

라미네이터장비의 부품 치수공차가 가압력 균일도에 미치는 영향에 대한 실험적 분석

유선중^{**†}

^{**} 동양미래대학교 기계공학과

Experimental Analysis for the Effect of Part's Dimensional Tolerance on the Pressing Pressure Uniformity of Laminator Equipment

Sun-Joong Ryu ^{**†}

^{**†} Dept. of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University

ABSTRACT

In this study, we tried to analyze and measure the correlation between the part dimensional tolerance empirically applied by the designer and the final performance of the equipment, which is expressed as the pressing pressure uniformity. For this purpose, the dimensional tolerances and pressing pressure uniformity of eight laminator equipments were measured actually. As a result of the correlation analysis, it was confirmed that the tolerance grade for each dimension determined by the designer was valid. In the case of laminator equipment, the driving parts and the flatness have the largest influence on the uniformity of the pressing pressure.

Key Words : Laminator, Dimensional Tolerance, Pressing Pressure Uniformity, Correlation Analysis

1. 서 론

정밀장비의 설계자는 제작도면 제도 시 장비의 최종 성능을 만족시키기 위하여 각각의 치수에 적절한 공차를 부여한다. 설계자는 장비의 최종 성능과 관계가 작을 것으로 판단되는 치수에는 낮은 등급의 치수 공차(보통공차)를 부여하는 것이 일반적이며, 반대로 장비 성능과 관계가 많을 것으로 판단하는 중요 치수에는 높은 등급의 치수공차(dimensional tolerance)를 부여한다. 이상과 같은 설계 상 판단은 설계자의 경험에 의하여 결정되는 것이 대부분이며, 치수공차 부여의 타당성에 대한 고찰이 실험적 근거를 가지고 이루어지는 경우는 드물다[1,2,3]. 우선적으로 연구가 필요한 부분은 제작도면에 부여된 치수공차가 장비의 최종

성능을 만족시키기에 충분한 수준인지의 여부가 된다.

본 연구에서는 반도체 제조공정에서 박막필름을 접합시키는 용도로 널리 사용되는 라미네이터(laminator) 장비를 대상으로 부품 치수공차와 장비의 최종 성능인 가압력 균일도(pressing pressure uniformity)와의 관계를 실험적으로 분석 및 고찰하는 것을 목적으로 한다[4]. 동일한 제작도면에 의하여 8대의 라미네이터 장비가 제작되었으며, 각 장비는 6가지 종류의 부품으로 조립이 되었다. 제작된 각 부품의 실제 치수를 전용 측정기를 이용하여 측정할 수 있었으며, 각 장비의 가압력 균일도 역시 압력측정필름을 이용하여 실제 값을 측정할 수 있었다.

최종적으로, 측정된 치수공차 및 가압력 균일도를 이용하여 양자간 상관관계를 분석함으로써, 본 연구의 목적인 설계 단계에서 부여된 치수공차의 적절성에 대해서 실험적으로 근거있는 결론을 내리고자 하였다.

[†]E-mail: sjryu70@dongyang.ac.kr

2. 라미네이터장비의 구조

연구에서 대상으로 하는 라미네이터는 6가지 종류의 주요 부품으로 구성되어 있다. Fig 1은 라미네이터의 사진 및 입체도면으로서 부품 명칭이 표시되어 있다. MAIN BASE는 장비의 하부 프레임의 역할을 하고 있으며, 4개의 COLUMN GUIDE에 의하여 상부 프레임인 TOP BASE 연결되어 있다. TOP BASE의 상면에는 공압실린더가 부착되어 있으며 이에 의하여 GUIDE PLATE가 상하로 구동되는 구조이다. MAIN BASE의 상면과 GUIDE PLATE의 하면에는 각각 BTM STAGE와 TOP PLATE가 부착되어 있으며, 두 개의 부품 사이에서 소재가 가압되도록 되어 있다.

Fig 2는 6종의 부품 중 MAIN BASE의 부품도이다. 부품도에는 설계자의 의도에 의하여 다양한 치수가 기입되어 있으며, 특히 장비의 최종 성능에 영향을 미칠 수 있는 중요 치수에는 적절한 치수공차가 부여되어 있다. MAIN BASE의 부품도에서 주요치수라고 판단되는 것은 점선으로 표시해 두었다. Height, Length, Width는 각각 MAIN BASE 외곽의 높이, 길이, 폭을 의미한다. MAIN BASE상면에는 COLUMN GUIDE가 조립되기 위해 필요한 구멍이 가공되어 있는데, Depth는 이 구멍의 깊이를 그리고 Inner Diameter는 내경을 의미한다. 또한 Location은 MAIN BASE 외곽으로부터 구멍 중심까지의 위치를 나타내는 치수이다. 마지막으로 Flatness는 MAINBASE 상하면의 평면도 나타내는 치수이다.

부품도 상의 각 치수에는 설계자의 의도에 의하여 기준치수(basic size) 및 치수공차가 부여된다. Table 1에는 6종의 부품에서 주요치수에 대한 기준치수 및 치수공차가 나열되어 있다. 이후 분석을 위하여 상이한 부품에 대해서도 유사한 역할을 하는 치수에 대해서는 동일한 치수 명칭을 부여하였다.

장비의 최종 성능을 위해서는 기준치수 대비 치수공차의 크기를 작게 설계하는 것이 유리하나, 이 경우 부품의 가공 비용이 크게 상승하게 될 것이다. 따라서 설계자는 성능과 비용을 최적화하기 위하여 경험적으로 중요도가 높은 치수에 대해서는 기준치수 대비 작은값의 반대의 경우에는 큰값의 치수공차를 부여한다.

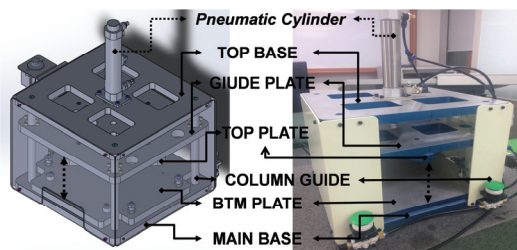


Fig. 1. Structure of laminator equipment.

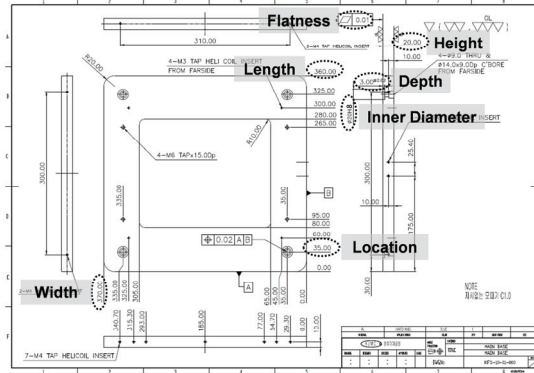


Fig. 2. Part drawing of MAIN BASE.

Table 1. Dimensional tolerance of each part (unit: mm)

Dimension Name	Basic Size	Tolerance Lower	Tolerance Upper	IT Grade	Dimension Name	Basic Size	Tolerance Lower	Tolerance Upper	IT Grade
MAIN BASE					TOP BASE				
Height	20	-0.200	+0.200	13	Height	20	-0.200	+0.200	13
Length	360	-0.500	+0.500	13	Width	360	-0.500	+0.500	13
Width	370	-0.500	+0.500	13	Length	370	-0.500	+0.500	13
Depth	3	-0.020	+0.020	9	Flatness	20	0.010		5
Flatness	20	0.010		5	Depth	3	-0.020	+0.020	9
I-Diameter	20	0	+0.033	8	I-Diameter	20	0	+0.033	8
Location	35	-0.01	+0.01	6	Location	290	-0.01	+0.01	5
Location	325	-0.01	+0.01	4	Location	300	-0.01	+0.01	5
Location	35	-0.01	+0.01	6	GUIDE PLATE				
Location	335	-0.01	+0.01	4	Height	20	-0.200	+0.200	13
BTM PLATE					Length	350	-0.500	+0.500	13
P-Height	20	-0.002	+0.002	3	Width	360	-0.500	+0.500	13
Width	350	-0.5	+0.5	13	I-Diameter	32	0	+0.016	6
Width	260	-0.5	+0.5	14	Flatness	20	0.010		5
Flatness	20	0.01		5	Location	290	-0.01	+0.01	5
COLUMN GUIDE					Location	300	-0.01	+0.01	5
C-Length	250	-0.050	+0.050	9	TOP PLATE				
O-Dia.	20	-0.033	0	8	P-Height	20	-0.002	+0.002	3
					Flatness	20	0.01		5

이와 같은 설계자의 의도는 각 치수의 IT 등급(intentional tolerance grade)로 확인할 수 있다. Table 1에서 살펴보면, 설계자는 장비의 최종 성능에 영향을 크게 미칠 것으로 판단한 치수에는 IT 등급 기준 3-8 정도를 부여하여 치수공차를 결정하였으며, 상대적으로 덜 중요하다고 판단한 치수에는 13-14를 부여하여 설계에 반영하였음을 알 수 있다.

3. 치수공차의 측정

본 연구에서는 동일한 제작도면에 의해서 가공 및 조립이 된 8대의 라미네이터를 대상으로 각 부품들의 실제 치수를 측정하였다. 라미네이터의 주요 부품은 밀링, 드릴링, 랩핑 등 절삭가공의 방법으로 제작이 되었는데, 이때 가공장비 및 가공기술자의 상태 등 다양한 원인에 의

해서 가공 오차가 발생하게 된다. 각 부품의 가공 오차는 누적적으로 작용하여 최종적으로 조립된 장비의 성능에 영향을 미치게 된다.

부품 치수공차의 측정은 미쓰토요사의 리니어하이트에 의해서 진행되었다(Fig. 3). 리니어하이트는 2차원 측정을 수행하는 측정기로서 반복정밀도 0.4um, 위치정확도 2um의 성능을 가지고 있다. 리니어하이트를 이용하여 8대의 라미네이터의 각 부품의 주요치수(Table 1)를 모두 측정할 수 있었다.

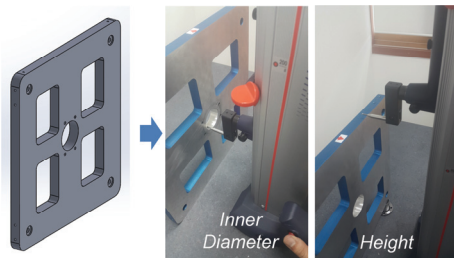


Fig. 3. Measurement of part dimensions by linear height (GUIDE PLATE).

Table 2는 Table 1의 주요치수 중 내경(inner diameter)의 실제 치수를 리니어하이트를 이용하여 실제로 측정된 결과이다. 내경은 MAIN BASE-TOP BASE-GUIDE PLATE상에 가공된 구멍의 안지름으로서 COLUMN GUIDE와 끼워맞춤 결합으로 조립되기 위해서 필요한 치수이다.

측정된 결과는 도면상에 명기된 치수공차와 비교하여 그 결과를 양품(Good) 또는 불량품(Bad)로 판정하였다. 또한 8대 각각의 장비에 대하여 측정 개소에 대한 불량 판정 개소의 비율을 불량비율(bad ratios)로 정의하였다.

측정 결과로부터 각 장비에 대하여 내경에 대한 불량 비율이 33~67% 정도임을 알 수 있는데, 불량비율이 높다는 것은 설계자에 의해 도면에 명기된 치수 대비 불량으로 가공된 치수의 개소가 많다는 의미이다.

내경과 동일한 방법으로 Table 1의 모든 주요치수에 대하여 Table 2와 같은 측정결과를 얻을 수 있었다.

Table 3은 Table 1의 모든 치수에 대한 실제 측정 결과를 불량비율로 나타낸 것이다. 장비별로 44~62%에 해당하는 치수가 도면 대비 불량 가공으로 판정된 것을 알 수 있다.

한편 Table 1의 치수를 IT 등급별로 구분하여 13등급 초과 치수와 이하 치수로 구분한 측정결과도 Table 3에 제시하였다. 13등급 초과 치수의 경우 장비별로 3~13%의 불량 비율이 측정된 것이 비하여, 13 등급 이상 치수에 대해서는 38~51%로서 매우 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 상대적으로 정밀도의 등급이 높은 IT 등급 13 이하의 치수

의 경우 치수공차가 작은 범위로 설계가 되며 이에 따라 가공 시 불량률이 많이 발생하는 것으로 이해할 수 있을 것이다. 또한 불량비율이 높은 IT 등급 13등급 이하의 치수가 장비의 최종 성능에 미치는 영향이 클 것으로 판단할 수 있다. 따라서 이하의 측정 및 분석은 IT 등급 13 이하의 치수에 대해서 한정하는 것으로 하였다.

Table 2. Measured value for inner diameter (unit: mm).

Equipment No.	Part Name	Basic Size	Tolerance Lower Upper	Measured Value	Judgement (Good / Bad)	Bad Ratio
I-Diameter						
1	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.027	B	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.017	G	33%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	20.025	G	
2	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.02	B	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.019	G	33%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	20.022	G	
3	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.009	G	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.009	G	33%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	19.993	B	
4	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.029	B	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.083	B	67%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	20.021	G	
5	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.024	B	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.02	G	33%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	20.026	G	
6	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.029	B	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.023	G	33%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	20.025	G	
7	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.027	B	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.021	G	33%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	20.023	G	
8	GUIDE PLATE	32	0 + 0.016	32.029	B	
	MAIN BASE	20	0 + 0.033	20.023	G	33%
	TOP BASE	20	0 + 0.033	20.021	G	
Ave.						38%

Table 3. Bad ratios by IT grade for each equipment.

Equipment No.	All	IT (>=13)	IT (<13)
1	54%	10%	44%
2	46%	8%	38%
3	46%	5%	41%
4	54%	3%	51%
5	44%	8%	36%
6	46%	3%	44%
7	46%	5%	41%
8	62%	13%	49%
Ave.	50%	7%	43%

Table 4는 IT 등급 13 등급 이하의 치수에 대하여 부품별 불량비율을 측정된 결과이다. 부품별로 8~94%까지 불량 비율이 측정되었음을 알 수 있다. 또한 Table 5는 IT 등급 13 등급 이하의 치수에 대하여 치수별 불량비율을 측정된 결과이다. 이 경우도 불량비율이 0~100%까지 다양하게 측정되었다.

Table 4. Bad ratios by parts for each equipment (IT grade<13)

Equip-ment No.	MAIN BASE	BTM PLATE	TOP BASE	TOP PLATE	GUIDE PLATE	COLUMN GUIDE
1	71%	100%	80%	100%	75%	13%
2	86%	50%	60%	100%	75%	0%
3	86%	100%	80%	100%	50%	0%
4	100%	100%	80%	100%	100%	13%
5	71%	100%	60%	50%	75%	0%
6	71%	100%	80%	50%	100%	13%
7	86%	100%	80%	50%	75%	0%
8	86%	100%	80%	50%	100%	25%
Ave.	82%	94%	75%	75%	81%	8%

Table 5. Bad ratios by dimensions for each equipment (IT grade<13).

Equip-ment No.	Depth	Flat-ness	I-Diameter	Loca-tion	P-Height	C-Length	O-Diameter
1	100%	80%	33%	88%	100%	25%	0%
2	100%	40%	33%	100%	100%	0%	0%
3	100%	60%	33%	100%	100%	0%	0%
4	100%	100%	67%	100%	100%	25%	0%
5	0%	60%	33%	100%	100%	0%	0%
6	100%	80%	33%	88%	100%	25%	0%
7	100%	60%	33%	100%	100%	0%	0%
8	100%	80%	33%	100%	100%	50%	0%
Ave.	88%	70%	38%	97%	100%	16%	0%

이상적으로는 설계자가 도면에 명기한 치수공차와 부합하도록 부품의 가공이 이루어지는 것이 바람직하나, 본 연구의 대상인 라미네이터의 경우와 같이 실제 제작되는 장비의 부품의 경우 가공에 상당한 오차가 발생함을 알 수 있다.

4. 가압력 균일도의 측정

본 연구에서는 3장에서 측정한 부품 상의 가공 오차의 수준 즉 불량비율이 라미네이터 장비의 최종 성능인 가압력 균일도에 영향을 미칠 것으로 가정 하였다. 이와 같은 가정을 실험적으로 검증하기 위하여 4장에서는 조립이 완료된 8대의 라미네이터 각각의 가압력 균일도를 실제로 측정하였다.

가압력의 측정을 위하여 후지이미지테크사의 압력측정필름(PRESCALE)을 활용하였다. 압력측정필름은 가압력의 크기에 따라 필름의 색상이 변화하는 성질을 가지고 있다. 본 연구에서는 측정 가능한 압력 측정 범위가 0.2-0.6Mpa인 LLLW 타입 압력측정필름을 선정하여 실험을 진행하였다.

Fig 4에 가압력 측정 과정을 도시한 사진이다. 라미네이터의 하부에서 제품과 접촉하는 BTM PLATE 상면의 5개

의 위치(A, B, C, D, E)에 압력측정필름을 위치시킨 후, 공압 실린더를 구동하여 TOP PLATE를 하강시켜 필름이 가압 되도록 하였다.

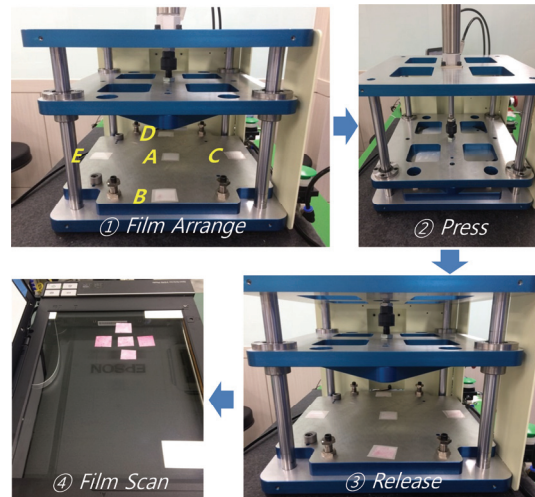


Fig. 4. Measurement of pressing pressure uniformity by pressure sensitive film.

필름은 가압력의 크기에 따라 색상이 변하게 되는데, 이를 정량적으로 측정하기 위하여 후지이미지테크사의 전용의 스캐닝시스템인 FPD-8010E를 이용하였다. Fig 5는 스캐닝시스템으로 측정한 3회기와 4회기의 가압력 측정 결과이다. 이로부터 A-E의 각 위치별 가압력이 서로 다르게 나타남을 확인할 수 있으며 또한 라미네이터 장비별로 가압력 균일도가 다를 수 있다.

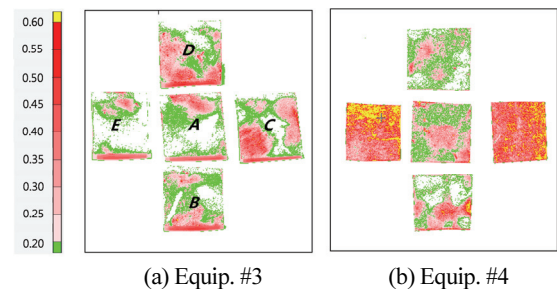


Fig. 5. Image of scanned film (unit: Mpa).

각 라미네이터 장비의 가압력 균일도는 A-E 위치에서의 가압력의 평균값에 대한 최대가압력 및 최소가압력의 차이값으로 정의하여 계산할 수 있다. 가압력 균일도의 값이 작을수록 A-E의 위치에서 압력이 균일한 것으로 생

각할 수 있다. Table 6은 1~8호기 각각의 라미네이터에 대하여 이와 같은 방법으로 계산한 가압력 균일도의 결과이다. 가압력 균일도는 호기별로 최소 19%에서 최대 62%까지 다양하게 측정된 것을 알 수 있다.

Table 6. Measurement of pressing pressure uniformity (unit: Mpa).

Area	Equipment No.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0.22	0.25	0.22	0.27	0.31	0.25	0.22	0.30
B	0.23	0.23	0.25	0.24	0.30	0.22	0.29	0.26
C	0.32	0.29	0.23	0.43	0.32	0.36	0.21	0.36
D	0.27	0.23	0.27	0.23	0.29	0.23	0.24	0.27
E	0.30	0.25	0.24	0.43	0.36	0.32	0.21	0.39
Pressure Uniformity	36%	24%	19%	62%	22%	51%	35%	40%

5. 상관관계 분석

본 장에서는 실험적으로 측정된 제작도면 상 치수공차와 가압력 균일도의 상관관계를 3가지 방법으로 구분하여 분석해 보고자 하였다. 먼저 Table 3과 Table 6의 측정 결과로부터 설계자가 부여한 치수공차의 불량비율과 가압력 균일도의 상관관계를 분석 하였다. Fig. 6는 제작도면 상 치수공차에 대한 불량비율과 가압력 균일도 간의 상관관계 분석 결과이다. 분석은 IT 등급 13을 기준으로 이상 및 이하에 대하여 구분하여 실시 하였다. 이는 설계자의 의도에 따라 중요도가 구분되어 부여된 치수공차에 대해 별도의 상관관계를 분석하고자 한 것이다. IT 등급 13 이상의 치수공차에 대해 대해서는 유의미한 상관관계를 확인할 수 없었으나, IT 등급 13 미만의 치수공차 즉 정밀급 치수공차에 대해서는 불량비율과의 비교적 분명한 상관관계를 확인할 수 있었다. 이러한 분석 결과로부터 설계자의 경험적인 치수공차 부여가 장비의 최종 성능의 충족이라는 측면에서 타당성이 있는 것으로 결론 내릴 수 있다.

다음으로 Table 4와 Table 6의 측정 결과로부터 부품별 치수공차의 불량비율과 가압력 균일도의 상관관계를 분석 하였다. Fig 7(a)는 라미네이터의 하부를 구성하는 3개의 부품에 대한 결과이며 Fig 7(b)는 상부 부품에 대한 결과이다. MAIN BASE, BTM STAGE, TOP BASE 및 TOP PLATE에 대해서는 상관관계가 미미함을 알 수 있다.

이에 비하여 GUIDE PLATE 및 COLUMN GUIDE 의 불량비율과 가압력 균일도는 비교적 분명한 상관관계가 있음을 확인할 수 있다. 이상의 분석 결과로부터 구동부 부

품이 타 부품 대비 장비의 최종 성능에 많은 영향을 주는 것으로 결론 내릴 수 있을 것이다. 따라서 GUIDE PLATE 및 COLUMN GUIDE의 치수공차를 설계 시 좀더 정밀한 등급으로 도면에 부여하고, 또한 해당 부품 도면의 치수 공차에 부합하여 가공될 수 있도록 관리하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

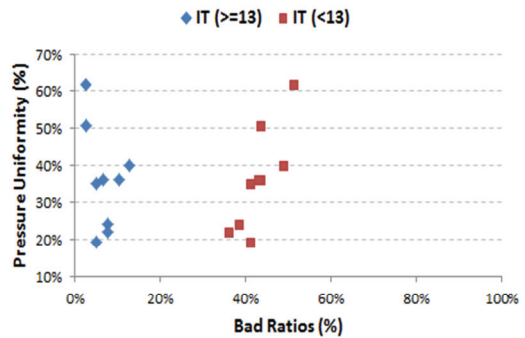
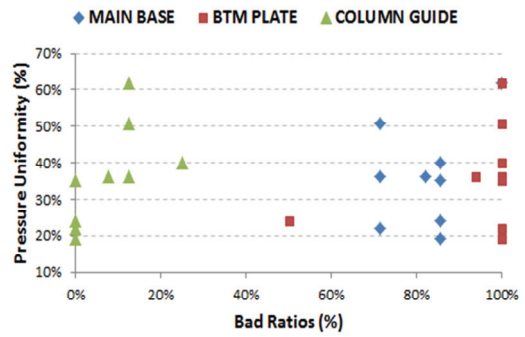
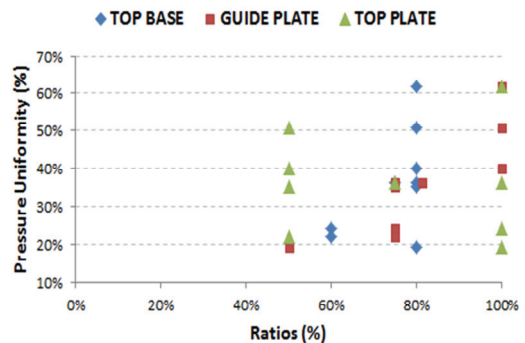


Fig. 6. Correlation between bad ratios and pressure uniformity: bad ratios by IT grade.

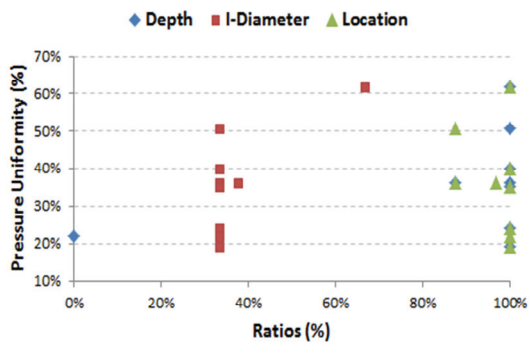


(a) Lower Parts

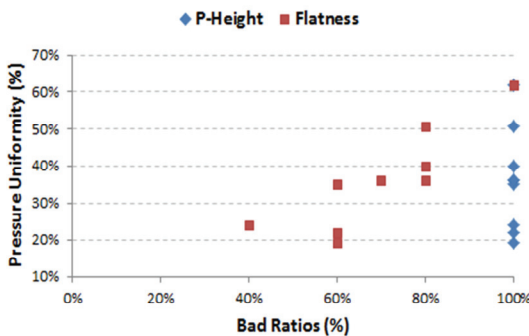


(b) Upper Parts

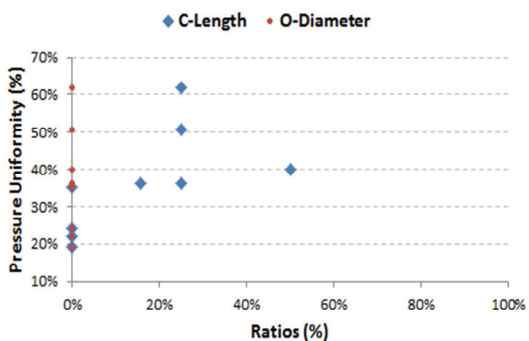
Fig. 7. Correlation between bad ratios and pressure uniformity: bad ratios by each part.



(a) Dimensions of Hole



(b) Dimensions of flatness



(c) Dimensions of column

Fig. 8. Correlation between bad ratios and pressure uniformity: bad ratios by each dimension.

Fig. 8은 Table 5와 Table 6의 상관관계 분석 결과이다. 이로부터 각 치수공차 항목의 불량비율과 가압력 균일도와의 관계를 분석하고자 하였다. 분석은 라미네이터의 상하부를 연결하는 COLUMN GUIDE가 조립되는 구멍에 대한 치수공차, COLUMN GUIDE 자체에 대한 치수공차 및 평면도에 대한 치수공차로 구분하여 실시되었

다. 가장 분명한 상관관계를 보여주는 것은 평면도(Fig. 8(b))에 대한 결과이다. 평면도는 라미네이터의 가압 동작 시 장비와 제품이 직접 접촉하는 부분에 부여되는 치수 공차이다.

또한 COLUMN GUIDE의 길이(Fig. 8 (c))에 대해서도 비교적 유의미한 상관관계를 확인할 수 있다. 한편, 그 외 치수공차에 대해서는 8대의 라미네이터에 대해서 불량비율의 값이 한가지 또는 두가지 정도로 분포되어 있어 상관관계에 대한 의미있는 결론을 내릴 수는 없었다.

6. 결 론

라미네이터 장비의 부품 치수공차와 가압력 균일도와 의 상관관계를 분석하기 위하여 동일한 제작도면으로 조립된 8대의 장비를 이용하여 실험을 진행하였다. 치수공차는 리니어하이트를 이용하여 측정할 수 있었으며, 가압력 균일도는 압력측정필름을 이용하여 측정하였다.

양자에 대한 상관관계를 분석한 결과 다음 사항에 대해서 실험적인 결론을 내릴 수 있었다. 첫째, 설계자가 경험적으로 부여한 각 치수 별 공차 등급은 장비의 최종 성능에 유의미한 영향을 미치는 것으로 보인다. 즉, 설계자에 의해 중요도가 높은 것으로 판단되어 높은 등급의 공차로 부여된 치수들은 가압력 균일도와 높은 상관관계를 보여주었다. 둘째, 라미네이터 장비의 6가지 종류의 부품 중 구동부 부품의 치수공차가 가압력 균일도와 높은 상관관계를 보여 주는 것을 확인되었다. 마지막으로, 개별 치수공차 중 가압되는 제품과 직접 접촉하는 부분을 규제하는 치수공차인 평면도가 가압력 균일도와 높은 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다.

본 연구 결과로부터 라미네이터 장비의 최종 성능에 큰 영향을 미치는 부품 및 치수공차 항목을 실험적으로 분리해 낼 수 있었다. 이상과 같은 분석 결과는 라미네이터 장비의 성능 향상을 위한 설계의 개선에 이용될 수 있을 것이다.

이상의 실험 및 분석은 8대의 라미네이터 장비를 대상으로 하는 실험적인 측정 결과를 근거로 이루어진 것이다. 추후 실험 모수의 확대 및 상관관계에 대한 이론적인 고찰 등의 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 2017년도 동양미래대학교 학술연구지원사업의 지원으로 수행된 연구과제입니다.

참고문헌

1. Jang Yong Lee, "Tolerance Analysis of Automobile Steering System", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 28, No. 12, pp. 1397-1402, (2011).
2. Jinsu Kim, Jae-Sung Kim, and Hyunjune Yim, "Tolerance Analysis and Design of Refrigerator Door System for Functional and Aesthetic Quality of Gap and Flush", *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, Vol. 31, No. 1, pp. 59-66, (2014).
3. Cheulgon Kim, Jihoon Hwang, Hyeongjoon Seo, Jinyong Mo, Duhan Jung and Seokmoo Hong, "Study of the Assembly of Indoor Air-conditioner Unit Using Tolerance Analysis", *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 39, No. 4, pp. 423-428, (2015).
4. Sun-Joong Ryu, Doeg Jung Kim, "Contact Pressure Distribution Measurement of PVA Brush for Post CMP Cleaning", *J. the Semiconductor & Display Equipment Technology*, Vol.3, No.4, pp.73-78, (2016).

접수일: 2017년 11월 28일, 심사일: 2017년 12월 20일,
 게재확정일: 2017년 12월 21일