

# 태양광어레이 방위각 및 경사각 변화에 따른 일사량 영향분석에 관한 연구

## A Study on the Influence to Solar Radiation by Changing the Azimuth and Tilt of a Photovoltaic Array

최영관\* · 이남형\*\* · 김건중\*\*\* · 조용†  
(Young-Kwan Choi · Nam-Hyung Lee · Kern-Joong Kim · Yong Cho)

**Abstract** - In solar generation, the PV array's azimuth is headed due south and the tilt is generally 33° in order to acquire maximum generation. However, when installed in a site where there are buildings or other facilities, the azimuth and tilt are adjusted. Yet, when the azimuth and tilt are deviated from due south and 33°, the generation quantity is decreased substantially and currently a method to estimate the decreasing proportion is unavailable. Therefore, in this thesis, an equation on the "change ratio of solar radiation due to the changes in tilt and azimuth" was deduced by utilizing empirical data on the amount of solar radiation received according to the changes of tilt and azimuth and Interpolation. By using this equation, the decreasing proportion of generating quantity due to the installation methods of PV system can be estimated, therefore, it can be usefully utilized when designing and going through feasibility studies for development of solar generation systems.

**Key Words** : Photovoltaic, Azimuth angle, Tilt angle, Interpolation

### 1. 서론

신재생에너지의 연구 및 개발이 활발히 이루어지는 가운데 태양광 발전시스템은 2012년부터 신재생에너지공급의무화제도(RPS : Renewable Portfolio Standard) 시행과 같은 제도적 기반과 함께 급속히 보급이 진행되고 있다.

태양광발전시스템은 태양의 고도와 방위각에 많은 영향을 받으므로 태양광어레이의 설치 각도나 방향을 지역별 최적 경사각도와 정남방향으로 정확히 위치시켜 모듈의 수광면이 일사량을 최대로 받게 하는 것이 가장 중요하다. 이에 일사량을 최대로 받아 최대 연간발전량을 얻기 위해 태양광이 항상 태양전지판에 수직으로 입사될 수 있도록 구동장치와 광센서 등을 이용하여 태양의 방향을 추적하는 추적식 태양광발전 시스템을 설치한다. 그러나 이는 설치비가 고가이며 트래커 유지보수 등의 비용이 발생하여 고정식 또는 반고정식을 설치하는 경우가 많다. 이중 고정식은 추적식, 반고정식에 비하여 발전효율은 낮은 반면에 어레이 지지형태가 가장 안정된 구조이면서 초기 설치비 및 유지보수비가 적게 들어 상대적으로 많이 이용되는 어레이 지지방법이다.

태양광발전 형식을 이러한 고정식으로 설치시 최대 발전

량을 생산하기 위해 태양광 어레이의 방위각을 정남으로 설치하고, 경사각은 일반적으로 33도로 설치한다. 하지만, 건축물 및 시설물이 있는 부지에 설치할 경우에는 이들과의 미적 조화를 위해 방위각 및 경사각이 조정되어 설치되는 경우가 많다.

태양광발전은 정남을 0°로 기준을 정하고 동서방향으로 방위각이 변화함에 따라 단위 면적당 일사량은 감소하고[1], 최적경사각을 기준으로 그 각도가 변화함에 따라 단위 면적당 일사량이 감소하여 연간발전량에 영향을 미친다.

이렇게 방위각과 경사각이 각각 정남 및 33도에서 벗어나게 될 경우 발전량이 현저히 줄어들게 되는데 그 감소비율을 예측할 수 있는 방법이 부재인 상태이므로 태양광발전 건설계획시 예상발전량을 산정하기가 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 경사각, 방위각의 변화에 따른 일사량 실측 데이터와 보간법을 이용하여 "경사각 및 방위각 변화에 따른 일사량 변화비율"에 대한 수식을 도출하고자 한다.

방위각과 경사각은 각각 15°와 3° 간격으로 측정된 실측 데이터이므로 0°~90°의 연속적 간격의 데이터를 추정하기 위해 직선보간법을 이용하였다. 이렇게 취득한 연속데이터를 사용하여 태양광발전의 설치각도에 따른 발전량 감소비율 수식을 도출하여 태양광발전 건설을 위한 타당성조사와 기본 및 실시설계시 적용할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

### 2. 보간법

보간법이란 연속적 변수 가운데 어느 간격을 둔 두 개의 상의 값을 알고, 그것들을 만족시키는 어느 함수의 값을 정

\* K-water Institute Assistant Manager

\*\* K-water Institute Manager

\*\*\* Dept. of Electrical Engineering, ChungNam University, Korea, Professor

† Corresponding Author : K-water Institute Senior Researcher

E-mail : music@kwater.or.kr

Received : February 27, 2013; Accepted : April 25, 2013

하여 그 사이의 변수의 값에 대한 함수의 값을 구하는 조사 계산법으로 내삽법(內插法)이라고도 한다. 실변수  $x$ 의 함수  $f(x)$ 의 모양은 미지이나, 어떤 간격(등간격이나 부등간격이나 상관없다)을 가지는 2개 이상인 변수의 값  $x_i(i=1,2,\dots,n)$ 에 대한 함수값  $f(x_i)$ 가 알려져 있을 경우, 그 사이의 임의의  $x$ 에 대한 함수값을 추정하는 것을 말한다. 실험이나 관측에 의하여 얻은 관측값으로부터 관측하지 않은 점에서의 값을 추정하는 경우나 로그표 등의 함수표에서 표에 없는 함수값을 구하는 등의 경우에 이용된다. 본 논문에서는 방위각과 경사각은 각각  $15^\circ$ 와  $3^\circ$  간격으로 측정된 실측 데이터이므로  $0^\circ \sim 90^\circ$ 의 연속적 간격의 데이터를 구하기 위해 이용된다.

가장 간단한 방법으로서  $x$ 좌표, 그 변수에 대한 기지 함수값을  $y$ 좌표로 하는 점들을 이어 곡선을 그어 구하고자 하는 함수값을 구하는 방법이다. 또한 함수의 전개를 이용하여 변수  $x_0, x_1$ 의 근방에서 함수  $f(x)$ 를 근사적으로 나타내는 식

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

에 의하여 구할 수 있다. 이것이 간단한 보간공식인데, 비례 부분 또는 선형보간이라고 한다.  $x_0, x_1$ 을 로그표나 삼각함수표에서와 같이 그 사이의 간격을 충분히 작게 해 놓았으므로 선형보간이 이용된다[2]. 본 연구에서는 더욱 엄밀한 계산을 하기 위해서 다음과 같은 Newton 보간법을 사용하였다.

$(n+1)$ 개의 데이터 점  $(x_i, y_i)$ 를 모두 지나는 식 (1)과 같은 다항식을 구한다.

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \tag{1}$$

위의 다항식이 모든 데이터 점들을 통과하여야 하므로, 식 (2)가 성립한다.

$$f(x_i) = y_i \quad (i=0, 1, \dots, n) \tag{2}$$

$n$ 차의 다항식 (1)을 식 (3a)의 형태로 표현할 수 있으며, 계수는 식 (3b)와 같다.

$$f(x) = C_n(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{n+1}) + C_{n-1}(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_n) + \dots + C_0 \tag{3a}$$

$$\left. \begin{array}{l} C_0^0 \\ C_1^0 \\ C_2^0 \\ \vdots \\ C_{n-2}^0 \\ C_{n-1}^0 \\ C_n^0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} C_1^1 \\ C_2^1 \\ \vdots \\ C_{n-1}^1 \\ C_n^1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} C_2^2 \\ \vdots \\ C_{n-1}^2 \\ C_n^2 \end{array} \right\} \dots \left. \begin{array}{l} C_{n-1}^{n-1} \\ C_n^{n-1} \end{array} \right\} C_n^0$$

$$\text{여기서, } C_0^j = y_j, \quad C_i^j = \frac{C_{i-1}^{j+1} - C_{i-1}^j}{x_{i+j} - x_j} \tag{3b}$$

위와 같은 방법으로 보간 다항식을 구하는 것을 Newton 보간법이라고 하며, 식 (1)로 정리하기 위하여 식 (4)를 이용한다.

$$\begin{aligned} & (a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n)(b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_mx^m) \\ &= (a_0 + b_0) + (a_0b_1 + a_1b_0)x + (a_0b_2 + a_1b_1 + a_2b_0)x^2 + \dots + (\dots)x^{n+m} \\ &= \sum_{i=0}^{n+m} \left( \sum_{j=0}^i a_j b_{i-j} \right) x^i \end{aligned} \tag{4}$$

여기서  $n$  : 보간식을 구할 데이터의 수,  
 $(x_i, y_i) \quad i=0, 1, \dots, n$  : 데이터 값

Newton 보간법을 이용하여 방위각 및 경사각에 따른 일사량 변화량은 다음과 같은 순서로 다항식을 구한다.

- (가) 보간할 데이터 수  $n$ 을 결정한다  
(방위각  $n=5$ , 경사각  $n=36$ )
- (나) 보간할 데이터  $(x_i, y_i)$ 를 결정한다
- (다) 식 (3b)를 이용하여 계수를 계산한다
- (라) 식 (3a)를 이용하여 보간 다항식을 결정한다
- (마) 각 항을 식 (4)를 이용하여 정리한 후, 식 (1)과 같은 보간 다항식을 구한다
- (바) 오차범위를 만족할 때까지 위 순서를 반복한다.

### 3. 방위각에 따른 일사량 변화 분석

#### 3.1 수식도출

실제로는 정남쪽(방위각  $0^\circ$ )보다 서쪽으로 태양광 어레이를 미세하게 움직였을 때의 일사량 값이 다소 크게 나타났지만[3], 정남일때 일사량을 100 %로 가정하고 정남을 기준으로 동쪽으로 어레이를 움직일 때 “방위각 변화에 대한 일사량 감소 비율식”을 보간법을 이용하여 다음 순서로 도출하고자 한다.

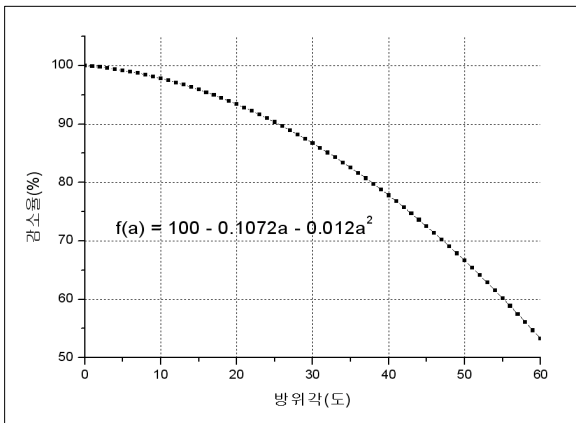
- (STEP 1)  $15^\circ$  간격의 실측 데이터 (표 1)
- (STEP 2) 보간법을 이용한 다항식 도출
- (STEP 3) 도출 다항식을 이용하여  $1^\circ$  간격의 데이터 생성
- (STEP 4) 정남( $0^\circ, a = 0$ )에서 100 %의 일사량이 되는지 오차 확인
- (STEP 5) (STEP 4)의 결과가 Yes일 때 다항식을 확정하고, No일 때 데이터를 보정하여 (STEP 2)부터 반복

표 1의 일사량 실측 데이터로 부터 보간법을 이용하여  $f(a) = 100 - 0.1419a - 0.0056a^2 - 0.0002a^3 - 0.000002a^4$ 의 근사식을 구한 후, 이 식을 이용해  $1^\circ$  간격의 값을 계산하였다. 그런 다음  $0^\circ \sim 90^\circ$  사이  $1^\circ$  간격의 모든 데이터를 이용해 근사식을 구하고, 기준 방위각  $0^\circ$  일 때 100 % 가 될 수 있도록 근사식을 보정하여 최종  $f(a) = 100 - 0.1072a - 0.0112a^2$ 의 수식을 도출하였다.

**표 1** 방위각에 따른 일사량 실측 데이터[1]  
**Table 1** Solar Radiation Data by Changing the Azimuth[1]

방위각(a°)	일사량(kcal/m <sup>2</sup> · day)	비율(%)
0	1279	100
15	1229	96
30	1119	88
45	9560	75
60	7800	61

※ 서울지역(위도 37.57° N, 경도 126.97° E)에 위치한 아파트를 대상으로 실측함



**그림 1** 방위각에 따른 일사량 감소율  
**Fig. 1** Change Ratio of Solar Radiation by Changing the Azimuth

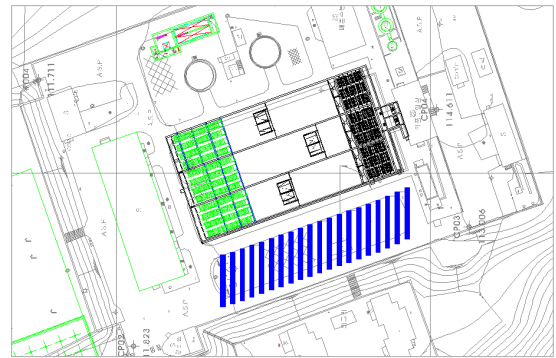
방위각에 따른 일사량 실측 데이터와 비교 시 표 2와 같이 방위각 30° 이하에서 수식과 실측 데이터 사이에 1% 미만의 오차를 보인다.

**표 2** 수식 오차분석표  
**Table 2** Error Analysis of the Equation

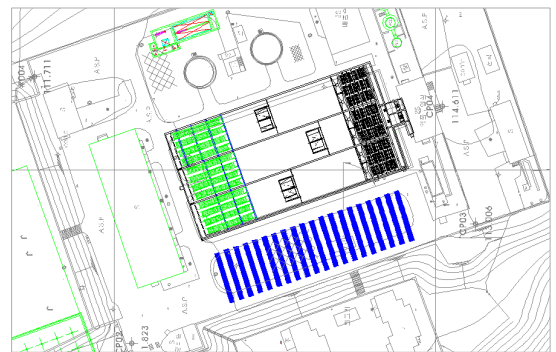
방위각(a°)	비율(%)	수식(%)	오차(%)
0	100	100	0
15	96	96	0.23
30	88	87	0.93
45	95	73	2.96
60	61	53	12.63

### 3.2 수식의 활용

경남 경산시에 위치한 ○○정수장의 여유부지에 100kW의 태양광발전을 정남방향과 방위각 18°(동쪽)로 그림 2와 같이 배치하여 일사량을 비교하였다.



(a) 정남



(b) 방위각 18°(동쪽)

**그림 2** 방위각에 따른 ○○정수장 100kW 태양광발전 배치  
**Fig. 2** Design of 100kW PV by Changing the Azimuth in ○○ Water Treatment Plant

## 4. 경사각에 따른 일사량 변화 분석

### 4.1 수식도출

경사각은 남향으로 고정하고 태양광어레이 경사각을 0°에서부터 1° 간격으로 증가시킬 때 “경사각 변화에 대한 일사량 감소 비율식”을 보간법을 이용하여 다음 순서로 도출하고자 한다.

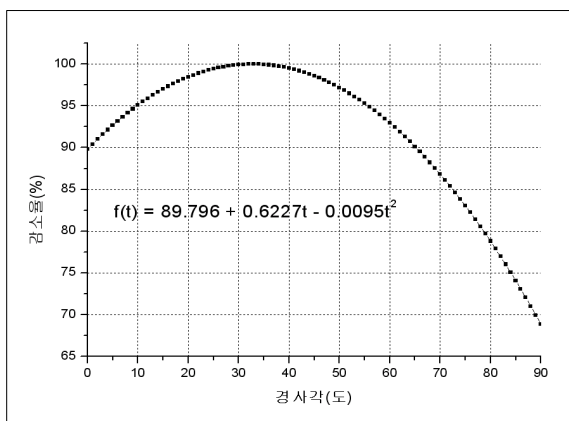
- (STEP 1) 3° 간격의 실측 데이터 (표 3)
- (STEP 2) 보간법을 이용한 다항식 도출
- (STEP 3) 도출 다항식을 이용하여 1° 간격의 데이터 생성
- (STEP 4) 최적경사각(33°, t = 33)에서 100%의 일사량이 되는지 오차 확인
- (STEP 5) (STEP 4)의 결과가 Yes일 때 다항식을 확정하고, No일 때 데이터를 보정하여 (STEP 2)부터 반복

표 3의 일사량 실측 데이터로부터 보간법을 이용하여  $f(t) = 89.016 + 0.6417t - 0.0095t^2$ 의 근사식을 구한 후, 이식을 이용해 1° 간격의 값을 계산하고, 33°에서 100%의 일사량이 나올 수 있게 데이터를 보정하였다. 그런 다음 0°~90° 사이 1° 간격의 모든 데이터를 이용해  $f(t) = 89.796 + 0.6227t - 0.0095t^2$ 의 근사식을 도출하였다.

**표 3** 경사각에 따른 일사량 실측 데이터[4]  
**Table 3** Solar Radiation Data by Changing the Tilt[4]

경사각(°)	일사량(kcal/m <sup>2</sup> · day)	비율(%)
0	2798	89
3	2857	91
6	2911	92
9	2959	94
12	3002	95
15	3040	97
18	3073	98
21	3099	98
24	3121	99
27	3136	99.6
30	3146	99.9
33	3150	100.00
36	3148	99.9
39	3140	99.7
42	3127	99.3
45	3108	98
48	3083	98
51	3053	97
54	3017	96
57	2975	94
60	2929	93
63	2877	91
66	2820	90
69	2758	88
72	2692	85
75	2621	83
78	2546	81
81	2466	78
84	2383	76
87	2296	73
90	2205	70

※ 서울지역 데이터



**그림 3** 경사각에 따른 일사량 감소  
**Fig. 3** Change Ratio of Solar Radiation by Changing the Tilt

경사각에 따른 일사량 실측 데이터와 비교시 표 3과 같이 3°~84°에서 도출한 수식과 실측 데이터 사이에 1% 미만의 오차를 보인다.

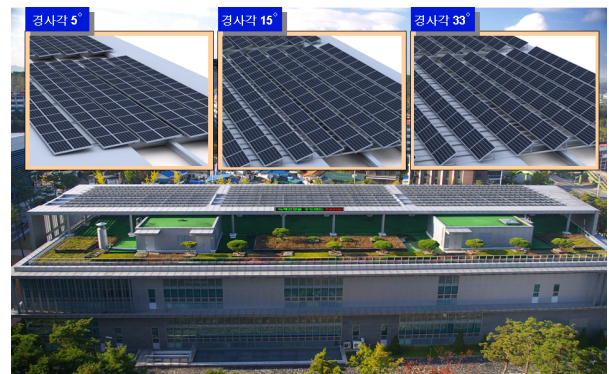
태양광어레이 방위각 및 경사각 변화에 따른 일사량 영향분석에 관한 연구

**표 4** 수식 오차분석표  
**Table 4** Error Analysis of the Equation

경사각(°)	비율(%)	수식(%)	오차(%)
0	89	90	1.08
3	91	92	0.96
6	92	93	0.83
9	94	95	0.73
12	95	96	0.62
15	97	97	0.51
18	98	98	0.38
21	98	99	0.31
24	99	99.3	0.19
27	99.6	99.7	0.13
30	99.9	99.9	0.05
33	100	100	0.00
36	99.9	99.9	0.04
39	99.7	99.6	0.05
42	99.3	99.2	0.08
45	99	99	0.09
48	98	98	0.08
51	97	97	0.08
54	96	96	0.06
57	94	94	0.02
60	93	93	0.03
63	91	91	0.01
66	90	90	0.01
69	88	88	0.03
72	85	85	0.09
75	83	83	0.17
78	81	81	0.32
81	78	78	0.49
84	76	75	0.77
87	73	72	1.13
90	70	69	1.59

**4.2 수식의 활용**

대전시에 위치한 ○○공사의 건물은 정남의 방위를 가지고 있어 옥상의 여유부지에 100kW를 그림 4와 같이 정남으로 향하게 배치하였다.



**그림 4** 경사각에 따른 ○○ 건물 100kW 태양광발전 배치  
**Fig. 4** Design of 100kW PV by Changing the Tilt in ○○ Building

그러나 건물의 미관 및 배수를 고려하여 최저 경사각 5°를 적용하고 발전량을 감소시킬 것인지, 최대발전량을 고려하여 33°를 적용 할 것인지 경사각에 따른 일사량을 비교해야 할 필요가 있다.

이를 위해 도출한 수식에 적용해보면,

$$f(5) = 89.796 + 0.6227 \times (5) - 0.0095 \times (5)^2 = 92.67$$

(경사각 5°, t = 5)

$$f(15) = 89.796 + 0.6227 \times (15) - 0.0095 \times (15)^2 = 97$$

(경사각 15°, t = 15)

로써, 경사각 5° 및 15° 는 대전지역 최적 경사각 33°를 기준으로 일사량이 각각 7.33 % , 3 % 감소함을 알 수 있고 동일조건에서 발전량도 같은 비율로 감소 할 것으로 예측된다.

표 5 수식을 이용한 일사량 감소율 및 오차분석표

Table 5 Error Analysis and Change Ratio of Solar Radiation using the Equation

경사각(°)	일사량 감소율(%)	실측데이터와의 오차(%)
5	99	(실측데이터 없음)
15	97	0.51
33	100	0

### 5. 결 론

태양광발전은 정남 방향에서 방위각이 벗어나고 최적경사각(약33°)을 기준으로 그 경사각도가 벗어남에 따라 단위 면적당 일사량이 감소하여 연간발전량이 감소된다.

본 논문에서는 이러한 감소비율을 실측데이터와 보간법을 이용하여 방위각, 경사각 변화에 따른 일사량 감소비율 수식을 도출하였다. 도출한 “방위각에 변화에 따른 일사량 감소비율 식”은 방위각 30° 이하에서 실측 데이터와의 오차가 1 % 미만이고, “경사각에 변화에 따른 일사량 감소비율 식”은 경사각 3°~84° 사이에서 실측 데이터와의 오차가 1 % 미만으로 나타났다.

1° 단위의 실측 데이터를 활용하여 수식을 도출한다면 보다 신뢰성 있는 수식 도출이 예상되지만 지역별, 계절별로 다른 일사량을 모두 실측하기란 쉽지 않을 것으로 보인다. 따라서 본 논문에서 도출한 수식을 사용하여 오차율 1% 미만의 발전전력량 예측이 가능하여 태양광발전 건설계획 시 타당성 조사와 기본 및 실시설계 시에 활용 될 수 있다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호 : 11기술혁신 C-03, 수상태양광 발전 시스템 실용화를 위한 ICT융합기술 개발)에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

### References

- [1] D.H, Lee, C.H, Choi, “Study on the Solar Flux on Facade Variation in Apartment Housing”, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.27, No.2, 2007
- [2] Computer Internet IT Term Dictionary, the computer term compilation committee, iljin
- [3] J.M, Kim, Y.I, Kim, K.S, Chung, “Study of the effect of vertical and azimuth angles of solar collector on the solar radiation for various locations in Korea”, SAREK 2006 winter conference, pp.307-312
- [4] KIER, “New & Renewable Energy Data Center”
- [5] Y.K, Choi, Y.K, Kim, H.G, Kim, M.C, Shin, “A Study on Changes to the Azimuth Angle and Tilt of a Photovoltaic Array and its Influence on Solar Radiation”, KIIEE autumn conference, 2011

### 저 자 소 개



#### 최영관 (崔榮寬)

1975년 5월 31일생. 2001년 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 졸업. 2004년 동대학원 졸업(석사). 2012년 동대학원 졸업(공학박사). 기술사(발송배전, 건축전기설비, 소방). 2004년~현재 한국수자원공사 근무.



#### 이남형 (李楠炯)

1967년 11월 24일생. 1993년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 2007년 위싱턴주립대학원 졸업(석사). 2012년~ 충남대학교 대학원 박사과정. 1996년~현재 한국수자원공사 근무.



#### 김건중 (金建中)

1953년 2월 12일생. 1975년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1980년~현재 충남대학교 전기공학과 교수



#### 조용 (趙龍)

1973년 11월 11일생. 1997년 고려대학교 기계공학과 졸업. 1999년 동대학원 졸업(석사), 2004년 동대학원 졸업(공학박사). 2009년~현재 한국수자원공사 근무