

# LED 융합조명 모듈 자동화 조립 시스템의 피더에 관한 구조해석 및 동특성 해석

추세웅\*, 정상화\*:#

\*조선대학교 기계공학과

## Structural and Dynamic Characteristic Analysis of a Feeder for an Automatic Assembly System of an LED Convergent Lighting Module

Se-Woong Choo\*, Sang-Hwa Jeong\*:#

\*Department of Mechanical Engineering, Chosun UNIV.

(Received 29 September 2016; received in revised form 4 October 2016; accepted 6 October 2016)

### ABSTRACT

In the current lighting market, LEDs that have a high luminous efficiency, a long life and consume less power have emerged as next generation lighting. Owing to various designs and sizes of LEDs, the production process of existing LEDs involves many tasks that require manual labor; hence, the assembly of LEDs necessitates manpower. Because of the use of manpower, the production costs of LEDs increases and production efficiency decreases. Recently, the assembly parts of LEDs have been standardized for minimizing manual labor, and an LED is developed as an LED panel. The automatic assembly system produces LED convergent lighting by assembling two LED panels and one diffusion cover. To increase the production efficiency of the LED convergent lighting module, it is important that the development of a feeder can continuously supply the LED panels is required, and whose design has sufficient stability. The automatic assembly system of the LED convergent lighting module consists of two feeders, which convey LED panels and diffusion covers to a main conveyor, which assembles the lifted panels and covers. In this study, structural analysis and fatigue life for forced loads on the conveyor line of the feeder in the process of lifting LED panels and diffusion covers of each feeder, is analyzed. In addition, the drive of the belt constituting the conveyor line of each feeder is simulated, and the dynamic characteristics of the belt is analyzed using the virtual engineering method.

**Key Words** : Stability Analysis(안정성 분석), Structural Analysis(구조해석), Dynamic Characteristic Analysis(동특성 분석), Automatic Assembly System(자동화 조립 시스템), LED Convergency Lighting(LED 융합 조명), Panel Feeder(패널 피더), Diffusion Cover Feeder(확산판 커버 피더)

## 1. 서 론

# Corresponding Author : shjeong@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7178, Fax: +82-62-230-7178

현재 조명시장에서는 LCD 조명에 비해 작은 소비

전력으로 높은 광 효율을 가지고 있으며 비교적 수명이 긴 LED 조명이 차세대 조명으로 부상하고 있다. 기존 LED 조명의 생산과정은 디자인과 크기의 다양성 때문에 대부분의 생산과정을 수작업으로 진행하고 있다. 공정과정에서 수작업이 많으므로 조립 작업에 많은 인력이 필요하며 LED 조명의 생산 단가는 올라가게 되고 생산 효율이 낮아지는 문제가 발생한다. 최근에는 수작업을 최소화하기 위해 LED 조명 조립부품들은 규격화되고 있으며, LED 융합 조명 조립에 사용되는 하나의 LED 패널로 개발되고 있다. 자동 조립 시스템은 두개의 LED 패널과 하나의 확산판 커버를 조립하여 LED 융합 조명 모듈을 생산한다. LED 융합 조명 자동화 조립 시스템은 LED 패널과 확산판 커버를 각각 이송하는 LED 패널 피더와 확산판 커버 피더와 이송된 LED 패널과 확산판 커버를 조립하는 메인 컨베이어로 구성되어 있다<sup>[1]</sup>. LED 융합 조명 모듈의 생산효율을 높이기 위해서 LED 패널과 확산판 커버를 지속적으로 공급가능한 피더 시스템의 개발이 필요하고 충분한 안정성을 갖는 설계가 중요하다.

ADAMS는 시제품을 만들지 않고 복잡한 기계적 시스템들을 시뮬레이션 함으로써 동특성을 분석하고 결과를 컴퓨터 화면에 가시화하여 가상 시제품(virtual prototype)을 만들기 위한 프로그램으로 자동차, 항공 공학 및 다양한 기계공학 분야에서 폭넓게 사용된다. 가상 시제품이란 설계한 시스템을 실제 제작하기 이전에 모델링 하여 실제와 같은 경계조건과 해석 조건에서 시뮬레이션 함으로써 3차원적인 시스템의 동특성을 컴퓨터상에서 가시화하는 것을 말한다. 가상 시제품을 개발함으로써 시스템의 개발 초기 단계에서 설계상의 결함과 문제를 발견하여 시제품 개발에 소요되는 시간을 단축하고, 하드웨어적인 시제품을 만들지 않고 분석함으로써 비용을 절감할 수 있다. 설계한 시스템의 다양한 설계 사양들을 변화시켜 시스템의 성능을 쉽고 빠르게 테스트 개발된 제품의 질을 향상시킬 수 있다<sup>[2][3]</sup>.

본 연구에서는 LED 융합 조명 모듈의 조립 과정에서 발생하는 각 피더의 이송라인에 가해지는 하중에 대하여 LED 패널 피더와 확산판 커버 피더의 구조를 해석하고 피로수명을 분석하였다. 또한, 가상 공학 기법을 이용하여 각 피더의 이송라인을 구

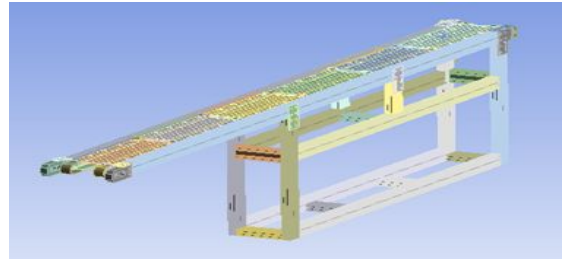


Fig. 1 Geometry of LED panel feeder

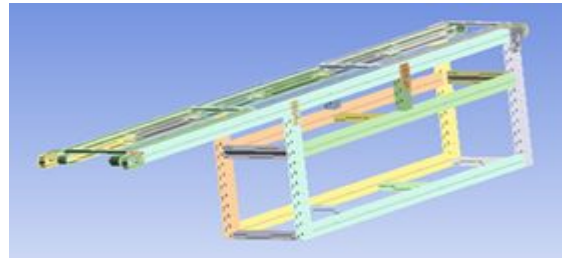


Fig. 2 Geometry of diffusion cover feeder

성하는 구동벨트의 거동을 시뮬레이션하였고 벨트 거동의 동특성을 분석하였다.

## 2. Feeder의 유한요소 해석

LED 융합 조명 모듈의 조립 과정에서 LED 패널 피더는 조립공정의 한 사이클에 대하여 2개의 LED 패널을 공급하고 최대 6개의 LED 패널을 탑재할 수 있다. 확산판 커버 피더는 1개의 확산판 커버를 공급하고 최대 3개의 확산판 커버를 탑재할 수 있다. 각 피더의 구조는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 각 피더의 이송라인에 탑재 가능한 패널과 커버의 하중을 고려하여 정적 구조해석과 허용하중을 ANSYS를 이용하여 시뮬레이션하였다. 응력집중 현상을 제거하기 위해 하중이 가해지는 이송라인에서 메시(mesh) 형상은 노드점이 4개인 사면체(tetrahedrons)로 생성하였고 정밀한 메시(fine mesh) 보다 굵은 메시(coarse mesh)로 구성하였다. 하부 프레임의 메시 형상은 노드점이 6개인 육면체(hex dominant)로 생성하였다.

Table 1 Material properties of LED panel feeder

Properties of Aluminum				
Density	Young's module	Poisson's ratio	Tensile yield strength	Tensile ultimate strength
2770kg/m <sup>3</sup>	71GPa	0.33	280MPa	310MPa
Properties of Structural Steel				
Density	Young's module	Poisson's ratio	Tensile yield strength	Tensile ultimate strength
7850kg/m <sup>3</sup>	200GPa	0.3	250MPa	460MPa

## 2.1 LED Panel Feeder의 구조해석 및 피로수명 분석

LED 패널 피더에서 프레임의 재질은 알루미늄 합금으로 되어 있고 나머지 부분은 일반 구조강으로 구성되어 있다. 구조해석에 이용된 피더의 재료 물성치는 Table 1에 나타내었다.

조립 공정 한 사이클 당 LED 패널 피더에 탑재되는 각 패널의 무게는 5 kg이고 이송라인에 총 6개의 패널이 올라감으로 30 kg 하중을 균일 분포하중으로 가정하였다. LED 패널 피더의 하중 조건은 Fig. 3에 나타내었으며, 이 하중 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 4에 나타난 바와 같이 패널 피더의 최대 총 변형량은 0.012989 mm이며, 이송라인을 지지하는 상단 프레임의 중앙에서 발생하였다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 최대 등가 응력은 2.4379 MPa이고, 프레임이 받치는 이송라인 중간에서 발생하였다. Fig. 6에 나타난 바와 같이 최소 안전계수는 15이며, 이 값은 정상 안전계수 1.5~2를 충분히 만족시킨다. LED 패널 피더는 LED 융합 조명을 조립하는 중에 발생하는 30 kg에 대하여 충분한 안정성을 갖는다. 시험 하중 30 kg에 대한 LED 패널 피더의 해석 결과는 Table 2에 정리하여 나타내었다.

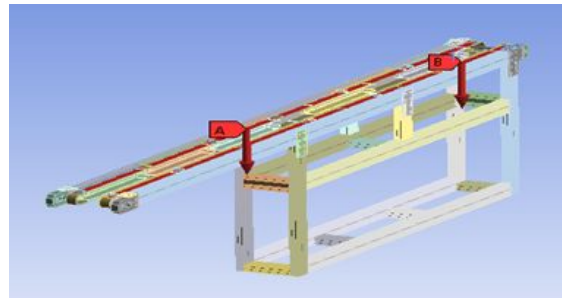


Fig. 3 Force condition of LED panel feeder

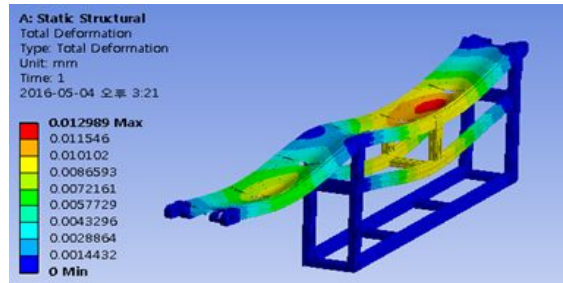


Fig. 4 Total deformation of LED panel feeder

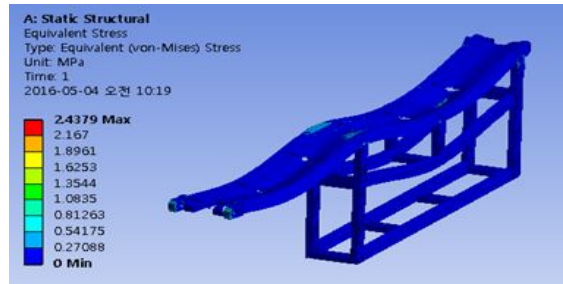


Fig. 5 Equivalent stress of LED panel feeder

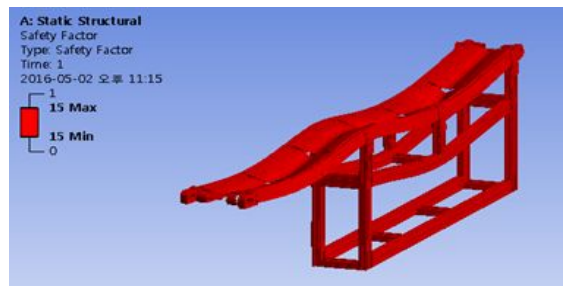


Fig. 6 Safety factor of LED panel feeder

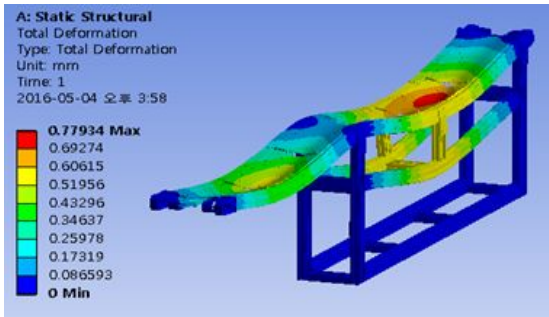


Fig. 7 Total deformation for limit load of LED panel feeder

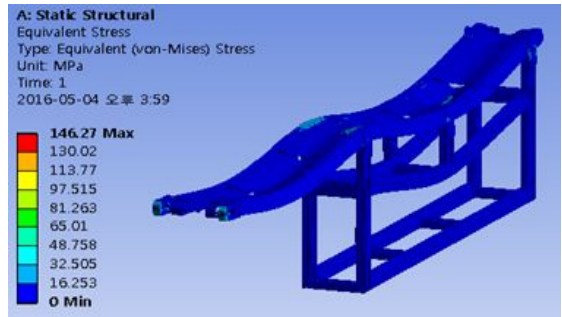


Fig. 8 Equivalent stress for limit load of LED panel feeder

Table 2 Analysis results of LED panel feeder

Test force	Total deformation	Equivalent stress	Safety factor
294 N (30 kg)	0.01299 mm	2.4379 MPa	15

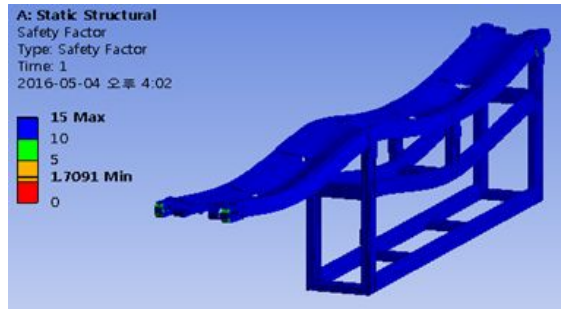


Fig. 9 Safety factor for limit load of LED panel feeder

피더가 지속적으로 LED 패널을 공급하기 위해서는 구조적으로 충분한 강성을 가져야 한다. 피더가 구조적으로 어느 정도까지 하중을 버틸 수 있는지 한계하중을 시뮬레이션하였다.

한계하중 분석에 사용된 재료의 물성치는 Table 1 과에 나타내었다. 하중 조건은 이송라인에 균일 분포하중으로 적용하였고, 정상 범위 안전계수 값 1.5~2를 만족시키는 패널 피더의 한계 하중 값을 시뮬레이션하여 구하였다.

Fig. 7에 나타난 바와 같이 패널 피더의 한계 하중에서 최대 총 변형량은 0.7793 mm이고 이송라인을 지지하는 상단 프레임의 중앙에서 발생하였다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 최대 등가 응력은 146.27 MPa로 이송라인의 중앙에서 발생하였다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 한계 하중 1,800 kg에 대한 최소 안전계수는 1.7901로, 정상 안전계수 1.5~2의 값을 만족시키므로 LED 패널 피더가 1,800 kg까지의 하중에 대하여 안정한 것으로 나타났다. 한계 하중 1,800 kg에 대한 LED 패널 피더의 해석 결과는 Table 3에 정리하여 나타내었다.

Table 3 Analysis results of limit load for LED Panel Feeder

Test force	Total deformation	Equivalent stress	Safety factor
17,640 N (1,800 kg)	0.7793 mm	146.27 MPa	1.7091

LED 패널 피더에서 30 kg 하중이 반복적으로 가해질 때 피로수명을 시뮬레이션하였다. 주기적인 하중을 받는 물체의 피로를 판단하기 위해 굿맨(Goodman) 이론을 적용하였다. 피로수명 해석 결과는 Fig. 10에 나타내었다. 피더의 프레임을 연결하는 고정부에서 최소 피로수명은  $1e6$  cycle이며, 결과값은 일반 강재의 최소 피로수명을 만족한다. 피더는 반복되어 가해지는 하중에 대해 안정함을 알 수 있다.

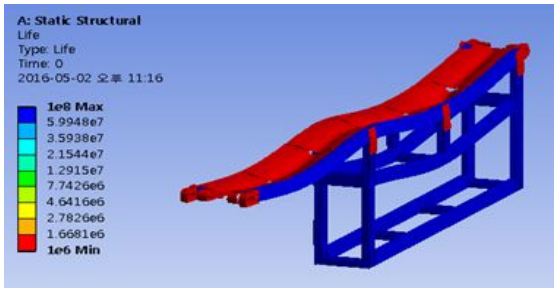


Fig. 10 Fatigue life analysis of LED panel feeder

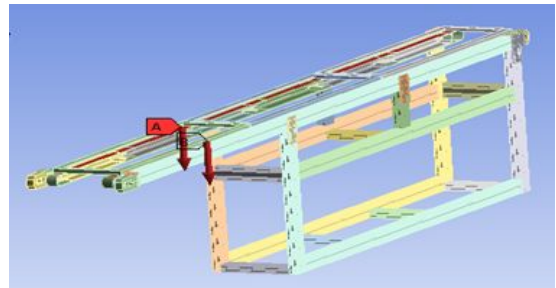


Fig. 11 Force condition of diffusion cover feeder

Table 4 Material properties of diffusion cover feeder

Properties of Aluminum				
Density	Young's module	Poisson's ratio	Tensile yield strength	Tensile ultimate strength
2770kg/m <sup>3</sup>	71GPa	0.33	280MPa	310MPa
Properties of Structural Steel				
Density	Young's module	Poisson's ratio	Tensile yield strength	Tensile ultimate strength
7850kg/m <sup>3</sup>	200GPa	0.3	250MPa	460MPa

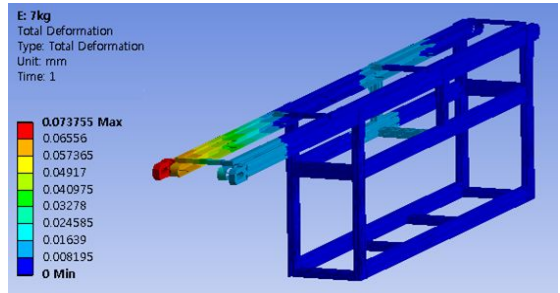


Fig. 12 Total deformation of diffusion cover feeder

## 2.2 Diffusion Cover Feeder의 구조해석 및 피로수명 분석

확산판 커버 피더는 LED 패널 피더와 동일한 구조로 이루어져 있으며, 확산판 커버 피더에서 프레임의 재질은 알루미늄 합금으로 되어있고 나머지 부분은 일반 구조강으로 구성되어 있다. 구조해석에 이용된 피더의 물성치는 Table 4에 나타내었다.

조립 공정 한 사이클 당, 피더에서 확산판 커버는 최대 3개가 올라가며 하나의 확산판 커버 무게가 7kg이므로 21 kg 하중을 균일 분포하중으로 가정하여 이송 라인 하중 조건을 설정하였다. 확산판 커버 피더의 하중 조건은 Fig. 11에 나타내었으며, 21 kg 하중 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다.

확산판 커버 피더의 최대 총 변형량은 0.07376 mm이며, Fig. 12에 나타낸 바와 같이 이송라인의 끝단부

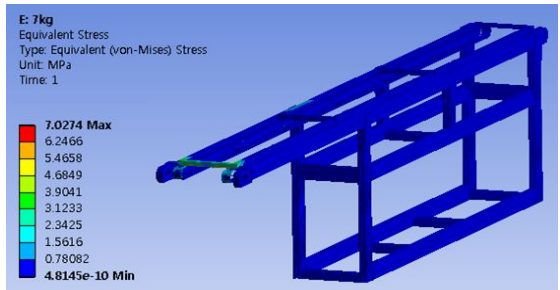


Fig. 13 Equivalent stress of diffusion cover feeder

에서 발생하였다. 최대 등가 응력은 7.0274 MPa이고, Fig. 13에 나타낸 바와 같이 이송라인의 끝단부에서 발생하였다. Fig. 14에 나타낸 바와 같이 최소 안전계수는 15이며, 이 값은 정상 안전계수 1.5~2를 충분히 만족시킨다. LED 융합 조명을 조립하는 중에 발생하는 21 kg에 대하여 확산판 커버 피더는 충분한 안정성을 갖는다. 시험 하중 21kg에 대한 확산판 커버 피더의 해석 결과는 Table 5에 정리하여 나타내었다.

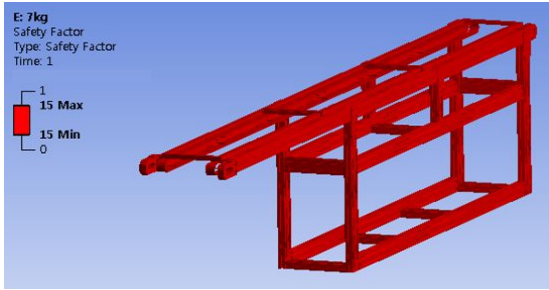


Fig. 14 Safety factor of diffusion cover feeder

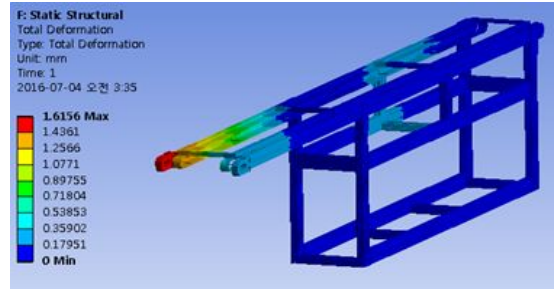


Fig. 15 Total deformation of limit load for diffusion cover feeder

Table 5 Analysis results of diffusion cover feeder

Test force	Total deformation	Equivalent stress	Safety factor
205.8 N (21 kg)	0.07376 mm	7.0274 MPa	15

피더가 지속적으로 확산판 커버를 공급하기 위해서는 구조적으로 충분한 강성을 가져야 하므로, 피더가 구조적으로 견딜 수 있는 한계하중을 시뮬레이션을 통하여 구하였다.

확산판 커버 피더의 한계하중 분석에 사용된 재료의 물성치는 Table 4에 나타내었다. 하중 조건은 이송라인에 균일하게 분포되는 것으로 가정하였고, 정상 범위의 안전계수 값 1.5~2를 만족시키는 확산판 커버 피더의 하중 값을 시뮬레이션하여 구하였다.

확산판 커버 피더의 한계 하중에 대한 최대 총 변형량은 1.6156 mm이고, Fig. 15에 나타난 바와 같이 이송라인의 끝단부에서 발생하였다. 최대 등가 응력은 153.93 MPa이며, Fig. 16에 나타난 바와 같이 이송라인의 끝단부에서 발생하였다. 한계 하중 460 kg에 대한 최소 안전계수는 1.6241로, Fig. 17에 나타난 바와 같이 피더의 이송라인 끝에서 발생한다. 해당 하중에 대하여 정상 안전계수 1.5~2의 값을 만족시키므로, 확산판 커버 피더는 460 kg까지의 하중에 대하여 안전한 것으로 나타났다. 한계 하중 460 kg에 대한 확산판 커버 피더의 해석 결과는 Table 6에 정리하였다.

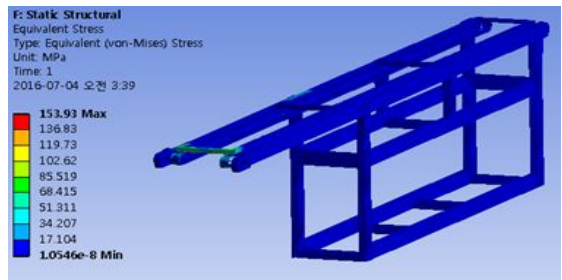


Fig. 16 Equivalent stress of limit load for diffusion cover feeder

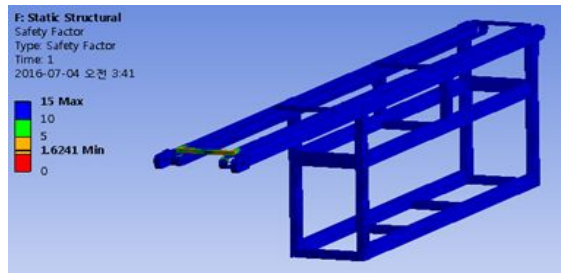


Fig. 17 Safety factor of limit load for diffusion cover feeder

Table 6 Analysis results of limit load for diffusion cover feeder

Test force	Total deformation	Equivalent stress	Safety factor
4,508 N (460 kg)	1.6156 mm	153.93 MPa	1.6241

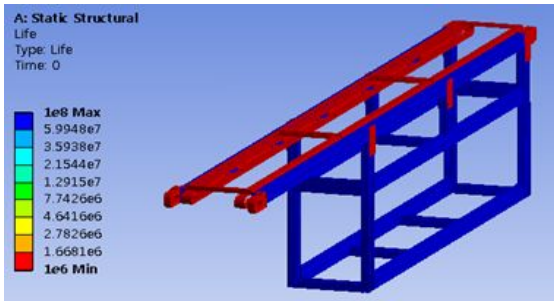


Fig. 18 Fatigue life analysis of diffusion cover feeder

LED 융합 조명을 조립하는 과정 중 발생하는 하중 21 kg이 반복적으로 가해질 때 확산판 커버의 피로 수명을 시뮬레이션하였다. 피로수명 해석 결과는 Fig. 18에 나타내었다. 최소 피로수명은 1e6 cycle로, 피더의 이송라인과 프레임에 연결하는 고정부에서 발생한다. 결과값은 일반 강재의 최소 피로수명을 만족한다. 피더는 반복되어 가해지는 하중에 대해 안정함을 알 수 있다.

### 3. Feeder 이송라인 Belt의 동적거동 분석

컨베이어 벨트는 정적 분석과 동적 분석을 적용하여 컨베이어 벨트를 분석할 수 있다. 정적 분석 방법은 길이가 짧은 컨베이어 벨트 분석에 적절하다. 길이가 길고 부피가 큰 컨베이어 벨트를 설계할 때 정적 분석 기술을 적용하면, 벨트의 구동 과정에서 과도한 벨트 장력과 구조 하중, 구동 슬립, 벨트의 처짐 등 여러 문제들이 발생할 수 있다. 길고 부피가 큰 벨트를 분석할 때, 상호작용하는 유연한 시스템으로 다루는 시각이 필요하다. 동적 분석은 부피가 큰 컨베이어에 대한 분석 비용을 절감할 수 있고 분석 시간을 줄일 수 있다<sup>4)</sup>.

각 LED 패널 피더와 확산판 커버 피더의 컨베이어 벨트의 구동 성능을 시뮬레이션하기 위해, 가상 공학 기법을 이용하여 가상 프로토타입(virtual prototype)을 시뮬레이션하였다. 벨트가 구동될 때, 벨트의 장력과 액추에이터의 토크, 풀리의 속도와 가속도를 시뮬레이션하였다. 각 피더의 이송라인을 간단하게 모델링하였고 Fig. 19에 나타내었다.



Fig. 19 Simplified model of belt conveyor

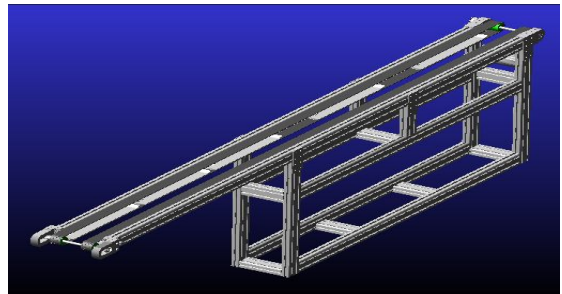


Fig. 20 Belt conveyor model of LED panel feeder

#### 3.1 LED Panel Feeder에서 이송라인 벨트의 동적거동 분석

LED 패널 피더는 “ㄱ” 모양의 구조로, 끝단부에 구동축이 위치하여 벨트가 작동된다. 모델링된 피더의 컨베이어 벨트는 Fig. 20에 나타내었다. 벨트의 구동축에 30 rpm으로 모션 조건을 주어 5초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 21에 나타낸 바와 같이 벨트의 장력은 가동 시작 단계에서 200 N까지 상승하고, 1초 이후 정상 단계에서 감소하여 135~137 N의 범위에서 안정적으로 유지된다. Fig. 22에 나타낸 바와 같이 액추에이터의 토크는 가동 시작 단계에서 9478.3 N-mm까지 상승하고, 1초 이후 정상 단계에서 4,800~4,900 N-mm의 범위에서 안정적으로 유지된다. Fig. 23에 나타낸 바와 같이 풀리의 각속도는 30 deg/sec<sup>2</sup>으로 일정한 경향을 보이고, 각속도는 150 deg/sec까지 선형적으로 증가하는 경향을 보인다. 벨트의 장력과 액추에이터의 토크, 풀리의 각속도와 각 가속도의 특성을 시뮬레이션한 결과 모델링 한 LED 패널 피더의 컨베이어 벨트가 안정적으로 구동함을 알 수 있다.

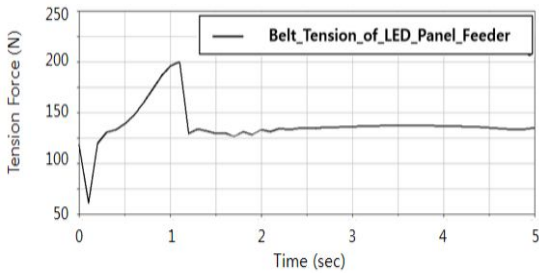


Fig. 21 Belt tension of LED panel feeder

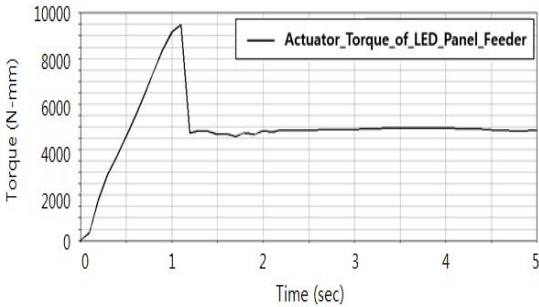


Fig. 22 Actuator torque of LED panel feeder

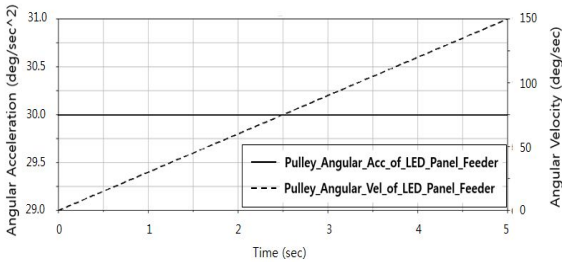


Fig. 23 Angular velocity and acceleration of driving pulley for LED panel feeder

### 3.2 Diffusion Cover Feeder에서 이송라인 벨트의 동적거동 분석

확산판 커버 피더의 구동축은 LED 패널 피더와 동일하게 끝단부에 위치하고 구동축은 벨트를 작동 시킨다. 모델링한 확산판 커버 피더의 컨베이어 벨트는 Fig. 24에 나타내었다.

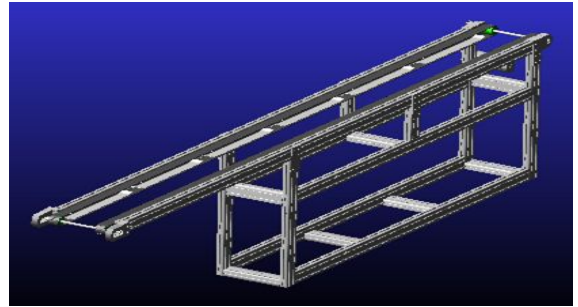


Fig. 24 Belt conveyor model of diffusion cover feeder

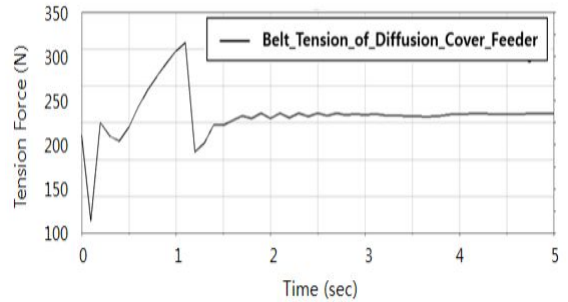


Fig. 25 Belt tension of diffusion cover feeder

벨트의 구동축에 30 rpm의 모션 조건을 주어 5초 동안 시뮬레이션하였다. Fig. 25에 나타낸 바와 같이 벨트의 장력은 가동 시작 단계에서 316 N까지 상승하고, 1초 이후 정상 단계 감소하여 233~235 N의 범위에서 안정적으로 유지된다. Fig. 26에 나타낸 바와 같이 액추에이터의 토크는 가동 시작 단계에서 14,743.8 N-mm까지 상승하고, 1초 이후 정상 단계에서 감소하여 8,300~8,400 N-mm의 범위에서 안정적으로 유지된다. Fig. 27에 나타낸 바와 같이 풀리의 각속도는 30 deg/sec<sup>2</sup>으로 일정한 경향을 보인다. 풀리의 각속도는 150 deg/sec까지 선형적으로 증가하는 경향을 보인다. 벨트의 장력과 액추에이터의 토크, 풀리의 각속도와 각가속도의 특성을 통해 시뮬레이션한 결과 확산판 커버 피더의 컨베이어 벨트가 안정적으로 구동함을 알 수 있다.



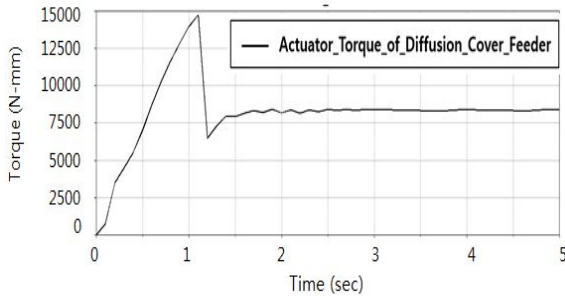


Fig. 26 Actuator torque of diffusion cover feeder

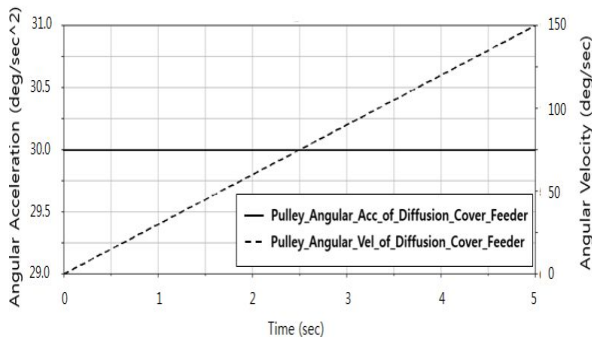


Fig. 27 Angular velocity and acceleration of driving pulley for diffusion cover feeder

#### 4. 결 론

본 연구에서는 LED 융합 조명 모듈의 조립 과정 중 각 피더에 발생하는 하중을 고려하여 정적 구조 해석과 허용하중 분석을 통해 각 피더들의 안정성을 분석하였고, 시제품을 제작하지 않고 가상 공학 기법을 통해 가상 프로토타입을 개발하여 각 피더의 벨트 성능을 시뮬레이션하였다.

LED 패널 피더는 시험 하중 30 kg에 대하여 안전계수가 15로 나타났으며 정상 범위 안전계수 1.5~2를 만족시킴을 확인하였다. 최소 피로수명은 1e6 cycle로 결과값은 일반 강재의 최소 피로수명을 만족한다. 구조적으로 LED 패널 피더는 1,800 kg의 하중까지 안정성을 갖는다.

확산판 커버 피더는 시험 하중 21 kg에 대하여 안전계수가 15로 나타났으며 정상 범위 안전계수

1.5~2를 만족시킨다. 최소 피로수명은 1e6 cycle로 결과값은 일반 강재의 최소 피로수명을 만족한다. 구조적으로 확산판 커버 피더는 460 kg의 하중까지 안정성을 가짐을 확인하였다. 안정성 분석 결과, LED 패널 피더와 확산판 커버 피더는 각각의 시험 하중에 대하여 구조적으로 충분한 안정성을 갖고 있을 알 수 있다.

LED 패널 피더와 확산판 커버 피더의 각 컨베이어 벨트에서 벨트의 장력과 액추에이터의 토크는 가동 시작 단계에서 각각 피크점을 보이고 1초 이후 정상 단계에서 일정 범위에서 안정적으로 유지된다. 구동 폴리의 각가속도는 일정한 값으로 유지되고 각속도는 선형으로 증가하는 경향을 보인다. 결과를 통해 각 피더의 벨트가 정상적으로 구동함을 알 수 있다.

#### 후 기

“본 연구는 2015년 산업통상자원부 및 한국산업기술평가원의 신성장 동력장비 경쟁력 강화사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음 (과제번호 : 10051007)”

#### REFERENCES

1. Jeong, S. H., Choo, S. W., “A Study on Stability Analysis of LED Lighting Convergence Production System using FEM,” KSPE Conference, 2015. 12., pp. 363-364, 2015.
2. Jeong, S. H., Cha, K. R., Shin, B. S., Na, Y. C., “Development of Virtual Prototype for Separator Winding and Inserting Machine of Battery Assembly,” KSPE Conference, 2002. 5., pp. 727- 730, 2002.
3. Jeong, S. H., Cha, K. R., Kim, H. U., Na, Y. C., “Development of Virtual Prototype for Labeling Unit on the Automatic Battery Manufacturing Line,” KSMTE Conference, 2002. 4., pp. 357-362, 2002.
4. Chen, Yan., Xue, He., “Model and Dynamic Simulation of Belt Conveyor,” International Conference on Intelligent System Design and

- Engineering Application, 2010. 10., pp. 949-951, 2010.
5. Kang, H. J., Kim, B. H., Kim, D. K., Choi, H. S., Yoo, C. Y., "A Study on Structural Analysis of Bladder Press System," KSMPE Conference, 2013. 5., pp. 107-107, 2013.
  6. Cheong, S. H., Choi, S. D., Kweon, H. K., Shon, J. Y., "Dynamic Analysis for Performance Improvement of Line Center," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 2, No. 2, pp. 75-83, 2003.
  7. Choi, Y. S., Lee, W. S., Hwang, I. H., Park, H. K., Jo, H. T., Lee, Y. S., Kim, K. J., Song, S. T., Lee, J. C., "A Study on the Structural Analysis of Automotive Crankshaft Multi Grinding Machine," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 11, No. 1, pp. 20~25, 2012.
  8. Han, M. S., Jo, J. u., "A Study on Durability of Under Bar at car through Structural and Fatigue Analysis," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No. 2, pp. 44-50, 2015.
  9. Cho, J. H., Moon, D. J., Lee, J. C., "A Study on the CAE Analysis of Bed of Multi-Tasking Machine for Automotive Power Train Shafts," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No.1, pp. 9-14, 2015.
  10. Jeong, J. U., Kwon, S. J., Chu, B. S., Park, J. Y., "Unified-type Design and Structural Analysis for Mecanum Wheel Performance Improvement," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 2, pp. 117-123, 2014.