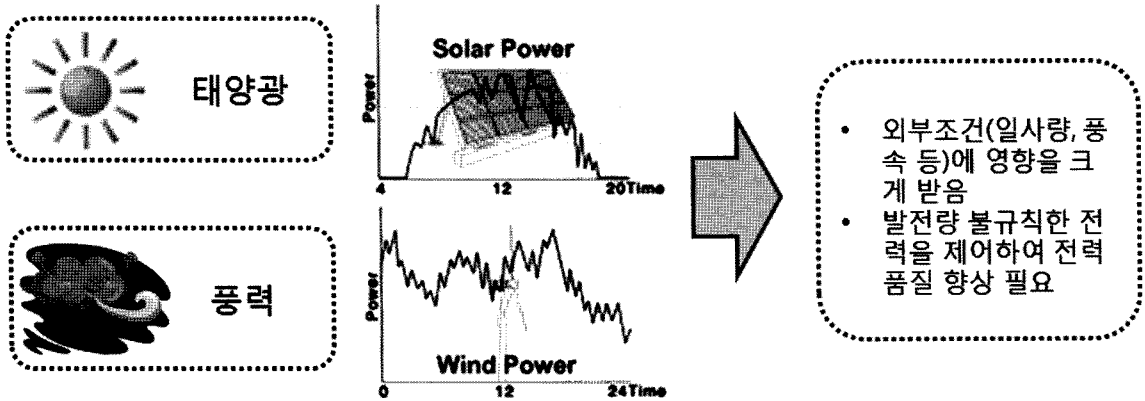
간헐적 에너지 생산 특성에 따라 에너지 공급 안정화를 위해 축전지가 많이 이용되기는 하나 충전과 방전을 하는 과정에서 시스템 효율이 저하되며, 축전지가 환경파괴의 한 원인으로 작용한다. 따라서 불안정한 신재생에너지 공급문제를 해결하여 양질의 발전성능을 확보하기 위해서는



[그림 1] 가정부문 원별 소비(통계청)



[그림 2] 초고층 건물의 신재생에너지 이용 가능성



[그림 3] 일일 태양광 및 풍력 발전 생산량 변동

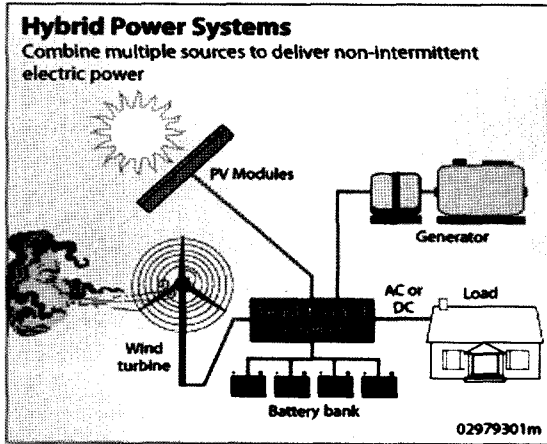
하이브리드 파워시스템과 같은 두 개 이상의 신재생에너지원을 복합한 시스템을 고려할 필요가 있다.(그림 3 참조).

### 하이브리드 파워시스템(Hybrid Power System)의 개념

미국 에너지부(United States Department of Energy, DOE)에서는 두 가지 이상의 신재생에너지 시스템을 결합한 하이브리드 전력공급시스템(Hybrid Power Systems)을 친환경 건축물의 에너지 효율 향상을 위한 방안으로 제안하고 있다. 주로 태양광 모듈과 풍력발전기, 디젤

발전기를 결합한 방식으로 Off-Grid로 운영되는 독립형 시스템으로 보급되고 있다(그림 4 ~ 5 참조).

일반적인 하이브리드 파워 시스템 적용 방식은 각 신재생에너지 시스템에서 생산된 직류 전기를 교류로 변환시키는 인버터(inverter) 또는 생산된 전력을 소비하거나 충전시키도록 명령하는 충전 컨트롤러(charge controller)를 연결하여 에너지를 생산·소비·충전하는 방식이다. 하이브리드 전력공급시스템에서 각각의 발전 시스템을 결합하는 것은 기술적으로 복잡한 일이지만 현대의 전력 컨트롤러 기술로 해결하지 못할 일은 아니며, 각각의 시스템을 자동으로 컨트롤할 수 있



[그림 4] Hybrid Power System 개념도  
(출처 : www.energysavers.gov)



[그림 5] hybrid wind and photovoltaic system  
(출처 : www.energysavers.gov)

는 기술이 이 시스템의 중심 기술이라고 볼 수 있다.

해외의 경우는 전력계통망으로부터 에너지를 공급받을 수 없는 도서지역에 대한 에너지 확보 문제를 해결하기 위한 방안으로 대개 계통과 분리된 독립형 하이브리드 시스템을 적용하고 있다. 그러나 해외와 달리 전력공급계통이 비교적 잘 정비되어 있는 우리나라의 경우, 독립형뿐만 아니라 계통연계형 하이브리드시스템 또한 고려되어야 한다.

### 하이브리드 파워시스템 적용 이점

#### 전력변환에 따른 손실 최소화

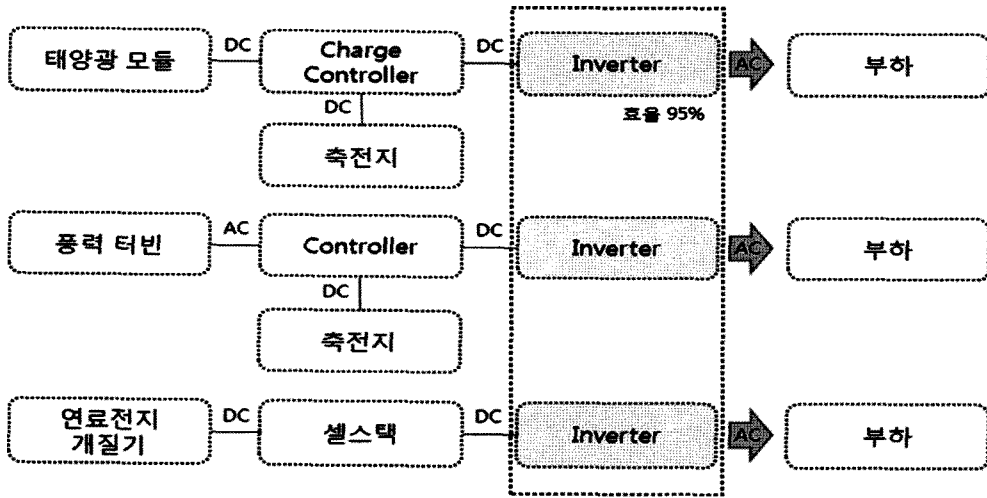
실제로 사용되는 조명 및 가전기기 중에는 컴퓨터, TV, 오디오, LED 조명기기 등 직류를 이용하는 제품이 적지 않다. 많은 가전기기에 어댑터와 같이 교류를 직류로 바꿔주는 전원장치가 추가로 붙어있는 것을 볼 수 있다.

교류의 이용은 외부 발전소로부터 전력을 공급받는 경우 장거리 송전에 따른 손실을 줄이고자 고안된 것이다. 가전기기는 모두 교류를 사용할 것으로 생각되지만 실상은 그렇지 않다. 오히려 많은 양의 송전손실을 견디며 공급받은 교류를

가전기기에서 직류로 변환하는 과정에서 또다시 에너지 손실이 발생한다. 이러한 문제는 신재생 에너지시스템으로부터 생산된 직류를 직접 기기에 공급해줌으로써 해결이 가능하다.

기존 태양광 발전 방식과 풍력 발전 방식은 생산된 직류 전력을 교류 전력으로 변환하여 공급하는 반면 해당 시스템은 생산된 직류 전력을 교류로 변환 없이 직류 부하에 직접 공급하여 그 효율을 향상할 수 있다. 실제로 시스템내 직류생산 전력을 교류로 바꿔주는 인버터 하나만 제거하더라도 약 3 ~ 5%의 에너지 효율향상 효과를 기대할 수 있다(그림 6 참조).

초고층건물의 경우 일반적인 주택에 비해 조명 및 기기에 더 많은 에너지를 필요로 하며, 특히 공용공간에서 필요한 상시조명기기에 대한 에너지 요구가 크다. 이러한 조명기기를 LED 조명으로 설치하는 경우 신재생에너지시스템을 통해 생산된 직류전기를 직접 활용함으로써 건물의 에너지효율 향상이 기대된다. 또한 일반적으로 사용되는 전기제품은 전부 교류 중심으로 생산되지만, 초고층이나 대형건축물의 업무공간에 필요한 다량의 컴퓨터 등의 각종 기기는 기존의 교류-직류 변환방식이 아니라 직류를 직접 이용하도록 맞춤형제작함으로써 에너지 효율 향상이 가능하다.



[그림 6] 일반적 신재생에너지시스템 구성(DC생산→AC소비)

### 전력 송전에 따른 문제점 해결

하이브리드 파워시스템은 분산형 전원 또는 마이크로 그리드의 구성요소로서 이용가능하며, 발전소로부터의 원거리 전력송전에 따른 전력 손실이 감소하고, 이에 따른 송전계통과 배전계통의 운영비가 절감될 수 있다. 건물 자체적으로 일정 전력이상을 충당하기 때문에 전력수요급증에 따른 영향을 덜 받으며, 정전 등 유사상황에 대한 대비가 가능하다.

### 하이브리드 파워시스템의 구성

하이브리드 파워시스템은 태양광발전부, 풍력발전부, 연료전지발전부, 하이브리드 파워 컨트롤러 블록으로 구성된다. 태양광발전부에서는 태양광을 입사 받아 전력을 생산하고, 풍력발전부는 운동 에너지를 갖는 공기 역학적 특성을 이용한다. 연료전지는 화학적 반응을 통해 전력을 생산한다. 하이브리드 파워 컨트롤러부는 태양광, 풍력 발전부에서 생산한 전력을 부하로 공급하고, 공급전력이 부족할 경우 연료전지를 구동시켜 부족한 전력을 충분히 담당할 수 있도록 한다.

태양광발전은 반도체 접합의 광 기전력 효과를 이용하여 태양빛을 직접 전력으로 바꾸는 장치로 에너지 변환도중 운동에너지가 개입하지 않아 소음이 발생하지 않으며 또한 기계적인 고장도 거의 발생하지 않는 발전방식으로, 태양전지와 축전지, 전력변환장치로 구성된다. 단점은 전력생산량이 일조량에 의존하고, 밤에는 발전할 수가 없으며, 설치 장소가 한정적이며, 초기 투자비와 발전단가가 높다.

BIPV(Building Integrated Photovoltaic)을 이용하는 경우 별도의 부지확보와 PV 시스템 지지를 위한 구조물 건립비용이 필요하지 않으며 전기부하가 발생하는 그 지점에서 발전이 이루어진다. 이러한 장점을 살려 건축구조재로서 최근 건물의 입면에 많이 적용되고 있는 커튼 월을 이용한 BIPV 시스템은 그 구성부재를 공장에서 완전히 조립하고 유닛화하여 현장에 반입, 설치한다면 고층 건물에 적용이 유리하다.

풍력발전의 구성요소는 블레이드, 발전기(Generators), 브레이크(Brakes), 에너지 저장 장치(Energy Storage Devices), 타워(Towers)로 구성되며, 불어오는 바람은 풍력발전기의 블레이

드를 회전시키게 되고 이때 생긴 회전력으로 전기를 생산한다. 풍속이 세고, 풍차가 클수록 더 많은 풍력 에너지를 생산할 수 있기 때문에 풍력 발전기의 발전량은 바람의 세기와 풍차의 크기에 의존한다.

입지조건이 제한적이고, 도심지역의 경우 주변 지역에 비해 풍속이 30% 정도 감소되며, 고층 건물이 밀집된 지역에서는 와류와 제트기류 현상이 나타나기도 한다. 풍속은 높이가 높아질수록 바람이 세게 불기 때문에 최근 초고층 건물이 증가하고 있는 추세에 있어 도심지역의 500 m 이상의 높이에서 일정 풍속을 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

연료전지 기본 구성은 연료극/전해질층/공기극으로 접합되어 있는 셀(Cell)이며, 다수의 셀을 적층하여 스택을 구성함으로써 산화 환원 반응을 통해 전기를 발생한다. 연료전지의 연료로 사용되는 수소와 산소는 많은 양이 저장되어 있는 자원이며 에너지 생산과정에서 발생한 물은 환경에 무해한 물질로, 연료전지는 최근 에너지 및 환경문제에 대한 관심이 고조되고 있는 상황에서 주목받는 대체에너지원이다.

연료전지는 연료를 공급받는 한 지속적으로 에너지를 발생시킬 수 있으며, 발전효율이 40 ~ 60%, 열병합발전시 80% 이상이다. 도심부근에 설치가 가능하여 송배전시의 설비 및 전력 손실 적다.

하이브리드 파워 컨트롤러는 발전전력 검출부, 부하전력 검출부, 전력 스위칭부, 충전컨트롤러, 컨트롤러로 구성된다. 발전전력 검출부에서는 전력센서를 통해 풍력, 태양광, 연료전지 발전부로부터 전력 생산량을 감지한다. 부하전력 검출부는 부하 사용량을 감지하며, 각 발전부에서 생성된 전력은 전력 스위칭부를 통해 부하 또는 축전지로 출력하도록 스위칭한다. 충전 컨트롤러를 통해 축전지측으로 출력된 전력은 충전하며, 각 센서로부터 발전부와 전력 공급, 충전에 관한 모든 정보를 받고 적절한 명령을 내리는 역할은 컨트롤러에서 수행한다.

## 하이브리드 파워시스템 적용사례

### Mock-up 시스템 구성

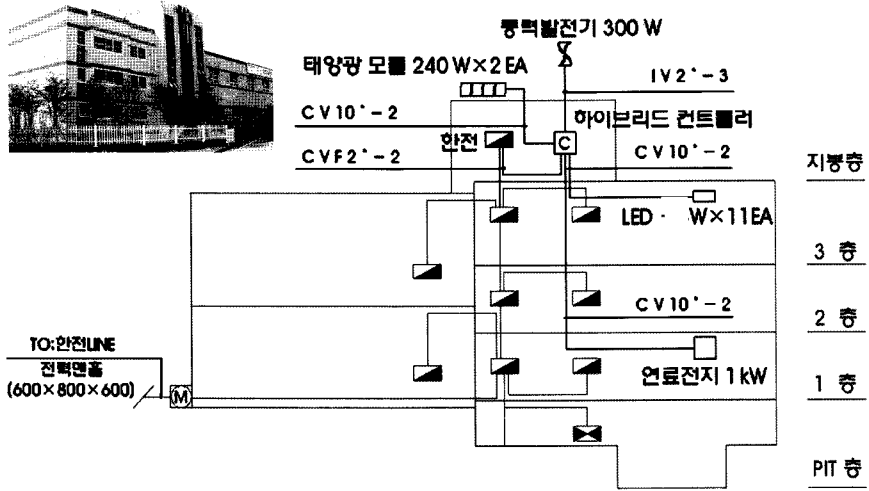
현재 진행 중인 국토해양부 과제의 일부로 하이브리드 파워시스템을 현대산업개발 기술연구소에 구성하였다. 전체 발전 시스템은 소형 풍력 발전기(300 W), 태양광 모듈(480 W), 연료전지(1 kW) 시스템으로 구성된다. 풍력과 태양광 시스템은 옥상에, 연료전지는 1층 주택 실험동에 설치하였다. 생산된 전력은 3층 사무실에 LED 조명기구(88 W, 11 EA)에서 소비된다. 잉여발전량은 축전지(24 V, 300 A)에 저장되었다가, 연료전지 시동 또는 비상시 LED 조명기구로 공급된다(그림 7 참조).

목업 시스템 용량은 건물내 사무공간의 일부 조명수준을 보완할 수 있도록 88W LED 조명기구를 11개 설치할 경우 LED 조명기에 필요한 전력인 968W를 기준으로 산정하였다. 기본적으로 풍력과 태양광을 통해 사용전력을 공급할 수 있도록 설계하였으며, 풍력과 태양광발전으로부터의 불균일한 에너지 공급 안정화를 위해 1kW 가 정용 연료전지를 추가하였다. 축전지는 발전시스템으로부터 과잉생산된 전력을 저장하고 필요시 사용할 수 있도록 설치되었다. (그림 8 참조).

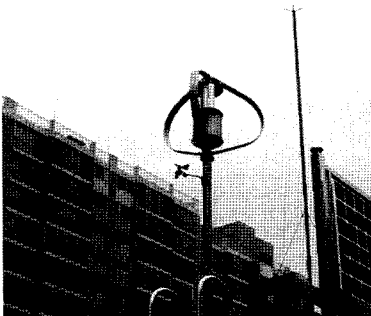
### Mock-up 시스템 운영

시스템은 하이브리드 파워 시스템의 핵심요소인 컨트롤러를 통해 운영된다. 하이브리드 컨트롤러는 동시통제 기능을 가지며, 풍력, 태양광발전 입력을 우선하고 부족전원은 연료전지로 운영(직류 부하 1 kW 기준)된다.

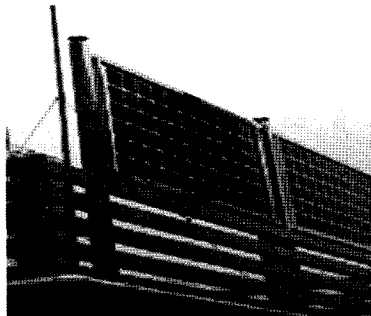
컨트롤러는 풍력, 태양광 발전량을 통합 감지하여 연료전지에 가동 신호 송출하며, 감지된 발전량에 따라 연료전지가 몇 개의 단계로 제어된다. 연료전지는 화학반응에 의해 발전되는 연료전지 특성상 안정한 가동을 위해 6단계로 나뉘며, 풍력, 태양광 발전에 따라 350 W, 500 W, 600 W, 750 W, 850 W, 1000 W로 가동된다. 화학적 반응에 의한 연료전지는 시스템의 안전성을 위해



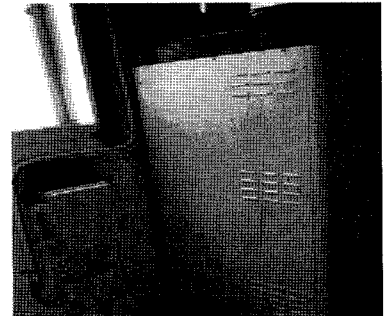
[그림 7] 전력간선 설비 계통도



중력발전기(300 W)



태양광발전기(480 W)



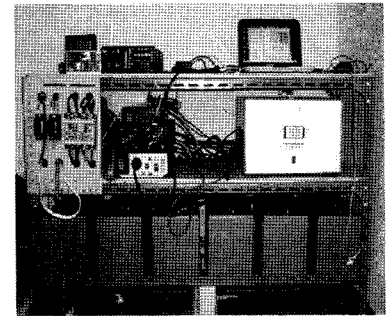
연료전지(1 kW)



전력간선시공



LED 조명기기



모니터링 시스템

[그림 8] Mock-up 시공 사진

가동을 시작해서 원하는 발전량을 얻기까지 일정 시간이 소요된다. 반대로 시스템 정지까지도 일정 시간이 소요되는데, 이러한 특성은 부하의 변동이 클 경우 빠르게 대응하기 불리하다. 이러한 단점 때문에 연료전지는 몇 개의 단계로 구분하여 가동하며, 이에 따른 제어시나리오를 구성하였다.

부하량(A), 태양광(B), 풍력발전량(C)에 따른 각 단계별 시스템 제어시나리오는 다음과 같다.

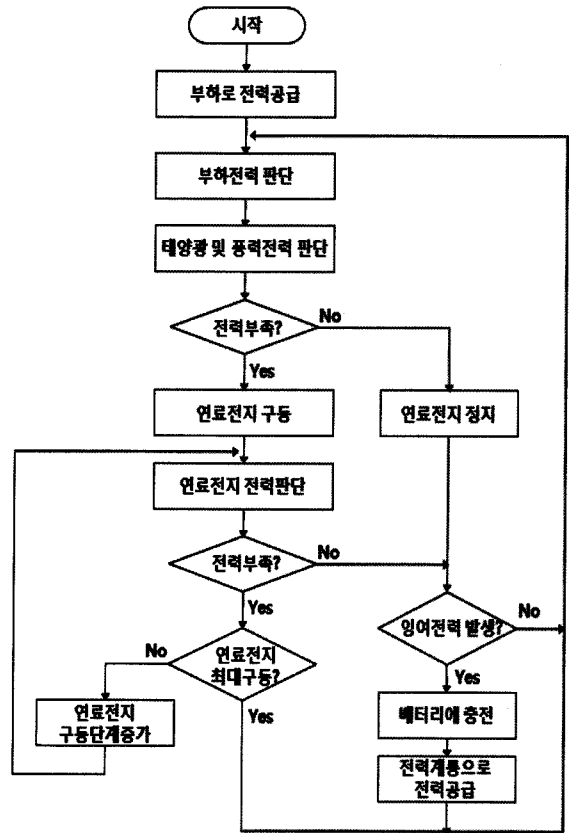
- $850\text{ W} < [A - (B + C)] \leq 1000\text{ W}$  일 때  
: 연료전지 1000 W로 가동
- $750\text{ W} < [A - (B + C)] \leq 850\text{ W}$  일 때  
: 연료전지 850 W로 가동
- $600\text{ W} < [A - (B + C)] \leq 750\text{ W}$  일 때  
: 연료전지 750W로 가동
- $500\text{ W} < [A - (B + C)] \leq 600\text{ W}$  일 때  
: 연료전지 600W로 가동
- $350\text{ W} < [A - (B + C)] \leq 500\text{ W}$  일 때  
: 연료전지 500 W로 가동
- $[A - (B + C)] \leq 350\text{ W}$  일 때  
: 연료전지 350 W로 가동(그림 9 참조)

### 연동테스트

하이브리드 파워시스템의 운영에 관한 검증 단계로서 부하량과 발전량을 단계별로 변화시켜 연료전지로 운전 신호가 제대로 송출되는지를 시험하였다. 원활한 연동시험을 위해 시험 당일 태양광 및 풍력 발전량의 부족분을 DC 파워 서플라이로 일부 대체하였다.

표 1과 그림 10은 연동시험에 따른 모니터링 결과이다. 부하량과 풍력발전기, 태양광발전시스템의 합성전력량을 판단하고 연료전지로 운전신호를 보낸다. ①은 부하량이 964 W, 풍력 및 태양광 발전량 합계가 16 W로 부족한 전력량이 948 W인 경우, 컨트롤러는 연료전지를 가동하여 1000 W의 전력이 생산되고 있음을 보여준다. 여기서 잉여전력 52 W는 축전지에 저장된다. 표 1은 ② ~ ⑨까지 같은 방식으로 적절하게 운영되고 있음을 보여준다.

연동 테스트 당시 풍력발전을 통한 전력생산량



<그림 9> 하이브리드 전력공급시스템 제어 알고리즘

이 매우 적었던 관계로 파워 서플라이를 연결하여 시행하였다는 한계를 갖는다. 또한 연료전지로의 가동신호를 확인하였지만 실제 가동에 따른 탄력적 대응 여부를 확인하지 못하고 임의적인 환경에서의 신호발생여부만 확인하였다. 따라서 추후 장기간 모니터링을 통한 연구를 수행하여 적용성을 검증할 계획이다.

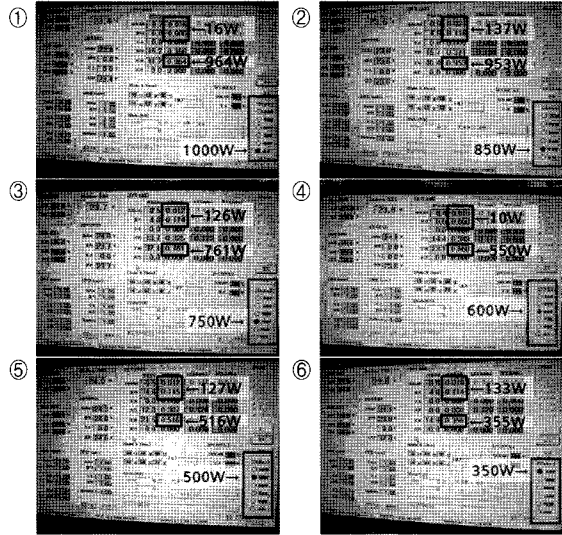
### 맺음말

하이브리드시스템은 불안정한 신재생에너지 시스템에 안정적인 Back-up 시스템을 복합함으로써 상호보완적으로 구성된 하나의 에너지 공급 시스템이다. 신재생에너지 시스템만을 융복합함으로써 안정적이고, 친환경적인 청정에너지



< 표 1 > 연료전지 운전 신호 확인

No.	부하량	태양광+풍력 발전량	연료전지 운전신호	확인
1	964 W(41.2 A)	16 W(0.7 A)	1000 W	OK
2	953 W(40.4 A)	137 W(5.8 A)	850 W	OK
3	761 W(32.1 A)	126 W(5.3 A)	750 W	OK
4	550 W(23.1 A)	10 W(0.4 A)	600 W	OK
5	516 W(21.5 A)	127 W(5.3 A)	500 W	OK
6	355 W(14.9 A)	133 W(5.6 A)	350 W	OK
7	196 W(8.2 A)	134 W(5.6 A)	350 W	OK
8	63 W(2.6 A)	135 W(5.6 A)	350 W	OK
9	0 W(0 A)	135 W(5.6 A)	350 W	OK



[그림 10] 연동테스트

를 생산하며, 에너지 자급자족이 가능한 탄소저감형 제로에너지 건축물을 실현 가능하다. 또한 이러한 신재생 에너지 기술 개발은 관련 기자재 산업 기술 향상에 시너지효과가 있을 것으로 기대된다.

당사가 Mock-up 사례로 소개한 방식은 기존의 신재생에너지와 축전지를 이용한 하이브리드 방식과 달리 신재생에너지원(태양광, 풍력, 연료전지)만을 이용하여 에너지 공급이 가능하고, 독

립형 기능과 계통연계형 기능을 겸비한 하이브리드 전력공급 시스템이다. 현재 국토해양부 과제의 일부로 당사가 Pilot Test-Bed로 제공한 000현장에 일부 적용할 계획에 있으며, 실제 공용부 에너지 사용 환경에서 일부 에너지를 상기 시스템을 통해 공급할 예정이다.

본 연구는 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(과제번호 #09 첨단도시A01)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. (주)