# 추적식 태양광 발전기 설계를 위한 풍하중 해석

김영은<sup>1,2</sup>, 정규원<sup>1\*</sup>, 이재진<sup>2</sup> <sup>1</sup>충북대학교 기계공학부, <sup>2</sup>성창통신(주)

# Wind load analysis for designing a tracking solar generator

Young-Eun Kim<sup>1,2</sup>, Kyu-Won Jeong<sup>1\*</sup>, Jae-Jin Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Mech. Engineering, Chungbuk National University <sup>2</sup>Sungchang telecom Co., Ltd.

**요 약** 태양광 발전 시스템은 태양광 패널이 부착되어 있는 구조물, 이를 지지하는 부분과 발전된 전력을 계통 또는 부하측 에 공급하는 장치로 구성된다. 태양광 패널의 발전효율은 태양빛의 입사량에 영향을 받기 때문에 패널이 태양빛을 가장 많이 받을 수 있는 방향으로 패널 구조물을 설치한다. 그러나 태양은 계속 이동하기 때문에 고정식 보다는 태양을 향하여 패널이 회전하는 방식이 더욱 효율이 좋다. 태양광 패널 구조물은 야외에 설치되므로 풍하중, 적설하중 지진하중 등이 작용한다. 본 논문에서는 태양광 패널 구조물에 가장 영향이 큰 풍하중을 유한요소법을 사용하여 구하고 이를 적용하여 태양 추적식 발전 장치의 구조물을 설계하였다. 특히 패널간의 간격에 따른 풍하중을 구하고, 패널 구조물이 지면과 이루는 각도에 따른 풍하중의 변화도 구하였다. 패널간의 간격은 간격이 없을 경우, 간격이 40 mm, 80 mm일 경우 등 3가지 경우에 대하여 해석 을 하였으며, 지면과의 각도는 30도, 45도, 60도 등에 대하여 해석을 하였다. 해석결과 풍하중은 패널간의 간격이 없을 경우 가 가장 적게 나타났고, 지면과의 경사각이 클수록 커지는 것을 알 수 있었다.

Abstract A solar photovoltaic system is composed of a module mounting structure, supporting trunk, and a control unit that supplies generated electrical power to an external power grid or a load. The efficiency of the system depends on the incident solar light, so the mounting structure is installed to face the sun. However, because the sun always moves, systems that track the sun have better efficiency than fixed systems. The structure experiences wind pressure, snow load, seismic load, and structure weight. The wind pressure has the most serious effect on the structure. The pressure was obtained using finite element method for various gaps between modules and angles between the panel and the ground. The wind pressure is lowest when the gap is zero, and it increases with the inclination angle. Based on the results, a mounting structure module was designed.

Keywords : CFX, Shear-stress transport turbulence model(SST), Solar energy, Solar tracker design, Solar tracking structure, Wind pressure

# 1. 서론

#### 1.1 대체 에너지의 필요성

현재 전 세계가 직면하고 있는 가장 큰 불안요인 중에 하나는 자원고갈에 따른 에너지 위기이다. 최근 환경문 제 또한 전 세계적으로 심각하게 대두됨에 따라 삶의 질 을 향상시킬 수 있는 환경 친화적 에너지의 필요성을 절 감하고 있다. 국내에서는 신재생 에너지 공급 의무 제도 가 시행되면서 신재생에너지의 중요성이 더욱 빛을 발하 고 있다. 신재생에너지 공급의무화 제도 (RPS)란, 일정

본 논문은 2015년도 과학벨트 기능지구 기업주도 공동연구법인 설립·운영 지원 사업 과제 지원에 의하여 연구되었음. \*Corresponding Author : Kyu-Won Jeong(Chungbuk National Univ.) Tel: +82-43-261-3222 email: jeong@chungbuk.ac.kr Received October 13, 2016 Revised December 14, 2016

Accepted February 3, 2017 Published February 28, 2017

규모 이상의 발전설비를 보유한 발전사업자에게 총 발전 량의 일정량 이상을 신재생에너지로 생산한 전력을 공급 하도록 의무화한 제도로 신에너지 및 재생에너지 개발· 이용·보급 촉진법에 근거를 두고 있다[1-3].

#### 1.2 추적식 태양광 에너지 시스템

대체에너지의 종류로는 태양광, 풍력, 수력, 파력, 지 열 등이 거론되고 있지만, 그 중에 가장 큰 관심을 두고 있는 에너지는 태양광을 사용하여 에너지를 생산하는 태 양전지 분야이다. 국내에서 태양광 분야의 기술개발은 1987년 12월에 제정된 대체에너지 기술개발 추진법을 근거로 1988년부터 대체에너지 기술개발 기본계획의 수 립과 함께 체계적으로 추진되었다. 태양광 에너지 발전 구조방식에는 고정식, 고정 가변식, 추적식이 있다. 설치 방식은 발전량의 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 요소이다. 햇빛을 가장 많이 받기 위해 남쪽방향으로 설 치 된 고정식과 달리 추적식은 태양의 움직임에 따라 각 도를 조절한다. 즉, 태양의 고도와 방향이 바뀌는 동안 모듈에 입사하는 빛의 양을 최대로 하여 발전효율을 높 일 수 있다.

#### 1.3 태양광 모듈 작용 하중

건축구조설계기준 (KBC2016)에 따르면 구조물을 건 축 할 때에 고정하중, 풍하중, 지진하중, 그리고 적설하 중을 고려하여 설계하도록 하고 있다[4]. 추적식 태양광 발전기는 실외 건축물로 바람에 의한 영향이 상대적으로 크게 작용하기 때문에 풍하중을 견디면서, 태양을 추적 할 때의 움직임도 유연해야 한다. 따라서 안전성과 경량 화가 동시에 요구된다. 본 논문에서는 이를 위한 방법으 로 풍하중을 줄여 구조물 전체에 가해지는 하중을 줄이 는 방법을 연구하였다. 그 중 바람에 직접적인 영향을 받 는 태양광 모듈간의 설치 간격을 다르게 하여 풍하중의 분포 및 최대 풍압에 대한 해석을 수행함으로써, 각 경우 를 비교 분석했다.

# 2. 설계

#### 2.1 태양광 모듈

본 논문에서 사용한 태양광 모듈은 LG전자 250 W 단결정 모듈의 시리즈이다. Fig. 1과 같이 셀 54개가 하 나의 모듈로 구성 되어있으며 모듈의 길이는 1,480 mm x 1,000 mm x 35 mm이고, 무게는 15.2±0.5 kg이다. 또 태양광 모듈 한 개의 최대 하중은 5,400 Pa이고, 출력은 250 W이다. 태양광 모듈의 배열은 3열, 2행으로 배열하여 총 6개의 태양광 모듈이 1.5 kW의 출력을 낼 수 있도 록 하였다. 발전부의 총 크기는 2,994.2 x 3034.2 mm이고, 무게는 91.2 kg이다[5].



Fig. 1. Solar module used for the tracker (a) Front view (b) Side view

#### 2.2 설계 하중

본 논문에서 사용한 추적식 태양광 발전 시스템을 설 계하기 위해 「건축구조기준」 (국토교통부고시 제 2015-769호, 2015. 10. 30)을 기준으로 설계하중을 계산 하였다[4]. 풍하중은 바람에 의한 힘을 나타내며, 구조물 을 설계할 때 상대적으로 큰 힘을 갖기 때문에 중요하게 고려해야 할 하중이다. 시뮬레이션에 적용하는 바람의 속도는 건축구조기준에 의거하여 다음과 같이 계산하였다.

$$V_z = V_0 \cdot K_{zr} \cdot K_{zt} \cdot I_w \tag{1}$$

여기서  $V_z$ 는 설계 풍속을 말하며,  $V_0$ 는 기본 풍속으로 단위는 m/s이다. 기본 풍속은 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 1>에 의해 청주지역을 설정하여 30 m/s로 하였다.  $K_{zr}$ 는 풍속 고도 분포 계수를 말한다. 풍속 고도 분포 계수 를 정하기 위해서는 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 2>의 지 표면 조도 구분에 따라 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 3> 및 참고문헌 4의 <표 0305. 5. 4>에 따라 정한다. 지표 면 조도 구분은 주변지역의 지표면 상태에 따라 장애물 이 거의 없고, 주변 장애물의 평균높이가 1.5 m 이하인 지역으로 설정하여 D로 지정하였다. 그에 따라 대기 경 계층의 시작 높이 및 기준 경도풍 높이는 각각 5 m, 250 m이다. 풍속 고도 분포 계수는 구조물의 지표면에서의 높이가 5 m이하이기 때문에 1.13으로 정하였다.  $K_{xt}$ 는 지형계수를 나타내고 참고문헌 4의 식 (0305.5.3.)에 의 해 1.23이 된다.  $I_w$ 는 건축물의 중요도 계수를 나타내고 발전소용 건축물로 가정하여 중요도를 "특"으로 설정하여 그 값은 1.00이다. 따라서 설계풍속은 41.697 m/s로 계산된다.

#### 2.3 구조 설계

태양광 모듈의 배열에 따른 풍하중의 차이를 비교하 기 위하여 모듈사이의 간격을 다르게 하여 PTC사에서 제공하는 상용코드인 Pro-Engineer을 사용하여 Fig. 2에 서와 같이 3D 형상을 모델링 하였으며, Fig. 3과 같이 모 듈 사이의 간격을 두지 않은 경우, 각 모듈사이에 가로 40mm, 세로 650 mm 간격이 있는 경우, 가로 80mm, 세 로 130 mm의 간격이 있는 경우의 세 경우를 설계하였다.



Fig. 2. Solar tracker model (a) Bottom view (b) Perspective view (c) Front view (d) Side view



- Fig. 3. Classification by spacing between the solar module
  - (a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm
  - (c) gap\_h;80 mm

# 3. 해석 방법

#### 3.1 풍압 해석

#### 3.1.1 수치해석과 지배방정식

추적식 태양광 발전기의 패널에 작용하는 바람에 의 한 풍압을 상용 CFD 코드인 CFX v.17을 사용하여 수치 해를 구하였다. 태양광 모듈은 실외에 설치하는 구조로 난류유동이 적용된다. 본 논문에서는 박리 모델이 잘 표 현되는  $k - \epsilon$  난류 모델과  $k - \omega$  난류 모델이 결합된 전단응력이송 (shear-stress transport (SST)) 모델을 사 용하였다. 이 모델은 벽 근처에서는 난류-주파수 기반 모 델을 사용하고, 벌크유동에는  $k - \epsilon$  난류 모델을 사용한 다[6,7].

#### 3.1.2 격자 구조

본 논문에서 해석한 설계 모형은 구조가 매우 단순하 기 때문에 태양광 모듈 전체를 정지된 (no-slip) 조건의 벽으로 설정하였다. 유동장의 격자 생성은 수치 해의 정 확성에 영향을 미치는 요인이기 때문에 격자가 잘 만들 어졌는지 확인해야 한다. 본 논문의 해석에서 격자의 정 확성을 측정하기 위해 skewness의 값을 사용하였는데, 최대값을 0.9이하로 하였다.

#### 3.1.3 해석 조건

태양광 추적식 발전기에 작용하는 풍압을 유한 요소 방법으로 해석하기 위해서 사용한 경계 조건은 태양광 모듈을 직육면체 (1 m x 1 m x 3 m)로 둘러싸고, +y축 방향의 면을 입구 경계면(inlet boundary)으로 유속은 42 m/s로 설정하고, 나머지 다섯 면은 opening boundary로 설정하여 상대압은 0으로 처리하였다. 그리고 태양광 모 듈 전체를 미끄럼이 없는 벽(no-slip wall)으로 설정하였다.

물질은 1기압, 섭씨 25도, 등온열전달의 공기이며, 부 양성은 없으며 정적이다. 벽함수는 자동으로 선택되도록 하였으며, 초기조건은 자동으로 선택하였고, 난류정도는 중급으로 선택하였다[8].

#### 3.2 구조 해석

#### 3.2.1 수치해석과 지배 방정식

추적식 태양광 발전기의 구조물을 상용 코드인 Ansys Workbench v.17을 사용하여 구조해석 하였다[9]. 태양 광 발전기에 작용하는 외력은 유동해석에서 구한 풍압과 구조물이 갖는 자중이다. 구조물에 사용된 재료는 아래 Table 1과 같은 물성 값을 갖는 구조용 강 (structure steel)을 사용하였다. 구조물의 안정성 판단은 파단이 일 어나는 항복점을 고려해야한다. 본 구조물에 사용한 재 료가 갖는 인장 및 압축 항복 응력 (tensile or compressive yield stress)은 250MPa이다.

Properties	Value	Unit
Density	7850	kg/m³
Young's Modulus	2x10 <sup>5</sup>	MPa
Poisson's Ratio	0.3	
Tensile Yield Strength	250	MPa
Compressive Yield Strength	250	MPa
Tensile Ultimate Strength	460	MPa

Table 1. Properties of the material of the structure

#### 3.2.2 외력 조건

추적식 태양광 발전기는 가동부를 가급적 가볍게 하 여 구동부에 가해지는 하중을 줄여야 움직임이 유연하 고, 경제적 비용을 줄일 수 있기 때문에 풍압이 가장 작 게 발생되는 경우에 대하여 구조해석을 하였다. 해석 결 과, 태양광 모듈간의 간격이 0 mm일 때 작용면의 압력 이 가장 작다. 따라서 구조해석에서는 모듈사이의 간격 이 없는 경우에 대하여 유동 해석 결과의 압력분포를 적 용하였다. 태양광 모듈의 면적을 압력분포와 유사하게 나누어 각 구역에 최대 압력을 설정하였다. 구조물의 자 중은 중력을 적용하여 계산하였다. 태양광 모듈 하나의 무게 15.5 kg을 포함하여 구조물 전체의 무게는 356.39 kg로 설정하고, 구조물이 구동부와 접촉하는 면을 고정 단으로 설정하였다.

# 4. 해석 결과

추적식 태양광 발전기는 발전부에 해당하는 태양광 모듈이 태양의 고도와 방향에 따라 회전하므로 지평면과 이루는 경사각이 변한다. 본 논문에서는 Fig. 3에서 모듈 간의 간격에 의해 분류한 세 경우에 경사각이 Fig. 4와 같이 각각 30°, 45°, 60°일 때 태양광 모듈에 작용하는 압력분포를 구하고 비교하였으며, 이를 이용하여 구조해 석을 하였다.



Fig. 4. Inclination angle of module support structure (a) 30 Deg. (b) 45 Deg. (c) 60 Deg.







Fig. 6. Location of pressure graph line

Fig. 5는 경사각이 30°를 이룰 때 태양광 모듈의 압력 분포이다. 정면도를 보면 z축을 기준으로 아래에서 위로 올라 갈수록 압력이 줄어든다.

Fig. 6은 압력 그래프가 그려진 위치를 표기하였다.

#### 4.1 풍압 해석

#### 4.1.1 경사각 30° 인 경우

Fig. 7~10은 두 점을 지나는 직선위의 노드점에서 나 타나는 압력을 그래프로 표현하였다. Fig. 7의 그래프는 두 점 (-1.5, 0, 0), (-1.5, 2.6, 1.5)을 지나는 직선 (line v) 위의 압력이다. 이 때에는 z축의 좌표가 0인 지점에서 최대 압력을 나타내는데 태양광 모듈 사이의 간격에 관 계없이 최대값이 1,100 Pa로 계산된다. 하지만 태양광 모듈 사이의 간격이 없는 경우에는 최대 압력을 기준으

로 값이 감소하는 것에 비해, 간격이 있는 경우 모듈과 모듈 사이의 빈 공간 (z=0.7)을 지나면 압력 값이 최대값 에 가깝게 증가하였다가 감소한다. Fig. 8은 Fig. 7에서 압력이 감소하기 시작한 z축의 좌표가 0.115일 때를 비 교하기 위하여 점(0, 0.2, 0.115)과 점(-3, 0.2, 0.115)을 지나는 직선 (line al) 위의 압력 분포를 비교한 그래프 이다. 모듈 사이의 빈 공간에서 압력이 0 Pa에 가깝게 내려가지만, 세 경우 모두 최대값은 800 Pa로 계산되고 전체적인 개형도 비슷하게 나타난다. Fig. 9은 Fig. 7에 서 압력이 감소하다가 증가한 지점을 비교하기 위하여 점 (0, 1.5, 0.87)과 (-3, 1.5, 0.87)을 지나는 직선 (line b1) 위의 압력 분포를 비교한 그래프이다. 세 경우에 그 래프 개형은 비슷하게 나타나지만, 간격이 0 mm인 경우 에 최대 압력이 262.08 Pa이고, 40 mm인 경우는 최대값 이 357.26 Pa, 80 mm인 경우는 최대값이 454.46 Pa이 계산 되었다. Fig. 10은 Fig. 7에서 압력이 증가하다가 감소하는 지점을 비교하기 위하여 점(0, 1.732, 1)과 점 (-3, 1.732, 1)을 지나는 직선 (line c1) 위의 압력 분포를 비교한 그래프이다. 세 경우에 그래프 개형은 비슷하게 나타나지만, 간격이 0 mm인 경우에 최대값이 221.92 Pa, 40 mm인 경우는 최대값이 253.09 Pa, 80 mm인 경 우는 최대값이 306.56 Pa이 되었다.



Fig. 7. Pressure graph from point(-1.5, 0, 0) to (-1.5, 2.6, 1.5)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm



Fig. 8. Pressure graph from point(0, 0.2, 0.115) to (-3, 0.2, 0.115)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm





(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm



Fig. 10. Pressure graph from point(0, 1.732, 1) to (-3, 1.732, 1)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm

#### 4.1.2 경사각 45° 인 경우

Fig. 11은 경사각이 45°일 때 태양광 모듈의 압력분 포이다. Fig. 5에서와 유사한 분포이다. Fig. 12의 그래 프는 두 점 (-1.5, 2.11, 2.11), (-1.5, 0, 0)을 지나는 직선 (line v) 위의 압력이다. 태양광 모듈 배열의 차이에 따라 세 경우를 비교해보면 세 경우 모두 z축의 좌표가 0인 지점에서 최대 압력이 계산되고 그 값도 1,150 Pa로 같 다. 하지만 태양광 모듈 사이의 간격이 없는 경우에는 최 대 압력을 기준으로 값이 감소하는 것에 비해, 간격이 있 는 경우 모듈과 모듈 사이의 빈 공간 (z=1)을 지나면 압 력 값이 최대값에 가깝게 증가하였다가 감소한다. Fig. 13은 Fig. 12에서 압력이 감소하기 시작한 z축의 좌표가 0.2일 때를 비교하기 위하여 점(0, 0.2, 0.2)과 점(-3, 0.2, 0.2)을 지나는 직선 (line a2) 위의 압력분포를 비교한 그 래프이다. 모듈 사이의 빈 공간에서 압력이 감소하지만, 세 경우 모두 최대값이 1,050 Pa로 계산된다. Fig. 14는 Fig. 12에서 압력이 감소하다가 증가한 지점을 비교하기 위하여 점(0, 1.2, 1.2)과 점(-3, 1.2, 1.2)을 지나는 직선 (line b2) 위의 압력 분포를 비교한 그래프이다. 세 경우 에 그래프 개형은 비슷하게 나타나지만, 간격이 0 mm인 경우에는 최대값이 547.68 Pa, 40 mm인 경우는 최대값 이 637.75 Pa, 80 mm인 경우는 최대값이 764.88 Pa이 계산 되었다. Fig. 15는 Fig. 12에서 압력이 증가하다가 다시 감소한 지점을 비교하기 위하여 점(0, 1.6, 1.6)과 점(-3, 1.6, 1.6)을 지나는 직선 (line c2) 위의 압력 분포 를 비교한 그래프이다. 세 경우에 그래프 개형은 비슷하 게 나타나지만, 간격이 0 mm인 경우에는 최대값이 375.91 Pa, 40 mm인 경우는 최대값이 430.52 Pa, 80 mm인 경우는 최대값이 467.00 Pa 로 계산 되었다.







Fig. 12. Pressure graph from point (-1.5, 0, 0) to (-1.5, 2.11, 2.11)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm



Fig. 13. Pressure graph from point (0, 0.2, 0.2) to (-3, 0.2, 0.2)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm





(a) gap h;0 mm (b) gap h;40 mm (c) gap h;80 mm





4.1.3 경사각 60° 인 경우

Fig. 16는 경사각이 60°일 때 태양광 모듈의 압력분 포이다. 경사각이 30° 인 경우와 45° 인 경우와 유사한 분포이지만 빈 공간을 지나 압력이 증가하는 구역이 커 졌다. Fig. 17은 점(-1.5, 0, 0)과 점(-1.5, 1.7, 3)을 지나 는 직선 (line v) 위의 압력이다. 태양광 모듈 배열의 차 이에 따라 세 경우를 비교해보면 세 경우 모두 z축의 좌 표가 0인 지점에서 최대 압력이 계산되고 그 값도 1,230 Pa로 같다. 하지만 태양광 모듈 사이의 간격이 없는 경 우에는 최대 압력을 기준으로 값이 감소하는 것에 비해. 간격이 있는 경우 모듈과 모듈 사이의 빈 공간 (z=1.3)을 지나면 압력 값이 최대값에 가깝게 증가하였다가 감소한 다. Fig. 18은 Fig. 17에서 압력이 감소하기 시작한 z축 의 좌표가 0.35일 때를 비교하기 위하여 점(0, 0.2, 0.35) 과 점(-3, 0.2, 0.35)을 지나는 직선 (line a3) 위의 압력 분포를 비교한 그래프이다. 모듈 사이의 빈 공간에서 압 력이 감소하지만, 세 경우 모두 최대값이 1200 Pa로 비 슷하다. Fig. 19은 Fig. 17에서 압력이 감소하다가 증가 한 지점을 비교하기 위하여 점(0, 0.8, 1.4)과 점(-3, 0.8, 1.4)을 지나는 직선 (line b3) 위의 압력 분포를 비교한 그래프이다. 세 경우에 그래프 개형은 비슷하게 나타나 지만, 간격이 0 mm인 경우에는 최대값이 902.08 Pa, 40 mm인 경우는 최대값이 1024.72 Pa, 80 mm인 경우는 최대값이 1213.66 Pa이 계산 되었다. Fig. 20은 Fig. 17 에서 압력이 증가하다가 다시 감소한 지점을 비교하기 위하여 점(0, 1.21, 2.1)과 점(-3, 1.21, 2.1)을 지나는 직 선 (line c3) 위의 압력 분포를 비교한 그래프이다. 세 경 우에 그래프 개형은 비슷하게 나타나지만, 간격이 0 mm 인 경우에는 최대값이 597.43 Pa, 40mm인 경우는 최대 값이 658.46 Pa, 80 mm인 경우는 최대값이 708.83 Pa 이 되었다.







Fig. 17. Pressure graph from point (-1.5, 0, 0) to (-1.5, 1.7, 3)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm



Fig. 18. Pressure graph from point (0, 0.2, 0.35) to (-3, 0.2, 0.35)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm



Fig. 19. Pressure graph from point (0, 0.8, 1.4) to (-3, 0.8, 1.4)

(a) gap\_h;0 mm (b) gap\_h;40 mm (c) gap\_h;80 mm



Fig. 20. Pressure graph from point (0, 2.1, 2.1) to (-3, 2.1, 2.1)

(a) gap h;0 mm (b) gap h;40 mm (c) gap h;80 mm

아래의 Table 2와 3는 위의 해석 결과를 정리한 것으 로서 경사각이 커짐에 따라 최대압력이 증가하는 것을 보여준다. 또한 모듈간의 간격이 커짐에 따라 압력이 증 가함을 보여준다.

Table 2. Maximum wind pressure on the panel

	angle			
	30°	45°	60°	
Pressure (Pa)	1100	1150	1230	

Table 3. Wind pressure on the panel

angle	Pressure (Pa)				
	line	gap_h:0 mm	gap_h:40mm	gap_h:80 mm	
30°	b1	262.08	357.26	454.46	
	c1	221.92	253.09	306.56	
45°	b2	547.68	637.75	764.88	
	c2	375.91	430.52	467.00	
60°	b3	902.08	1,024.72	1,213.66	
	c3	597.43	658.46	708.83	

#### 4.2 구조 해석

앞의 풍압해석 결과, 세 경우 중 모듈 사이의 간격이 0 mm일 때 풍압의 크기가 가장 작으며, 경사각이 커질 수록 풍압이 증가하였다. 따라서 구조해석에서는 모듈 사이의 수평간격이 0 mm 이며, 경사각이 60 도인 경우 에 구조물에 발생하는 응력과 변형률을 계산하였다. Fig. 21은 패널부의 변형을 나타낸 것으로 아래 모서리 부분 에서 약 14.9 mm의 변형을 보인다. Fig. 22는 등가탄성 변형률을 나타낸 것으로서 전반적으로 3.1574x10-4 mm/mm 이하의 변형률을 보인다. Fig. 23은 등가응력 (von Mises)으로서 판넬부는 전반적으로 20 MPa이하의 응력을 보인다. Fig. 24는 응력이 크게 작용되는 원형관 을 확대한 것으로서 원형관의 크기는 외경 76.4 mm, 내 경 56 mm 로서, 기어가 연결되는 고정부에 응력이 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 이 때 등가응력은 131.82 MPa 이며, 등가변형률은 6.64x10<sup>-4</sup> mm/mm 이다. 등가 응력 값이 사용된 재료의 인장 항복응력 (tensile yield stress) 인 250 MPa에 비하여 약 1/2이므로 안전하게 설계되었 음을 알 수 있다.



Fig. 21. Total deformation at 60°



Fig. 22. Equivalent elastic strain at 60°



Fig. 23. Equivalent stress (von Mises) at 60°



Fig. 24. Enlarged view of equivalent stress (von Mises) at 60°

# 5. 결론

태양광 추적 장치를 설계하기 위해 구조물에 작용하 는 하중을 유한요소 해석 방법으로 계산하였고, 태양광 모듈의 모듈간의 간격을 다르게 하여 하중의 크기를 해 석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 풍압 해석결과 태양광 패널의 가장 아래 부분에서 풍압이 가장 크게 나타난다.
- (2) 지면과의 각도가 증가할수록 풍압이 커지며, 최대 풍압은 60 도 인 경우에 30 도 인 경우에 비하여 약 2배의 풍압이 발생한다.
- (3) 풍압 해석결과 태양광 모듈사이에 간격이 있으면 그 사이의 빈 공간을 지나면서 압력이 커지는 현 상이 나타난다. 따라서 모듈사이의 간격이 없는 경우가 더 유리하다.
- (4) 모듈간의 간격을 다르게 하여 해석 한 결과, 풍압 이 수평 간격 0 mm는 40 mm, 80 mm인 경우를 비교하였을 때, 경사각 30 도인 경우 가장 큰 차 이가 발생하였으며, 각각 최대 1.36배와 1.73배의 차이가 나타난다.
- (5) 구조를 해석한 결과 재료의 인장 항복응력 (tensile yield stress)인 250 MPa을 기준으로 안 전율 약 2배로 설계되었다.

#### References

- G. I. Song, "Solar Industry Developing Status and Prospects in RPS", *Journal of the KSME*, vol. 52, no. 3, pp. 42-46, Mar. 2012.
- [2] E. C. Jo, W. J. Lee, M. S. Jeon, J. S. Lee, "The Present and Future of Solar technology", *Journal of the KSME*, vol. 49, no. 11, pp. 28-33, Nov. 2009.
- [3] H. J. Lim, H. W. Noh, Y. S. Lim, D. H. Kim, "Direction and Strategy of PV R&D Technical Programs of Korea for the Next Decade", *The Korean Society For New And Renewable Energy*, pp. 406-407, May 2008.
- [4] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), Korea Building Code 2016, http://www.kcsc.re.kr/File/2/CIGCDCF90037/CIGCDCF9 0037.pdf, (accessed Dec., 09, 2016).
- [5] LG Electronics, LG250S9W Specifications, http://www.lge.co.kr/kr/business/product/common/redirect ProductDetail.do?cateId1=CT00000707&prdId=MD0002 0280&cateId2, (accessed Dec., 09, 2016).
- [6] Florian R. Menter, "Review of the Shear-Stress

Transport Turbulence Model Experience from an Industrial Perspective", *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, vol. 23, no. 4, pp. 305-316, April-May 2009. DOI: https://doi.org/10.1080/10618560902773387

- [7] J. H. Lee, K. J. Jung, "Aerodynamic Analysis of a Three-dimensional Wing using Transition SST Turbulence Model", *Korea Society for Computational Fluids Engineering*, pp. 45-48, Nov. 2010.
- [8] Ansys, Inc. ANSYS CFX-Solver Modeling Guide, Release 15.0, Nov. 2013.
- [9] Ansys, Inc. ANSYS Workbench user's guide, Release 15.0, Nov. 2013.

# 김 영 은(Young-Eun Kim)

#### [준회원]

이 재 진(Jae-Jin Lee)



[정회원]

- 2014 2월 : 아주대학교 대학원 전 자공학과 (전자공학석사)
- 2016년 2월 : 아주대학교 대학원 우주전자공학과 (공학박사 과정)
- 2002년 6월 ~ 현재 : 성창통신(주) 대표이사
- •2008년 3월 ~ 현재 : 충청대학교 전자통신과 강사

<관심분야> 정보통신, 전력전자, 태양광

![](_page_8_Picture_15.jpeg)

•2016년 2월 : 충북대학교 기계공학 부 (공학사)

•2016년 3월 : 충북대학교 기계공학 과 대학원 석사과정

<관심분야> 기계설계, 구조해석

# 정 규 원(Kyu-Won Jeong)

# [정회원]

![](_page_8_Picture_21.jpeg)

- 1984년 2월 : 한국과학기술원 기계 공학과 (공학석사)
- 1989년 2월 : 한국과학기술원 생산 공학과 (공학박사)
- •1989년 3월 ~ 1995년 9월 : (재) 산업과학기술연구소 책임연구원
- •1995년 10월 ~ 현재 : 충북대학교 기계공학부 교수

<관심분야> 로봇공학, 메카트로닉스