

태양광 패널 최소 임계출력 음영비 결정

(Determination of Shading Ratio Outputting Minimum Critical Power of Photovoltaic Panel)

정종욱* · 정진수 · 김선구**

(Jong-Wook Jung · Jin-Soo Jung · Sun-Gu Kim)

Abstract

In this paper, the shading ratio about to output the minimum critical power of a photovoltaic panel was determined by experiment and simulation.

A 2.475[kW] poly-crystalline photovoltaic panel consisting of 11 modules was used in the experiment and its surface was covered with shading curtains, thus the amount of light incident to the modules were controlled. In order to compare with the experimental results, the experimental circuits were modelled with the CASPOC (power electronics electrical drives simulator) and module parameters were applied to it, by which the minimum critical power was calculated.

As a result, the photovoltaic panel was about to generate the power when the 5th shading curtains were removed from the module surface, after then the output power linearly increased by removing the shading curtains. In addition, the CASPOC simulation results were similar to the experimental results in the abrupt decreasing pattern of power.

Key Words : Shading Ratio, Minimum Critical Power, Photovoltaic Panel, CASPOC

1. 서 론

무분별한 남용으로 점차 고갈되어 가는 화석연료는 지구온난화로 인한 기상이변의 주요원인이 되어 왔으며, 이에 대한 위기감의 확산은 환경친화적이고 재생 가능한 대체에너지의 개발에 박차를 가하는 촉매로 작용해 왔다. 특히 태양광의 경우, 반도체의 광전효과

를 이용한 무한 청정에너지로서 발전시스템 대부분이 전자소자로 구성되어 기계적 진동이 없고 자동화가 용이하여 운전·유지관리비용을 절감할 수 있으며 태양광 셀의 수명이 20년 이상이라는 장점 덕분에 풍력과 함께 가장 기대되는 에너지원으로 부상해 온 반면, 초기투자비가 높고 일사량이나 음영에 따라 발전량의 편차가 심하다는 것은 단점으로 지적되어 왔다.

이 중 태양광 패널 전반에 걸친 일사량의 증감보다는 패널 표면 일부에 국한된 음영은 그 면적비에 따라 발전출력의 급격한 변동을 야기하여 태양광 셀을 열화시킬 수 있다.

본 논문에서는 다결정 태양광 패널의 표면을 완전

* 주저자 : 한국전기안전공사 선임연구원
** 교신저자 : 한국전기안전공사 책임연구원
Tel : 031-580-3073, Fax : 031-580-3070
E-mail : phdjung@korea.com
접수일자 : 2010년 8월 9일
1차심사 : 2010년 8월 12일
심사완료 : 2010년 9월 1일

차광한 후 수광면적을 증가시키면서 발전출력을 측정하여 최소 임계출력을 생산하기 시작하는 면적비를 도출하였다. 이 결과를 CASPOC(power electronics simulator)으로 실제 실험조건을 모의하여 모델링한 후 계산한 결과와 비교·분석하였다.

2. 음영과 발전출력

태양광 발전에 기여하는 요소는 다음과 같다[1]. 우선 건물 방위별 입면요소별 일사확률로서 태양광 모듈면이 일사광과 수직을 유지할 때 최대출력이 발생한다. 통풍조건도 기여요소가 되며 원활한 통풍은 태양광 셀의 발열을 억제하여 그림 1과 같이 발전출력에 긍정적으로 기여한다.



그림 1. 태양광 셀의 통풍과 출력손실
Fig. 1. Ventilation and power loss of photovoltaic cell

마지막으로 간과될 수 없는 요소가 모듈면에 작용하는 음영이다. 태양광 셀은 일정량 이상의 확산광만으로도 발전된다[2]. 그러나 이 경우 발전전압과 전류가 낮아지므로, 전체적인 출력이 직사광에 의한 출력보다 저하된다. 특히 태양광 발전설비를 전력계통에 연계하여 송전하기 위해서는 계통전압 이상으로 발전되어야 하므로, 이를 만족시키기 위한 인버터 최소 입력 직류전압이 존재한다. 인버터의 입력이 되는 태양광 어레이의 직류전압은 환경조건에 따라 계속 변동되며 [3], 태양광 모듈은 다수의 태양광 셀이 직·병렬로 조합되어 있어 특정한 태양광 셀 또는 모듈에 이상이 발생할 경우 발전출력에 영향을 미친다[2,4]. 국부 음영에 의한 발전출력 감소 원리를 그림 2에 나타내었다.

그림 2에 보인 바와 같이 스트링을 구성하는 전체 셀 중 일부 셀에 국부 음영이 작용하였을 경우 해당 셀은 발전되지 않으며 특히 bypass diode가 없을 경우

에는 reverse bias로 작용하여 저항성 소자가 되므로 전류의 흐름을 방해하고 hot spot을 유발한다. 일반적으로 bypass diode가 있더라도 음영이 일정 비율 이상이면 bypass diode가 동작하여 수광 셀만 발전하므로 전체 발전량은 저하된다고 보고되어 있다[5-6].

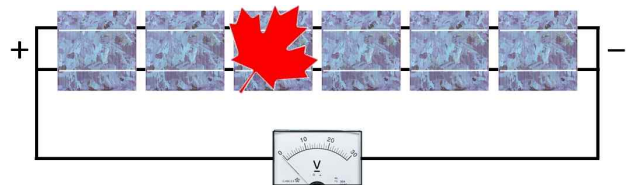


그림 2. 국부 음영에 의한 발전출력 감소
Fig. 2. Reduction in power output due to partial shading

3. 태양광 패널 구성 및 임계출력 측정

3.1 임계출력 측정용 패널 구성 및 실험절차

태양광 패널이 발전하기 시작하는 최소 임계출력을 측정하기 위한 실험장치를 그림 3과 같이 구성하였다.

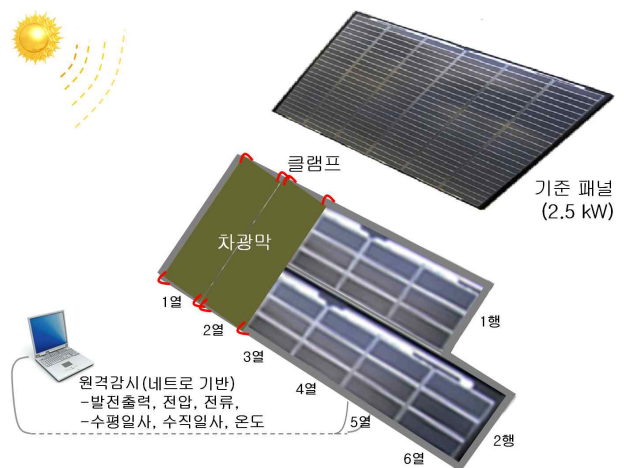


그림 3. 최소 임계출력 측정을 위한 실험장치 구성
Fig. 3. Experimental setup for minimum critical power measurement

그림 3에 보인 바와 같이 2조의 태양광 패널 중 전방의 실험용 패널은 225[W] 태양광 모듈을 정남향, 30[°]의 각도로 6직렬 2병렬 11개 고정 배치하여 총 발전출

태양광 패널 최소 임계출력 음영비 결정

력이 2.475[kW]가 되도록 하였으며, 확산광이 침투하지 않도록 차광막을 씌워 발전출력을 제어한 후, 차광막을 1매씩 제거하면서 발전출력을 측정하였다. 이때 매 시각의 발전출력은 일사량에 따라 변동하므로 2.5[kW] 기준용 패널을 동일 시설조건으로 후방에 추가 설치함으로써 최소 임계출력 분석 시 최대 발전시간대에 측정된 기준패널의 출력에 대한 실험용 패널의 출력비를 이용하고자 하였다. 발전출력은 네트로 기반으로 원격감시되어 자동 측정 후 시간대별로 기록·저장되도록 하였으며, 이 결과를 분석하여 최소 임계출력이 발생하는 음영비를 도출하였다.

3.2 최소 임계출력 측정결과 분석 및 고찰

태양광 패널의 발전출력을 그림 4에 나타내었다.

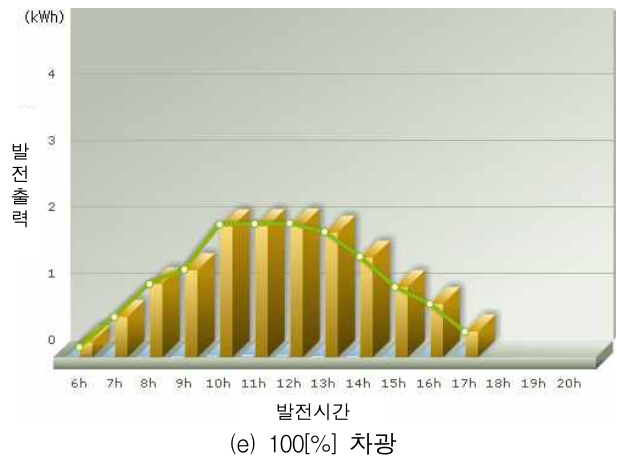
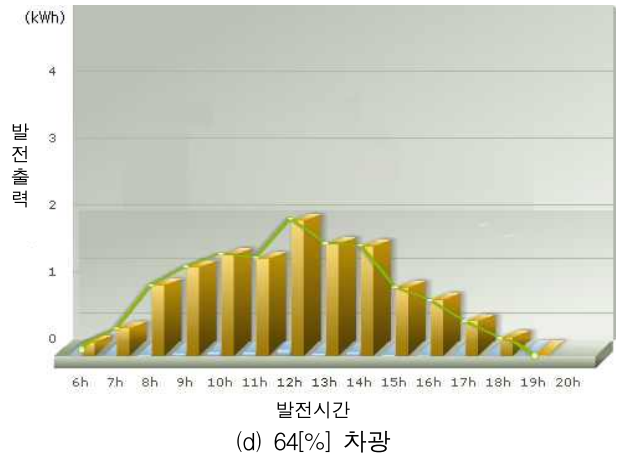
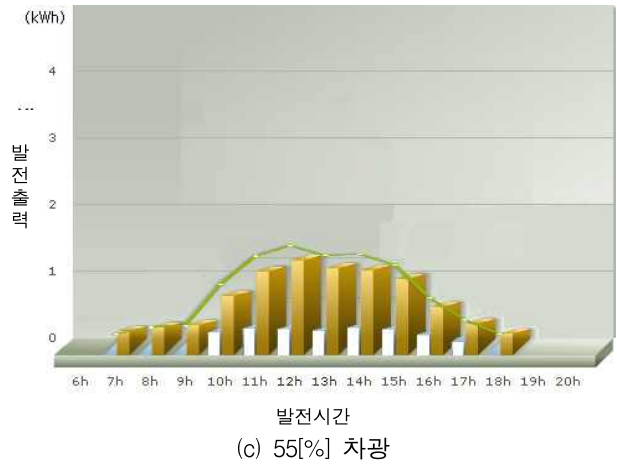
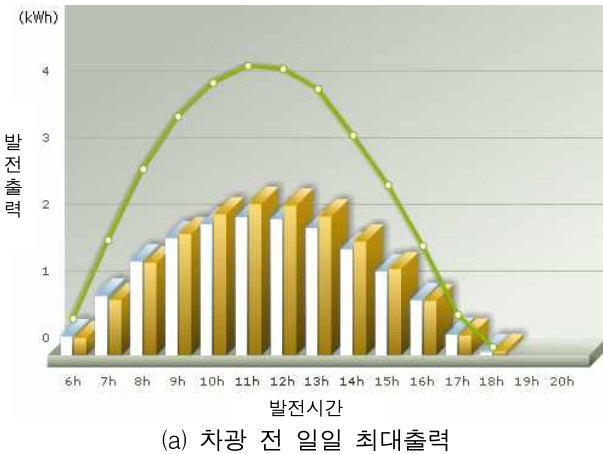


그림 4. 태양광 패널의 발전출력
(백 : 실험패널, 황 : 기준패널, 녹 : 종합)
Fig. 4. Output power of photovoltaic panel
(W: comparative panel, Y: control panel, G: total)

그림 4 (a)에 보인 바와 같이 차광막을 모두 열어 전체 모듈이 수광할 때의 일일 발전출력은 기준패널이 17.226[kWh]이고 실험용 패널은 16.438[kWh]로서 실험용 패널이 기준패널 대비 약 95[%]를 나타내었다. 그림 4 (b)에 보인 바와 같이 4개 모듈을 차광하여 차광율이 36[%]일 때의 일일 발전출력은 기준패널이 14.493[kWh], 실험용 패널이 7.572[kWh]로서 기준패널 대비 약 52.3[%]로 측정되었다. 이는 그림 4 (c)와 같이 모듈 6개를 차광하여 차광율이 55[%]일 때 18.3[%]로 낮아졌으며, 모듈 7개를 차광하여 차광율이 64[%]에 이르자 실험용 패널의 발전출력은 기준패널 대비 1.2[%]로서 거의 0[kWh]이 되는 것을 알 수 있었다.

실험용 태양광 모듈을 1장씩 차광하면서 기준패널 대비 출력비를 계산한 결과를 그림 5에 나타내었다.

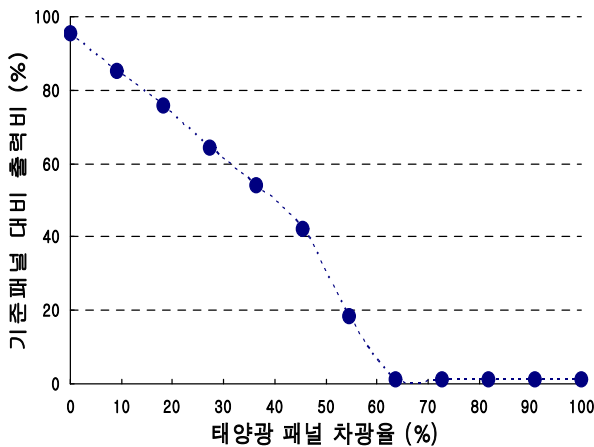
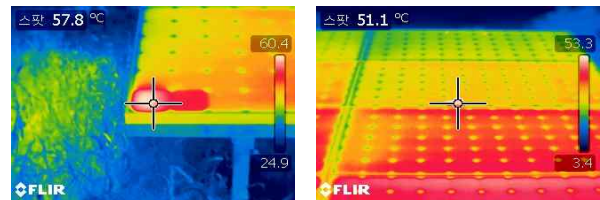


그림 5. 실험용 패널 차광율에 따른 기준패널 대비 출력비
Fig. 5. Output power ratio with shading ratio of comparative panel to control panel

그림 5에 보인 바와 같이 실험용 패널의 차광율에 따른 기준패널 대비 발전출력비는 차광율이 0[%]부터 50[%] 정도까지는 거의 선형적으로 감소하는 양상을 나타내었으나, 55[%]를 초과하면서 급감하기 시작하여 64[%]에 이르러 거의 0[%]가 되며, 이후 거의 발전출력이 나오지 않는 것을 알 수 있었다. 이는 태양광 모듈에 10[%]의 음영이 적용되면서 발전출력이 50[%] 이하로 급감하기 시작한다는 기존의 보고와는

차이가 있지만[6], 이는 태양광 모듈 상의 단위 셀에 대해 적용된 음영이 태양광 패널 상의 단위 모듈에 대해 적용된 음영보다 전체 발전출력에 부정적인 영향을 주는 현상으로 모듈 상의 단위 셀에 적용된 음영은 해당 부위에 수십~수백 [kΩ]의 국부적인 고저항성 hot spot을 유발하여 모듈을 통한 발전전류의 흐름을 저해하는 정도가 패널 상에 적용된 모듈의 음영보다 크기 때문인 것으로 사료되며, 전반적으로 음영이 적용된 패널을 열화상카메라로 관찰한 결과 그림 6에 보인 바와 같이 태양광 셀에 음영이 적용된 모듈과는 다르게 hot spot이 발견되지 않는다는 사실이 이를 증명하고 있다.



(a) 태양광 모듈의 이상 셀 (b) 태양광 패널의 이상 모듈

그림 6. 이상 셀과 모듈의 열화상
Fig. 6. Thermal images of abnormal cell and module

태양광 패널 상에 적용된 음영은 특히 55[%]의 차광율에서 기준패널의 발전출력이 약 1.25[kWh] 정도일 때 실험용 패널은 0.025~0.219[kWh]로서 약 10배의 극심한 차이를 포함하였으므로, 이 부위가 최소 임계출력을 나타내기 시작하는 음영비로 판단되었다.

본 논문에서는 추후 다른 형태의 태양광 회로에 대한 연구에 활용하기 위한 사전 평가로서, 본 실험회로를 전력전자 시뮬레이터인 CASPOC으로 모델링하여 검증하였으며, 이를 그림 7에 나타내었다.

그림 7에 보인 바와 같이 병렬로 접속된 3개의 솔라 모듈에 100[Ω]의 가변부하를 직렬로 접속하고 이를 통해 흐르는 전류와 양단에 인가되는 전압을 계산하기 위해 표 1과 같은 모듈 파라미터를 적용하였다.

우선 시간 라이브러리에서는 시간에 대한 값이 변화되어 출력되고 기준값과 곱한 값이 가변저항을 0에서 100[Ω]까지 변화시키면 태양광 모듈에 개방전압이 인가되며 가변저항의 변화에 따라 전류의 크기가 결정

태양광 패널 최소 임계출력 음영비 결정

된다. 이 회로의 계산 결과를 그림 8에 나타내었다.

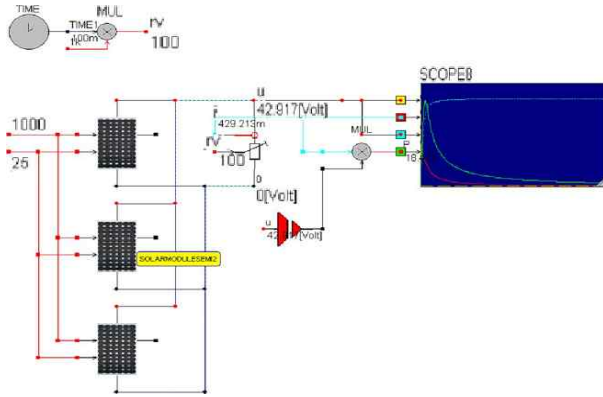


그림 7. 태양광 패널 발전출력 비교를 위한 CASPOC 모델링

Fig. 7. CASPOC modelling for comparing output power with photovoltaic panel

표 1. CASPOC 적용 파라미터
Table 1. Parameters applied to CASPOC

모듈개	단락	셀온도	최대	가변	계산시간
방전압	전류		전력	부하	
43.4[V]	4.8[A]	60[°C]	225[W]	100[Ω]	100[ms]

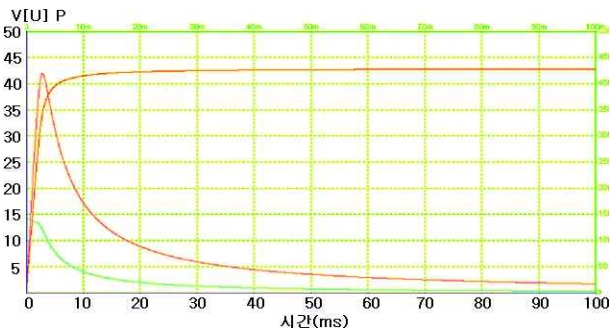


그림 8. 정상 태양광 패널 발전출력 계산결과
(황 : 전압, 녹 : 전류, 적 : 전력)

Fig. 8. Calculated output power of sound photovoltaic panel(Y: voltage, G: current, R: output power)

그림 8에 보인 바와 같이 정상적인 태양광 패널의 전압, 전류, 전력의 실효값은 각각 42.065[V], 3.263[A], 104.544[W]로 계산되었다. 이중 한 패널에 음영이 적용되었다고 가정할 경우 전체 출력에 미치는 영향을 알아보기 위해 모듈 3개 중 1개의 개방전압만을 0[V]

로 하고 나머지 조건은 그대로 둔 채 다시 계산하였으며 이 결과를 그림 9에 나타내었다.

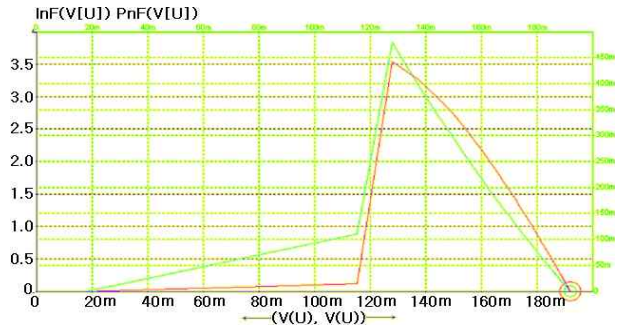


그림 9. 음영 태양광 패널 발전출력 계산결과
(황 : 전압, 녹 : 전류, 적 : 전력)

Fig. 9. Calculated output power of shaded photovoltaic panel (Y: voltage, G: current, R: output power)

그림 9에 보인 바와 같이 1개 모듈에 음영이 적용된 태양광 패널의 전압, 전류, 전력의 실효값은 각각 0.191[V], 0.191[A], 0.368[mW]로서 발생출력이 거의 없는 것으로 계산되었다.

지금까지 태양광 패널을 구성하는 각 모듈에 음영을 적용하여 최소 임계출력을 나타내기 시작하는 음영비를 실험적으로 도출한 결과를 CASPOC으로 시뮬레이션하여 계산한 결과와 비교하면 각각 54%와 66%에서 발전출력이 급감하는 것으로 나타나 최소 임계출력이 발생하는 지점에서 약 12% 정도의 오차가 있을 뿐 이를 중심으로 발전출력의 급격한 변화가 발생하는 것은 유사한 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 태양광 패널에 음영이 적용되었을 경우, 최소 임계출력을 발생시키는 음영비를 실험적으로 도출하고 이를 CASPOC 전력전자 시뮬레이터를 이용하여 검증하였다.

실험 결과 실험용 태양광 패널 상에 적용된 음영은 55%의 차광율에서 급격한 발전출력의 변화를 나타내는 지점이 포함되어 있다는 것을 확인하였으며, 최소 임계출력은 기준패널의 발전출력이 약 1.25[kWh]

정도에서 약 0.219[kWh]인 것으로 판단되었다. 또한 기준패널 대비 발전출력비는 차광율이 0[%]부터 50[%] 정도까지는 거의 선형적으로 감소하였으나, 최소 임계출력이 포함되어 있는 55[%]를 초과하면서 급감하기 시작하여 64[%]에 이르러 거의 0[%]가 되는 것을 확인하였다.

한편 실험과 최대한 유사한 조건을 CASPOC으로 모델링하고 이에 모듈 파라미터를 적용하여 계산한 결과, 태양광 패널에 약 66[%]의 음영비가 적용되었을 때 급격한 발전출력의 감소가 관찰되어 실험결과와는 약 12[%] 정도의 차이를 나타내었으나, 전체적인 감소 패턴은 유사한 경향을 나타내어 추후 CASPOC에 의한 태양광 모듈의 발전출력 시뮬레이션이 가능함을 확인하였다.

본 연구의 결과는 태양광 발전출력을 생산하기 시작하는 음영비를 결정한 것으로써 발전설비 설계 · 시공 시 참고자료는 물론 유사한 유형의 태양광 패널을 시공할 경우 음영에 의해 예상되는 발전출력을 계산하는데도 활용할 것으로 사료된다.

본 연구는 전력산업원천기술개발사업의 재정적 지원을 받아 수행되었습니다.

References

- [1] 그린홈, 그린홈사용 태양광/BIPV, <http://greenhomekorea.org/10088592926>, 2010. 6.
- [2] 박경은 외, “건물일체 차양용 태양광발전시스템의 성능에 대한 음영의 영향”, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회논문집, No.2006, Vol.01, pp.645-649, 2006.
- [3] 유동욱, 신재생에너지 기술 현황과 전망(2)-태양광 발전용 대용량 PCS 국산화 성공, 월간전기.
- [4] 정중욱, 주택지붕 형상에 따른 태양광발전 모듈의 음영영향평가연구, 한밭대학교 석사학위논문, pp.30-89, 2006. 2.
- [5] 최정식 외, “음영에 의한 손실을 고려한 태양광 발전 추적 시스템”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, pp.135-142, 2008.
- [6] 이상복, “그늘에서 발전하는 태양광 시대 온다”, 이투스, 2010. 1. 11.

◆ 저자소개 ◆



정중욱(鄭鍾旭)

1969년 2월 17일생. 1992년 숭실대 전기공학과 졸업. 1997/2003년 동대학원 전기공학과 졸업(석/박사, 전기전자재료 및 대전력 전공). 현재 한국전기안전공사 선임연구원.



정진수(鄭鎭洙)

1976년 9월 12일생. 2003년 명지대 전기공학과 졸업. 2005년 동대학원 전기공학과 졸업(석사, 전력계통 전공). 현재 한국전기안전공사 선임보연구원.



김선구(金善球)

1961년 2월 25일생. 1985년 한양대학교 전기공학과 졸업. 2009년 서울시립대 전기공학과 졸업(석사, 제어계측 전공). 현재 한국전기안전공사 책임연구원.