

# 분리된 다축 장비의 B축 얼라인먼트 측정 장치에 관한 연구

천경호\*, 김해지\*\*,#

\*경남과학기술대학교 대학원 자동차공학과, \*\*경남과학기술대학교 자동차공학과

## Alignment Measuring Apparatus for B-axis of Separated Multi-axis Machine

Kyeong-Ho Cheon\*, Hae-Ji Kim\*\*,#

\*School of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology,

\*\*Department of Automotive Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology

(Received 18 May 2018; received in revised form 24 May 2018; accepted 31 May 2018)

### ABSTRACT

These days, the aerospace industry uses larger machining parts and assembly parts than those in the past. The assembly machines also show the same trend. This study is concerned with the alignment measuring apparatus for the B-axis of a separated multi-axis machine. The alignment measuring apparatus is widely installed for assembly machines in the aircraft assembly process. The alignment measuring apparatus consists of a swivel part and a measuring part. This is a new conceptual idea under patent. All elements of the alignment measuring apparatus are analyzed with the FEM. The analyzed result shows that the alignment measuring apparatus is high in accuracy with stability and steady deformation.

**Key Words** : Multi-axis Machine(다축 장비), Alignment Measuring Apparatus(얼라인먼트 측정 장치), B-axis(B축)

## 1. 서 론

항공산업은 다양한 분야의 기술이 융합되어 발전된 지식과 기술 집약의 최첨단산업이며, 생산 및 기술 파급효과가 매우 큰 미래형산업이다<sup>[1]</sup>. 최근의 항공기 제조기술은 대형항공기<sup>[2]</sup>의 중량을 줄이기 위해 부품의 일체화 및 대형화 추세이며, 설계 및 제작기술의 발전으로 가공·조립되는 부품

에 대한 높은 가공 정밀도와 조립 정밀도를 요구하는 경향이 두드러지게 나타나고 있다. 이와 같이 항공기 부품의 생산에 요구되는 가공 정밀도와 조립 정밀도를 만족시키고 대형화된 부품을 생산하기 위해서는 가공과 조립에 필요한 생산 장비의 정밀화 및 대형화 되어야 한다는 것을 의미한다. 특히 항공기 날개를 구성하는 대형 조립품인 윙바텀 판넬(wing bottom panel)의 외피(skin)와 종방향 부재인 스트링거(stringer)를 조립하는 공정에 사용하는 드릴&리벳팅 장비는 대형화된 여러 개의 부품을 한 번에 자동으로 조립하기 위해 개발

# Corresponding Author : khji@gntech.ac.kr

Tel: +82-555-751-3647, Fax: +82-55-751-3649

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

된 장비로 조립 공정의 작업 특성이 반영된 것이다. 이와 같이 대형 부품의 조립 공정에 적용되는 드릴&리벳팅 장비는 넓은 작업 범위를 만족하기 위하여 조립 공정의 기능부 구조물이 다축으로 분리된 독특한 구조를 가지고 있다. 조립 공정 특성으로 기능부 구조물은 다축으로 분리되어 있지만, 조립 작업 시에는 다축의 분리된 구조물이 동기화되어 구동하게 됨으로, 분리된 두 구조물에 대한 얼라인먼트(alignment)를 정밀하게 맞출 수 있는 측정 장치의 개발은 반드시 필요하다고 할 수 있다. 이와 같이 다축의 분리된 구조의 대형 조립 장비를 설치하기 위해서는 여러 종류의 측정 장치가 필요하다.

본 연구에서는 항공기 대형 부품의 조립 장비 설치 시에 요구되는 분리된 두 구조물의 얼라인먼트를 정밀하게 맞추는 공정에 필요한 얼라인먼트 측정 장치에 관하여 연구하고자 한다.

## 2. B축 얼라인먼트 측정 장치 설계

### 2.1 조립 장비 및 조립 공정

얼라인먼트 측정 장치의 설계는 조립 장비의 구조 형상에 적용이 용이한 측정 장치의 아이디어가 필요하고, 그러한 아이디어를 바탕으로 개념 설계를 시작하는 것이 필요하다 할 것이다. 얼라인먼트 측정이 필요한 조립 장비의 구조 형상은 동작하는 기능부가 분리된 형상을 갖는 다축의 두 종류 구조물이 최종적인 단계에서 한 개의 구조물에 속하는 형상을 갖는다.



Fig. 1 The assembly machine & working status

Fig. 1에서는 조립 장비의 구성 및 작업 공정의 특징을 나타내었다.

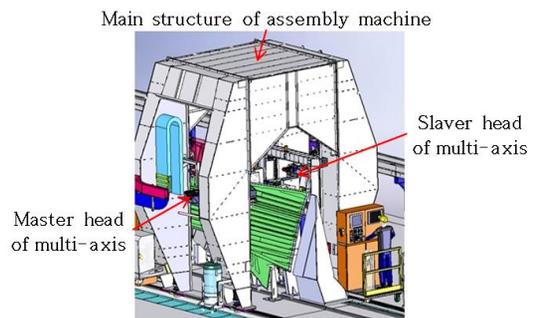
### 2.2 조립 공정 장비의 주요 구조물

다축의 분리된 조립 장비의 주요 기능부는 다음과 같이 구분된다. 마스터(master) 구동부, 슬레이브(slaver) 구동부 및 전체 구조물로 구성된다. 이와 같이 구성된 조립 장비는 Xm-Xs 축, Ym-Ys 축, Zm-Zs 축, Am-As 축, Bm-Bs 축, Shuttle 축 등으로 구동축을 구분한다. 본 연구에서는 Zm-Zs 축, Am-As 축, Bm-Bs 축을 구성하는 구동 기능부 구조물의 얼라인먼트 측정을 위한 측정 장치에 관련된 것이다.

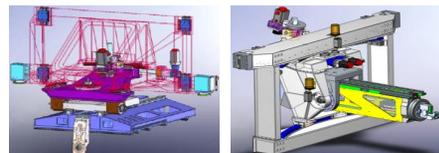
Fig. 2에서는 조립 장비에서 분리된 다축 헤드 구조물의 조립된 위치(a) 및 형상 모델(b)을 나타내었다.

### 2.3 분리된 다축 헤드의 구동 메커니즘

조립 장비를 구성하는 분리된 다축 헤드의 구동 메커니즘은 커플링 구조의 위치동기제어이다.<sup>[3-5]</sup> 조립 장비에서 마스터 헤드가 구동의 주축이며, 슬레이브 헤드는 종축을 역할을 한다. 본 연구의

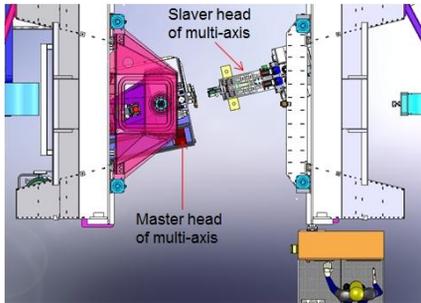


(a) Main structure of assembly machine

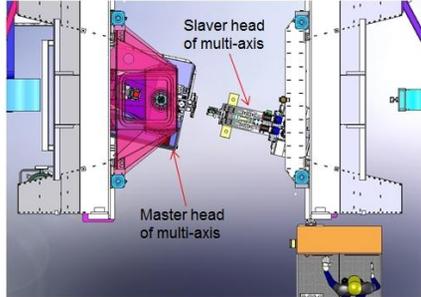


(b) Master head body & Slaver head body

Fig. 2 The structure model and assembly position of separated multi-axis



(a) B-axis plus direction of master head



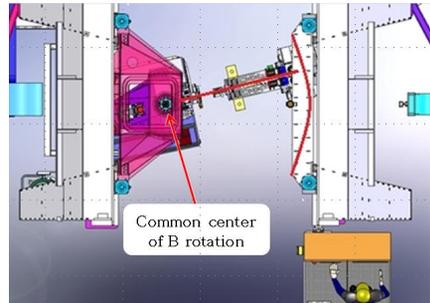
(b) B-axis minus direction of master head

Fig. 3 B-axis direction of master and slaver head

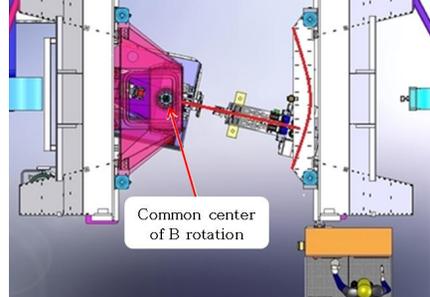
조립 장비에서 커플링 구조의 위치동기제어는 마스터(주축) 헤드의 구동 방향과 슬레이브(종축) 헤드의 구동 방향이 서로 반대 방향으로 구동하며 기능을 하는 특징적인 움직임에 갖는다. 마스터(주축) 헤드가 플러스(+) 방향으로 구동될 경우 슬레이브(종축) 헤드는 마이너스(-) 방향으로 구동되고, 마스터(주축) 헤드가 마이너스(-) 방향으로 구동될 경우 슬레이브(종축) 헤드는 플러스(+) 방향으로 구동된다.

Fig. 3에서는 마스터(주축) 헤드와 슬레이브(종축) 헤드의 구동 메커니즘의 흐름을 나타내었다.

커플링 구조의 위치동기제어로 구동되는 B축의 회전은 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 (a), (b)와 같이 Bm축, Bs축은 축 방향으로 동일 선상의 일직선으로 얼라인먼트를 맞춘 상태로 동기제어 되어 구동된다. Fig. 4의 (a)는 마스터(주축) 헤드 Bm축이 플러스(+) 방향으로 회전될 경우 슬레이브(종축) 헤드 Bs축은 마이너스(-) 방향으로 회전되는 것을 나타내었다. Fig. 4의 (b)는 마스터(주축) 헤드 Bm축이 마이너스(-) 방향으로 회전될 경우 슬레이브(종축) 헤드 Bs축은 플러스(+) 방향으로 회



(a) B-axis plus direction rotation of master head



(b) B-axis minus direction rotation of master head

Fig. 4 Motion rotation of master head

전되는 것을 나타내었다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 Bm축 구조물과 Bs축 구조물은 분리된 상태이지만, 구동은 일직선 방향으로 얼라인먼트를 맞추어 두 구조물(Bm축, Bs축)이 한 개의 구조물처럼 움직인다.

## 2.4 B축 얼라인먼트 측정 장치 설계

분리된 다축 장비의 회전축의 기준이 되는 Bm축을 중심으로 동심원을 그리며 구동하는 종동 Bs축의 얼라인먼트를 측정하기 위한 측정 장치의 설계 모델은 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 6에서는 B축 얼라인먼트 측정 장치의 세부 설계 모델을 나타내었다. Fig. 6의 #1은 Bm축 구조물의 센터에 조립되는 부품, #2는 #1에 조립되어 회전하는 부품, #3은 #2에 조립되어 회전하는 부품 등을 나타내었다. #4는 #2와 #3을 고정하는 6개의 부품, #5는 #3과 #6을 조립할 때 위치를 결정하는 1개의 부품과 #2와 #3을 조립할 때 위치를 결정하는 1개의 부품, #6은 #3에 조립되어 회전 반경의 위치를 결정하는 부품, #7은 #6과 #8

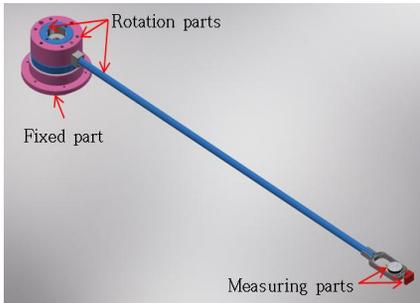


Fig. 5 Design model of alignment measuring apparatus

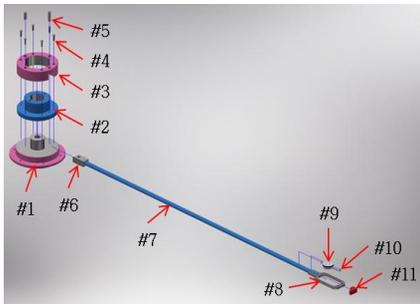


Fig. 6 Detail design model of alignment measuring apparatus

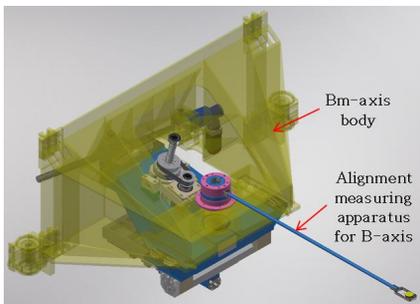
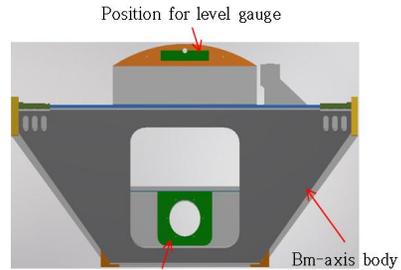


Fig. 7 Feature assembly of the alignment measuring apparatus with master head body

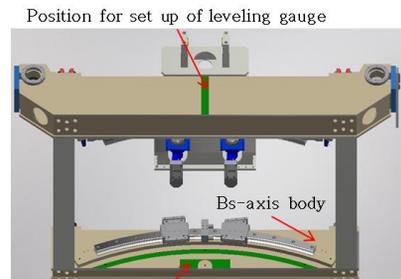
에 조립되어 회전 반경의 기본 치수를 결정하는 부품을 나타내었다. #8은 #9를 고정하고 정밀 치수 결정을 위한 기준면을 가진 부품, #9는 회전 반경 치수를 측정하는 부품, #10은 #9를 고정하는 부품, #11은 #8의 기준면과 접촉하여 회전 반경의 정밀 치수를 결정하는 부품이다.

## 2.5 B축 얼라인먼트 측정 장치와 조립장비 구조물의 체결

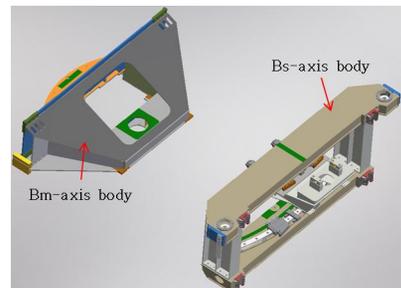
B축 얼라인먼트 측정 장치와 조립 장비 구조물의 체결은 B축 얼라인먼트 측정 장치의 고정부(Fig. 5의 fixed part)를 조립 장비 구조물의 B축 센터(Fig. 4의 common center of B rotation)에 삽입하여 볼트로 고정한다. 이때의 체결 정밀도는 조립 장비 구조물 및 B축 얼라인먼트 측정 장치의 각 체결부의 정밀 가공 공정인 보링(boring) 및 연마<sup>[6-10]</sup>의 공차에 의해서 결정된다. Fig. 7에서는 B축 얼라인먼트 측정 장치와 조립 장비의 Bm축 헤드 구조물의 체결된 형상을 나타내었다.



(a) Bm-axis body



(b) Bs-axis body

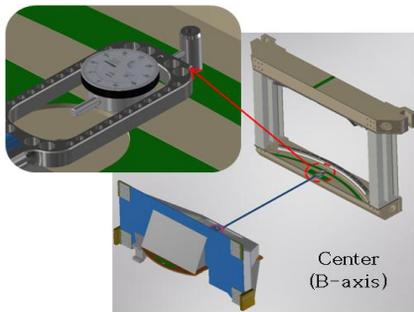


(c) Bm-Bs axis body

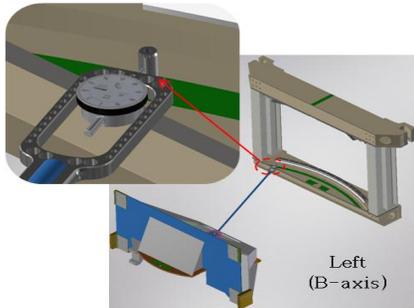
Fig. 8 Position for set up of leveling gauge

## 2.6 B축 얼라인먼트 측정 장치를 이용한 장비 구조물의 정밀도 측정

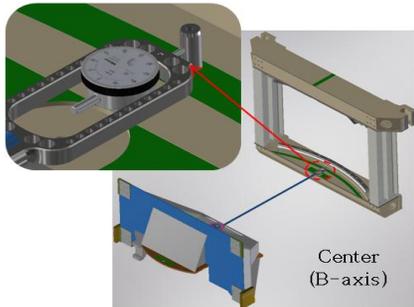
Bm-Bs 축 구조물의 동심도 측정의 준비 공정으로 Bm-Bs 축 구조물의 레벨을 측정 및 조정 공정이 선행되어야 한다. Bm-Bs 축 구조물의 전후, 좌우 레벨 측정 및 조정 공정은 B축 얼라인먼트 측정 장치로 B축 얼라인먼트 측정 시 기준점을 중심으로 회전하는 회전 동심도의 정확한 정밀도를 측정하기 위한 것이다. Fig. 8에서는 레벨 측정이 가능한 구조물의 가공된 형상을 나타내었다.



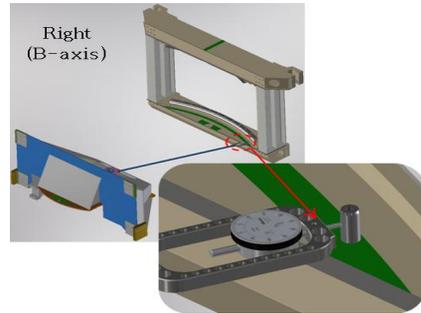
(a) Center of B-axis



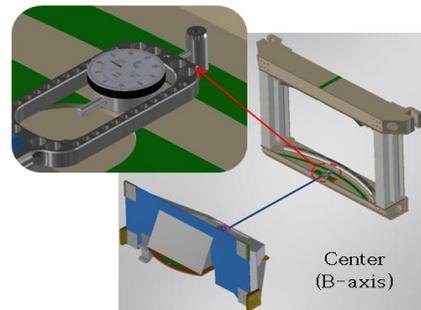
(b) Left of B-axis



(c) Center of B-axis

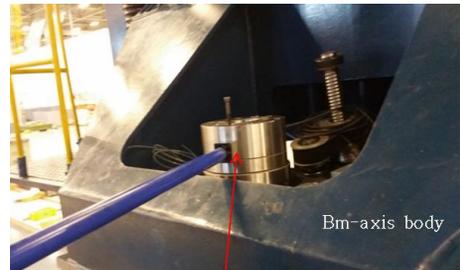


(d) Right of B-axis



(e) Center of B-axis

Fig. 9 Measuring for alignment of B-axis



Alignment measuring apparatus for B-axis

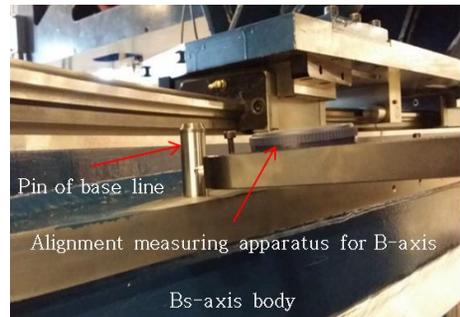


Fig. 10 Reality measuring status

Fig. 8의 레벨 측정이 완료된 후 Bm축 회전 센터를 기준으로 Bs축의 회전 동심도를 측정한다. Fig. 9에서는 Bm-Bs 축 구조물의 회전 동심도를 측정하는 형상 및 순서를 나타내었다.

Fig. 10에서는 실제 조립장비에서 B축 얼라인먼트 측정 장치를 적용하여 조립장비의 정밀도를 측정하는 테스트의 사진을 나타내고 있다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 B축 얼라인먼트 측정 장치의 설계 및 해석

B축 얼라인먼트 측정 장치의 구조는 Fig. 5와 Fig. 6에 나타난 것과 같이 구성되었다. 측정의 기준점에 조립되는 부분과 회전을 하면서 동심도를 측정할 수 있는 부분으로 구분되었다. 회전을 하면서 동심도를 측정하는 측정 부분은 외팔보

(cantilever beam) 구조이다. 외팔 보 구조의 해석 부분에 대해서만 실시했다. B축 얼라인먼트 측정 장치의 해석 결과는 Fig. 11에서 보는 바와 같다.

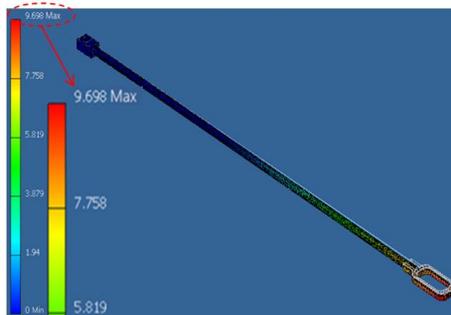
Fig. 11의 (a)는 B축 얼라인먼트 측정 장치의 구조물 변위에 대한 결과로 최대변위는 9.69mm로 나타났고, Fig. 11의 (b)는 B축 얼라인먼트 측정 장치의 구조물 안전계수에 대한 결과로 안전계수 최소값은 5.99mm로 나타났다. 얼라인먼트 측정 장치의 구조물은 설계 기준을 변위 최대 15mm, 안전계수 최소 3이상으로 설정하였고, 해석 결과에서는 설계 기준 값을 만족하는 결과로 나타났다.

#### 3.2 B축 얼라인먼트 측정 장치의 측정 테스트 결과

Fig. 9와 같은 순서로 테스트한 B축 얼라인먼트 측정 장치의 측정 신뢰성에 대한 테스트 결과는 Table 1 및 Fig. 12와 같다. 측정 게이지는 2 $\mu$ m의 정밀도를 갖는 게이지를 기준으로 적용하였다. 얼라인먼트 측정 장치의 측정 공정은 구조물 기준이며, 측정 순서는 센터-좌측-센터-우측-센터로 다섯 번 측정하는 것을 1회로 하였다. 이와 같은 공정으로 10회(50번)를 반복 측정하여 확인한 결과이다.

Table 1의 측정 결과는 측정 장치의 설계 및 해석에서 확인한 결과가 안정적이고 일정한 변형량으로 유지되고 있음을 나타내는 것이다. 얼라인먼트 측정 장치의 구조물이 안정적이고 일정한 변형량을 유지할 수 없는 설계였을 경우 측정 결과는 일정한 값을 나타내지 않았을 것이다. 특히 측정 장치의 구조물이 일정한 변형량과 그 변형량이 일정한 값으로 유지되는 설계였음을 나타내는 것이다.

Fig. 10과 같은 자유단(free-load) 상태에서 측정한 값이 동일한 위치에서 10회를 측정하는 동안 변화가 없이 유지되는 것을 확인할 수 있다. Table 1에서 센터위치(1A,C,E~10A,C,E)는 10회(30번) 동안 동일한 측정값(0), 좌측위치(1B~10B)는 10회(10번) 동안 동일한 측정값(1 $\mu$ m), 우측위치(1D~10D)는 10회(10번) 동안 동일한 측정값(2 $\mu$ m)을 나타내는 것을 확인할 수 있다.



(a) Deformation result of structure

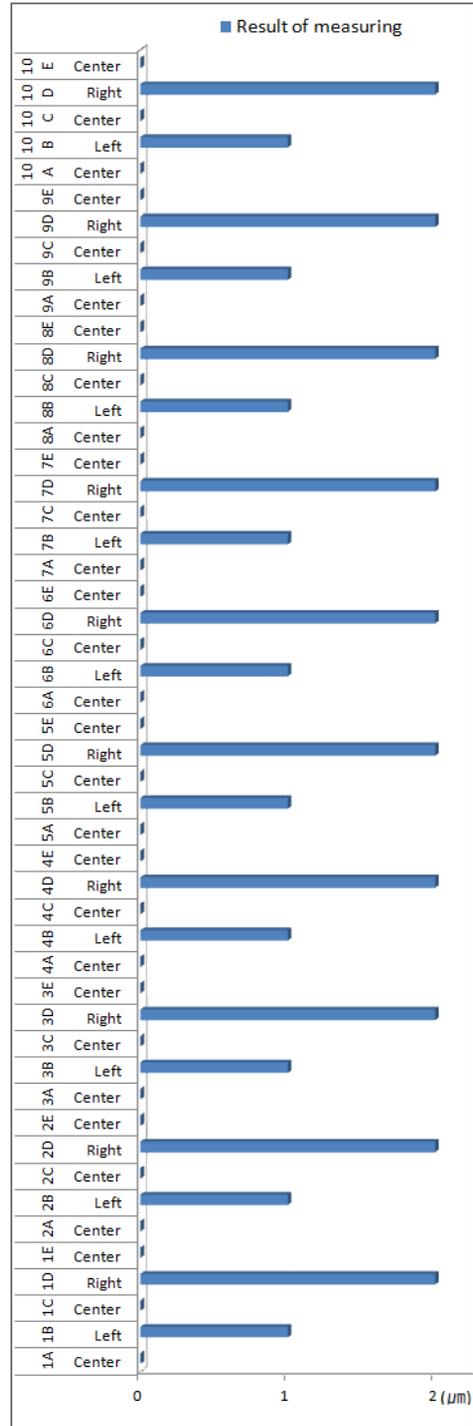


(b) Safety factor result of structure

Fig. 11 FEA result of structure of alignment measuring apparatus for B-axis

**Table 1 Measuring test result of B-axis alignment measuring apparatus**

Cycle	Position	Result of measuring( $\mu\text{m}$ )
1A	Center	0
1B	Left	1
1C	Center	0
1D	Right	2
1E	Center	0
2A	Center	0
2B	Left	1
2C	Center	0
2D	Right	2
2E	Center	0
3A	Center	0
3B	Left	1
3C	Center	0
3D	Right	2
3E	Center	0
4A	Center	0
4B	Left	1
4C	Center	0
4D	Right	2
4E	Center	0
5A	Center	0
5B	Left	1
5C	Center	0
5D	Right	2
5E	Center	0
6A	Center	0
6B	Left	1
6C	Center	0
6D	Right	2
6E	Center	0
7A	Center	0
7B	Left	1
7C	Center	0
7D	Right	2
7E	Center	0
8A	Center	0
8B	Left	1
8C	Center	0
8D	Right	2
8E	Center	0
9A	Center	0
9B	Left	1
9C	Center	0
9D	Right	2
9E	Center	0
10A	Center	0
10B	Left	1
10C	Center	0
10D	Right	2
10E	Center	0



**Fig. 12 Graph of measuring result**

#### 4. 결론

본 논문에서는 분리된 구조의 대형 조립 장비의 B축 얼라인먼트 측정 장치의 설계, 해석 및 측정 장치의 측정 테스트에 대하여 고찰하였다<sup>[12]</sup>.

얼라인먼트 측정 장치의 설계는 산업현장에서 쉽고 간단하게 사용할 수 있는 것에 초점을 맞춘 조립형이면서도 정밀도의 오차 범위를 최소화한 구조로 설계되었으며, 구조의 해석은 최대변위가 9.69mm로 지속적이고 안정된 구조로 나타났다.

얼라인먼트 최대 측정 오차는 2 $\mu$ m로 나타났으며, 항공기 날개를 구성하는 대형 조립부품인 윙 바텀 판넬의 조립 공정에 사용하는 조립 장비에서 요구되는 얼라인먼트 정밀도 76 $\mu$ m보다 30배 이상의 높은 정밀도를 구현한 결과를 확인하였으며, 높은 정밀도는 항공기 조립부품의 품질 향상으로 이어지는 결과를 나타내었다.

#### REFERENCES

1. Choi, W. Y., "The history and current state of Korean Aircraft Industry," Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 9, No. 1, pp. 27-36, 2011.
2. Chang, T. J., "The Market result and forecast of Commercial Aircraft industry," Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol. 9, No. 1, pp. 15-26, 2011.
3. Byun, J. H., "A Study on the Position-Synchronous Control of Coupling Structure by  $H^\infty$  Approach," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 26, No. 10, pp. 2052-2059, 2002.
4. Byun, J. H. and Yeo, D. J., "Synchronous Control of a Two-Axes Driving System by Disturbance Observer," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 25, No. 2, pp. 242-249, 2001.
5. Byun, J. H. and Kim, Y. B., "A Study on Construction of Synchronous Control System for Extension and Stability" Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 26, No. 6, pp. 1135-1142, 2002.
6. Lee, Y. C., Shin, G. H. and Kwak, T. S., "Deburring Technology of Vacuum Plate for MLCC Lamination Using Magnetic Abrasive Polishing and ELID Process", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Vol. 14, No. 3, pp. 149-154, 2015.
7. Lee, J. W., Cho, M. W. Ha, S. J., Hong, K. P., Cho, Y. K., Lee, I. C. and Kim, B. M., "Analysis of Polishing Mechanism and Characteristics of Aspherical Lens with MR Polishing", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Vol. 14, No. 3, pp. 36-42, 2015.
8. Kim, W. B., Cho, Y. T., Jung, Y. G. and Choi, J. D., "Manufacturing Process Improvement for Precision Inner Surface Polishing of Anodizing Treated Airplane Reservoir", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Vol. 15, No. 2, pp. 72-77, 2016.
9. Kwak, J. Y., Jeon, I. J., Park, S. E. and Lee, Y., "Improvement of the Performance of the Supersonic Abrasive Blasting Nozzle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Vol. 15, No. 2, pp. 9-15, 2016.
10. Kim, K. W., Kim, S. H. and Cho, H. Y., "Analytic Study on Pulsed-Laser Polishing on Surface of NAK80 Die Steel", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Vol. 14, No. 6, pp. 136-141, 2015.
11. Choo, S. W. and Jeong, S. H., "Structural and Dynamic Characteristic Analysis for Automatic Magazine Feeder in Automation Assembly System for LED Convergency Lighting", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers Vol. 17, No. 1, pp. 23-33, 2018.
12. Cheon, K. H.(2017), "Alignment Measuring Apparatus for Separated Multi-Axis and Alignment Measuring Method of Separated Multi-Axis," Retrieved 18, May, 2017, from <http://www.kipris.or.kr>.