Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 22, No. 1 pp. 321-326, 2021

https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.1.321
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

박판 웨이퍼의 적재 시 손상 최소화 기술

이종항
한국산업기술대학교 기계공학과

Technology of Minimized Damage during Loading of a Thin Wafer

Jong Hang Lee
Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University

요 약 본 연구는 웨이퍼를 적재할 때 웨이퍼의 손상을 최소화 시키기 위한 기술이다. 반도체와 솔라셀에 이용되는 두께가 얇은 웨이퍼는 적재된 웨이퍼 사이의 표면 장력에 의해 웨이퍼의 분리를 어렵게 만들어 웨이퍼의 표면에 손상을 줄 수 있다. 이러한 웨이퍼의 손상을 최소화시키는 기술은 압축 공기를 웨이퍼 쪽으로 분사하고, 미소의 수평 이동 기구를 동시에 적용하는 것이다. 연구에 사용된 주요 실험 인자는 웨이퍼의 공급 속도, 압축 공기의 노즐 압력, 그리고 흡착 헤드의 흡착 시간이다. 실험 결과, 동일한 노즐 압력에서 웨이퍼의 공급 속도가 빠를수록 파손율이 증가하고, 동일한 공급 속도에서는 노즐 압력이 낮을수록 파손율이 증가한다. 그리고, 웨이퍼를 흡착시키데 필요한 시간은 어느 수준 이상이면 웨이퍼의 공급 속도에 따른 파손율에는 큰 영향을 미치지 않는다. 본 연구의 실험 범위 안에서 최적의 실험 조건은 웨이퍼의 공급 속도 600 ea/hr, 압축 공기의 노즐 압력 0.55 MPa, 흡착 헤드의 흡착 시간 0.9 sec 이다. 또한, 반복성능 실험을 통해 개선된 기술은 웨이퍼의 파손율을 최소화시킬 수 있음을 보여 주었다.

Abstract This paper presents a technique to minimize damaged wafers during loading. A thin wafer used in solar cells and semiconductors can be damaged easily. This makes it difficult to separate the wafer due to surface tension between the loaded wafers. A technique for minimizing damaged wafers is to supply compressed air to the wafer and simultaneously apply a small horizontal movement mechanism. The main experimental factors used in this study were the supply speed of wafers, the nozzle pressure of the compressed air, and the suction time of a vacuum head. A higher supply speed of the wafer under the same nozzle pressure and lower nozzle pressure under the same supply speed resulted in a higher failure rate. Furthermore, the damage rate, according to the wafer supply speed, was unaffected by the suction time to grip a wafer. The optimal experiment conditions within the experimental range of this study are the wafer supply speed of 600 ea/hr, nozzle air pressure of 0.55 MPa, and suction time of 0.9 sec at the vacuum head. In addition, the technology improved by the repeatability performance tests can minimize the damaged wafer rate.

Keywords : Thin Wafer, Loading, Damage, Air Pressure, Small Movement.

1. 서론

반도체 및 솔라 셀에 이용되는 웨이퍼 제조공정에서는 웨이퍼 처리(wafer handling) 공정이 필요하다. 이러한 공정에서는 적재함에 쌓인 웨이퍼를 진공을 이용하여 흡착한 후 필요한 위치로 이송하여 다시 적재시킨다. 이와 같이 웨이퍼 처리공정에서 불완전한 적재(loading)는 웨이퍼 간에 충돌로 인하여 모서리(edge)의 파손이나 표면

*Corresponding Author : Jong Hang Lee(Korea Polytechnic Univ.)
email: ljh@kpu.ac.kr
Received November 2, 2020 Revised December 28, 2020
Accepted January 8, 2021 Published January 31, 2021

의 스크랫치(scratch)가 발생되어 품질에 영향을 준다.

이와 관련된 연구는 다음과 같다. 대부분의 연구는 웨이퍼의 가공과 웨이퍼 상에 있는 결함들을 검출하는 연구들이다[1,2].

이송장치에 대한 연구는 판유리의 이송을 위한 양방향 이송 로봇장치가 있으며[3], 특히, 본 연구와 관련된 진공압력을 이용한 웨이퍼의 파지(pick-up) 또는 진공흡착(vacuum suction) 연구는 다음과 같다.

김준현은 CAE 해석을 통하여 공압 파지식 헤드(air pressure pick-up head) 설계 모델을 제시하였으며[4], 또한, 이 장치의 헤드 내부에 있는 다수의 관통로(through holes)가 파지하는데 미치는 영향에 대하여 연구하였다[5]. 또한, 그는 압축공기를 이용하여 소형 이젝터(ejector)의 진공흡착 성능평가 요인에 대한 연구도 수행하였다[6,7].

위와 같은 연구들은 대부분이 이송 장치 자체나 진공을 이용한 웨이퍼 흡착 장치에 대한 설계기술들이며, 본 연구의 목적인 웨이퍼 적재 시 웨이퍼의 충돌에 의한 손상을 최소화하기 위한 연구가 아니다.

따라서 본 연구에서는 진공에 의한 흡착 기구(vacuum suction mechanism)를 적절히 개선하여 웨이퍼의 손상을 최소화시키는 것에 중점을 두었다. 개선된 기구는 수평 방향으로의 미소 이동과 동시에 적재된 웨이퍼의 측면 쪽으로 압축공기를 분사시켜주는 방법이 적용된다. 또한, 개선된 기구의 검증을 위하여 각종 실험 파라미터가 성능에 미치는 영향도 연구한다.

2. 개선된 웨이퍼 적재 기구

웨이퍼 적재 시 일반적으로 사용되는 흡착 및 이송 기구는 다음과 같다. 두께가 얇은 웨이퍼(가로 * 세로: 200 mm * 200 mm, 두께: 0. 5 mm)를 작업 위치로 이동시키기 위해서는 Fig. 1과 같이 적재함에서 흡착 헤드(suction head)의 진공 압력에 의한 웨이퍼 흡착, 분리, 위쪽 방향으로 이동, 다음 공정으로의 이동을 거친다.

이 공정은 진공에 의한 웨이퍼 흡착 시 웨이퍼들 간의 표면 장력(surface tension)으로 인하여 분리가 안 되거나, 흡착 헤드가 웨이퍼를 정확히 흡착 시키지 못하여 웨이퍼들 간에 충돌이 발생되는 경우가 많다. 이는 웨이퍼 모서리의 파손이나 표면에 스크랫치를 만들게 된다. 또한, 대량 생산 시에는 생산량을 높이기 위해 웨이퍼의 이송과 적재속도를 높여야하기 때문에 불량률 증가의 원인이 되기도 한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 2와 같이 웨이퍼들을 적절히 분리시키기 위한 방법을 도입하였다. 이는 웨이퍼의 측면 쪽으로 압축 공기를 분사함과 동시에 흡착된 웨이퍼를 수평 방향으로 5 mm 이상의 미소한 변위(small displacement)를 주는 방법이다.

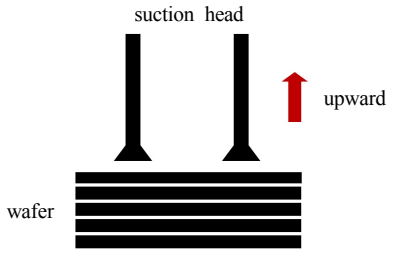

Fig. 1. Conventional unloading method of a thin wafer.

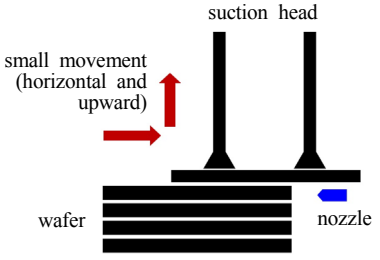

Fig. 2. New unloading method with both small horizontal movement and compressed air supply to thin wafers.

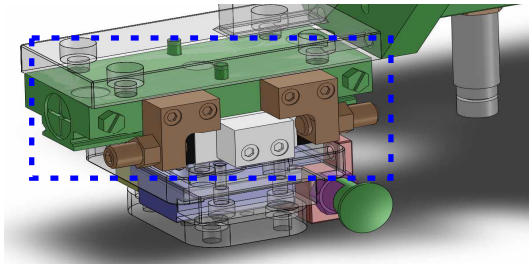

Fig. 3. Small movement mechanism using air cylinder (dotted box: linear air cylinder).

Fig. 3은 미소이송장치(흡착 헤드가 이 장치의 하단에 설치됨)로서, 점선 박스 안의 공압실린더에 의해 설정된 5 mm의 이송이 가능하다.

Fig. 4는 흡착헤드에 웨이퍼들이 부착되어 위쪽방향으로 이동된 모습을 보여준다. Fig. 5는 웨이퍼의 수평방향 쪽으로 압축 공기가 분사되도록 적재함 측면에 설치된 노즐(nozzle)을 보여준다.

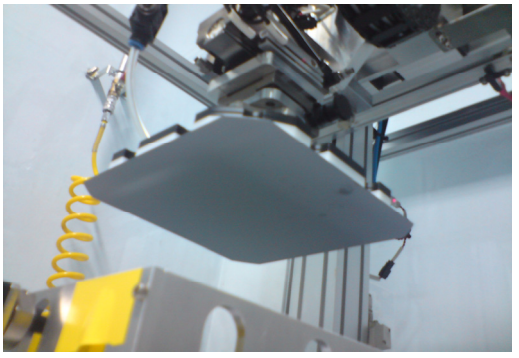

Fig. 4. Photograph of attached wafer under vacuum head.

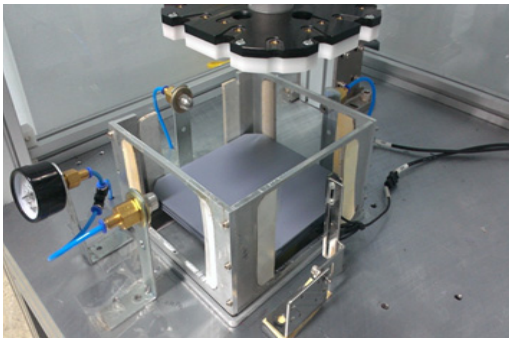

Fig. 5. Photograph of setup nozzle for wafer separation.

3. 성능평가실험 및 분석

3.1 웨이퍼의 손상에 미치는 영향인자

웨이퍼의 손상에 미치는 영향인자(factor)들을 파악하기 위하여 두께 0.2 mm의 웨이퍼를 적재함으로부터 다른 적재함까지 총 3회(600 ea/1회)에 걸쳐 이동 및 적재시킬 때 웨이퍼의 파손율을 측정하였다.

Fig. 6은 노즐압력이 0.55 MPa일 경우, 공급속도(웨이퍼의 시간당 공급량) 360 ea/hr, 480 ea/hr, 600 ea/hr에 대하여 3회 실험한 결과(평균 파손율; 360 ea/hr에서 0개, 480 ea/hr에서 0.3개, 600 ea/hr에서 2개)이다. 이는 동일한 노즐압력에서 공급속도가 빠를수록 파손율이 증가함을 보여준다. 그 원인은 공급속도가 빠를수록 흡착헤드가 웨이퍼를 흡착 및 분리시킬 시간이 충분하지 않았기 때문이다.

Fig. 7은 공급속도가 600 ea/hr일 경우, 웨이퍼 쪽으로 압축공기를 분사하는 노즐압력 0.35 MPa, 0.45 MPa, 0.55 MPa에 대하여 실험한 결과(평균 파손율; 0.35 MPa에서 334개, 0.45 MPa에서 196개, 0.55 MPa에서 2개)이다. 이는 동일한 공급속도에서 노즐압력이 낮을수록 파손율이 증가함을 보여준다. 그 원인은 노즐에서 분사되는 압축공기가 낮으면 웨이퍼들 사이의 표면장력을 줄일 수 없기 때문이다.

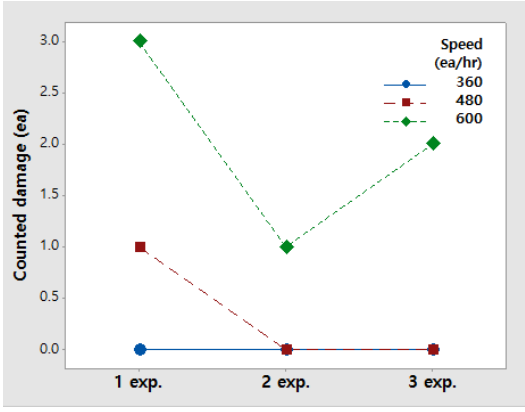

Fig. 6. Counted damage trend at the nozzle pressure of 0.55 MPa and vacuum time of 0.9 sec according to the variation of supply speed.

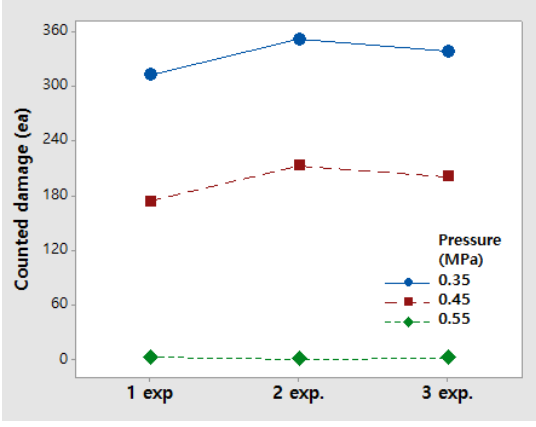

Fig. 7. Counted damage trend at the speed of 600 ea/hr and vacuum time of 0.9 sec according to the variation of nozzle pressure.

한편, 노즐압력 0.55 MPa 이상에서는 웨이퍼 측면 쪽으로 공급되는 고압의 압축공기에 의해 적재된 웨이퍼들의 진동이 발생되거나, 웨이퍼 2장이 흡착되어 이동 중 일부 웨이퍼가 낙하하는 현상이 발생되었다.

따라서 Fig. 6과 Fig. 7의 실험조건 범위에서 생산성 측면(웨이퍼의 공급속도)을 고려하면, 600 ea/hr의 공급속도, 0.55 MPa의 노즐압력 조건이 파손율을 최소화시킬 수 있다는 것(평균 파손율; 2개)을 알 수 있다.

Table 1. Counted damage at the experimental condition of 600 ea/hr(speed) and 0.55 MPa(pressure) according to the variation of vacuum time.

Vacuum time / No. of experiment	1	2	3
0.5 sec	1	0	1
0.9 sec	0	0	0
1.3 sec	0	0	0

Table 1은 공급속도 600 ea/hr과 노즐압력 0.55 MPa에서 600회의 이송과 적재 시 흡착시간의 변화에 따른 파손율이다. 흡착시간이 0.5 sec인 경우를 제외하고는 모두 웨이퍼에 파손이 발생되지 않았다. 이 실험결과는 적절한 공급속도와 노즐압력에서 흡착시간이 0.9 sec이면 충분함을 보여준다.

따라서 개선된 기구에서의 최적의 실험조건은 공급속도는 600 ea/hr, 노즐압력은 0.55 MPa, 흡착시간은 0.9 sec 라고 판단된다.

3.2 완전요인배치법에 의한 영향인자의 분석

앞 절에서 수행한 영향인자들에 대한 분석은 일회일인자법에 의한 것이다. 이것은 다른 인자들의 수준(level)을 일정 값으로 유지하면서 나머지 한 인자의 수준만을 변화시키면서 진행하는 실험방법으로, 분석 결과의 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다고 알려져 있다. 그러나 이러한 일회일인자법도 분석 초기에 해(solution)를 모르는 경우, 대략적으로 해의 위치를 파악하는데 도움이 된다.

본 연구의 실험은 3인자 3수준, 2회 반복의 완전요인배치법(full factorial design method)을 적용한다[8]. 앞 절의 실험과 같이 영향인자는 웨이퍼의 공급속도, 압축공기의 분사압력, 흡착시간으로 설정하였으며, 이에 대한 수준은 Table 2와 같다. 실험계획의 수준은 앞 절에서 최적이라고 판단되었던 공급속도 600 ea/hr, 노즐압력 0.55 MPa, 흡착시간 0.9 sec가 포함되도록 하였다. 또한, 분석결과 그림 안에 숫자 표기가 용이하도록 공급속도를 5분당으로 변환시켰다.

Table 3은 54개(2회 반복 * 3^3)의 실험조건에 대한 실험결과를 보여준다[9]. 실험순서는 실험오차를 줄이기 위하여 랜덤하게 실험(run order)을 진행하였다. 실험결과인 반응치(response)는 파손된 웨이퍼의 수를 나타낸다.

Table 2. Selected 3 factors and 3 levels.

Factors	Levels		
	1	2	3
Head speed (ea/hr)	360	480	600
Air pressure (MPa)	0.35	0.45	0.55
Vacuum time (sec)	0.5	0.9	1.3

Table 3. Experimental results by the full factorial design method.

Std Order	Run Order	Speed	Pressure	Time	Counted damage
48	1	50	0.35	1.3	384
49	2	50	0.45	0.5	24
27	3	50	0.55	1.3	2
31	4	30	0.45	0.5	168
44	5	40	0.55	0.9	0
6	6	30	0.45	1.3	24
14	7	40	0.45	0.9	120
47	8	50	0.35	0.9	504
36	9	30	0.55	1.3	21
16	10	40	0.55	0.5	18
8	11	30	0.55	0.9	0
29	12	30	0.35	0.9	239
3	13	30	0.35	1.3	244
5	14	30	0.45	0.9	51
22	15	50	0.45	0.5	2
12	16	40	0.35	1.3	312
23	17	50	0.45	0.9	16
46	18	50	0.35	0.5	272
11	19	40	0.35	0.9	301
1	20	30	0.35	0.5	197
25	21	50	0.55	0.5	0
30	22	30	0.35	1.3	216
40	23	40	0.45	0.5	31
53	24	50	0.55	0.9	0
19	25	50	0.35	0.5	548
20	26	50	0.35	0.9	492
9	27	30	0.55	1.3	0
43	28	40	0.55	0.5	1
15	29	40	0.45	1.3	216
32	30	30	0.45	0.9	73
51	31	50	0.45	1.3	144
17	32	40	0.55	0.9	1
34	33	30	0.55	0.5	1
38	34	40	0.35	0.9	423
26	35	50	0.55	0.9	0
35	36	30	0.55	0.9	0
10	37	40	0.35	0.5	417

42	38	40	0.45	1.3	264
33	39	30	0.45	1.3	288
41	40	40	0.45	0.9	216
45	41	40	0.55	1.3	0
50	42	50	0.45	0.9	48
4	43	30	0.45	0.5	41
2	44	30	0.35	0.9	261
21	45	50	0.35	1.3	455
52	46	50	0.55	0.5	0
28	47	30	0.35	0.5	243
7	48	30	0.55	0.5	1
37	49	40	0.35	0.5	336
54	50	50	0.55	1.3	0
18	51	40	0.55	1.3	1
13	52	40	0.45	0.5	96
39	53	40	0.35	1.3	230
24	54	50	0.45	1.3	0

Fig. 8은 각각의 3인자들이 파손율에 미치는 주효과를 나타낸 것으로서, 수준(x축)에 대한 평균 파손 수(y축)의 기울기가 영향인자에 따라 다르다는 것을 볼 수 있다. 즉, 다른 인자에 비해 기울기가 큰 압축공기의 압력은 파손율에 절대적인 영향을 주고 있으며, 공급속도는 약간의 영향을 미치고, 흡착시간의 영향은 거의 없다는 것을 알 수 있다. 여기서 흡착시간에 대한 웨이퍼의 파손 수(약 150개)가 앞의 실험결과와 다른 것은 노즐압력과 공급속도에 의한 영향이라고 판단된다.

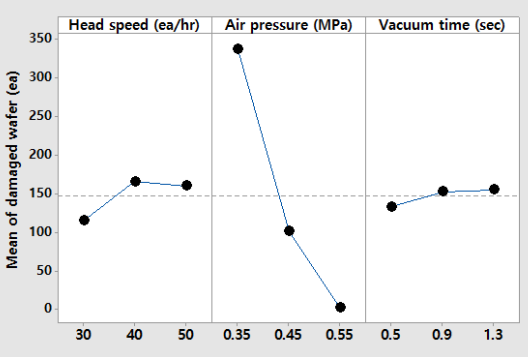

Fig. 8. Main effects plot of mean damaged wafer.

3개의 인자들 사이의 상호작용(interaction)을 나타낸 것이 Fig. 9이다. 이 그림은 “공급속도와 흡착시간”과 “노즐압력과 흡착시간”은 서로 상호작용한다는 것을 보여준다. 이는 “공급속도” 인자와 “흡착시간” 인자들 간에 연관성이 있기 때문이라고 판단된다.

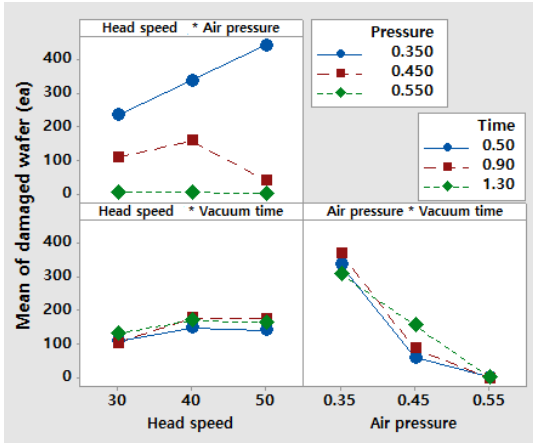

Fig. 9. Interaction plot of mean damaged wafer.

3.3 반복실험에 의한 개선 기구의 성능 검증

Table 4는 600개의 웨이퍼에 대해 30회의 반복 적재 실험으로 개선된 기구의 성능을 평가한 것이다. 이 실험은 생산성과 파손율 측면을 고려하여 공급속도 600 ea/hr, 노즐압력 0.55 MPa, 흡착시간 0.9 sec의 실험조건에서 수행하였다.

30회의 반복실험 중, 8번과 28번의 실험만 600개의 웨이퍼 중에서 단 1개씩만 파손(파손율; 0.01 %/hr) 되었음을 볼 수 있다.

Table 4. Experimental results for repeatability of wafer damage rate at the optimum condition.

No. of experiment (upper) vs. No. of damaged wafer (lower)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

따라서 압축공기의 분사와 수평방향의 미소이송 기구를 동시에 적용하면 웨이퍼 적재 시의 파손율을 최소화시킬 수 있다고 판단된다.

4. 결론

두께가 얇은 웨이퍼를 적재시킬 때 웨이퍼의 파손을 최소화시키기 위해 압축공기의 분사와 수평방향의 미소

이송 기구를 적용한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 동일한 노즐압력에서 웨이퍼의 공급속도가 빠를수록 파손율이 증가하고, 동일한 공급속도에서는 노즐압력이 낮을수록 파손율이 증가한다.

둘째, 웨이퍼를 흡착시키데 필요한 시간은 어느 수준 이상이면 웨이퍼의 공급속도에 따른 파손율에는 큰 영향을 미치지 않는다.

셋째, 웨이퍼의 공급속도 600 ea/hr, 압축공기의 노즐압력 0.55 MPa, 흡착헤드의 흡착시간 0.9 sec의 조건은 실험범위 안에서 최소의 파손율을 보여 준다.

넷째, 압축공기의 분사와 수평방향의 미소이송 기구를 적용하면 웨이퍼의 파손율을 최소화시킬 수 있다.

References

[1] J. K., Won, J. H., Lee, J. T., Lee, E. S., Lee, "The Selection on the Optimal Condition of Si-wafer Final Polishing by Combined Taguchi Method and Respond Surface Method," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol.17, No.1, pp.21-28, Feb. 2008.

[2] B. S., Yeb, "Development of Automatic Precision Inspection System for Defect Detection of Photovoltaic Wafer," *Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.20, No.5, pp.666-672, Oct. 2011.

[3] D. H., Lee, C., Lee, S. D., Kim, H. C., Young, "Full Duplex Robot System for Transferring Flat Panel Display Glass," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.22, No.6, pp.996-1002, Jun. 2013.
DOI: https://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2013.22.6.996

[4] J. H., Kim, "Design of the Air Pressure Pick-up Head for Non-contact Wafer Gripper," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.21, No.3, pp.401-407, Jun. 2012.

[5] J. H., Kim, "Study on Through Paths Inside the Air Pressure Pick-up Head for Non-contact Gripper," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.21, No.4, pp.563-569, Aug. 2012.
DOI: https://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2012.21.4.563

[6] J. H., Kim, H., Bae, J., Sung, "Factors Affecting Vacuum Suction Performance of a Compact Ejector using Compressed Air," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers*, Vol.29, No.4, pp.296-304, Aug. 2020.
DOI: https://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2020.29.4.296

[7] S. M., Jeong, S. M., Jang, "A Design and Development of Multi Air Gun for Suction and Shooting a Jet of Compressed Air," *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.13, No.11, pp.4944-4949, 2012.
DOI: http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.11.4944

[8] D. C., Montgomery, Design and Analysis of Experiments, p.655, John Wiley & Sons Inc. USA, 2009, pp.215-263.

[9] S. B., Lee, Minitab Example-oriented Experimental System, p.431, Iraetech Ltd., 2014, pp.141-159.

이 종 항(Jong Hang Lee) [정회원]

- 1990년 2월 : 연세대학교 기계공학과 (기계공학석사)
- 1994년 8월 : 연세대학교 기계공학과 (기계공학박사)
- 1987년 1월 ~ 1997년 10월 : 한국생산기술연구원 선임연구원
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 기계공학과 교수

〈관심분야〉
제조공정, 정밀기계