

미세 다공 박판제품의 생산성 향상을 위한 진공 시스템의 개선

박준홍*, 권택환*, 최영**, 김철***, 최재찬***

Development of Vacuum System for Improving Productivity of Fine Multi-hole Sheet Metal Product

Joon Hong Park*, Taek Hwan Kwon*, Young Choi**, Chul Kim***,
Jae Chan Choi***

ABSTRACT

Fine multi-hole sheet metal product(FMSMP) is a specific metal plate which is used in color TV and computer monitor. Processes of manufacturing FMSMP are generally composed of coating, cleaning, exposure and etching processes. After a thin metal plate is made by rolling, photosensitive liquid is coated on the metal plate in coating process. Then, the coated thin metal plate consecutively passes through exposure process in which upper and lower glasses are compressed by vacuuming the space between glasses and metal plate. In this lowered vacuum state, certain part of metal plate is desirably exposed to light and will be etched into forming lots of well-arranged holes with a specific diameter. Nowadays, to manufacture FMSMP of 17 inch braun tube, 80 second is required for complete vacuum but 35 second is applied to manufacture FMSMP in reality. In the present study, vacuuming time is tried to reduce for improvement of productivity by analyzing vacuum system and proposing several solutions. For faster vacuuming speed, degree of vacuum state between glasses and metal plate is improved by the proposed method and experiments using the proposed method are performed for verification. In addition, microstructure of FMSMP is investigated to prevent stain phenomena and to improve quality of the product.

Key Words : Conductance(컨덕턴스), Fine Multi-hole Sheet Metal Product(FMSMP, 미세 다공 박판제품), Photosensitive Liquid(감광액), Vacuum Speed(진공속도), Vacuum Pump(진공펌프)

1. 서론

미세 다공 박판 제품은 컬러 텔레비전과 컴퓨터 모니터에 사용되는 금속 판으로 크게 노광 공정 및 에칭공정에 의해 제작되어 진다. 얇은 금속 판재에 감광액을 도포하여 노광장치에 넣고, 상·하면 유리로 가압한 후, 상·하면 유리와 판재사이의 공기

를 빼내어 진공압력을 떨어뜨린 상태에서 원하는 부분만을 노광한 후 에칭으로 구멍을 일정한 배열로 뚫어서 생산하고 있다⁽¹⁻⁴⁾.

현재 사용되고 있는 17인치 브라운관 제품의 미세 다공 박판 제품에 요구되는 완전한 진공 압력을 위해서는 약 80초 정도가 소요되지만, 사용 가능한 제품 생산 시에 요구되는 진공 압력을 위해서 35

* 부산대학교 대학원

** 경남대학교 기계자동화공학부

*** 부산대학교 기계공학부, 정밀정형 및 금형가공 연구센터

초의 진공시간을 적용하고 있다. 이러한 미세 다공 박판제품은 진공 불량으로 인해 발생하는 제품의 얼룩현상(stain phenomena)과 제품의 빛에 대한 투과율을 나타내는 TM(transmittance) 수치의 불량이 방지되어야 한다. 그러므로 요구되어지는 진공압력에 도달하기 위한 진공시간과 진공 시스템은 제품의 생산성 및 품질 향상에 큰 영향을 미치고 있다.

따라서 본 연구에서는 노광 공정에서의 상·하면 유리와 철판 사이의 진공 시스템을 분석하고, 진공 불량으로 인해 발생하는 제품의 얼룩현상을 개선하는 동시에 상·하면 유리와 철판 사이의 진공압력을 낮추어 빠른 시간에 유리와 철판을 밀착시켜 진공시간을 단축하고자 하였으며, 이를 통해 제품의 품질을 향상시키고자 하였다.

2. FMSMP 제조를 위한 노광 공정

미세 다공 박판제품의 제조 공정중 노광공정을 위한 진공 시스템의 사진을 Fig. 1에 나타내었다.

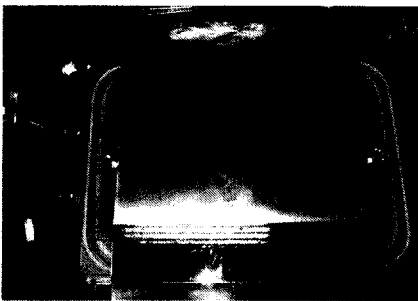


Fig. 1 Vacuum system for shadow mask

또한 진공 시스템의 개략도를 Fig. 2에 나타내었다.

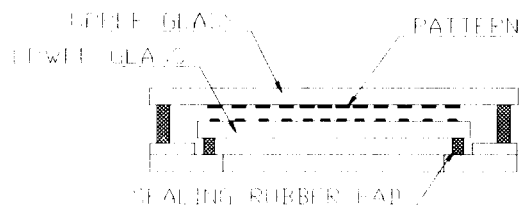


Fig. 2 Schematic drawing of vacuum system

노광 공정의 진공 시스템은 상·하 유리와 각각의 유리를 밀폐하고 있는 실링고무 패드로 구성되어져 있으며, 상유리의 하면과 하유리의 상면에 높이가 5 μ m인 미세 다공 박판제품 형상의 패턴(pattern)이 새겨져 있다. 또한 상·하 유리면 사이로 철판이 이송되어 진공 펌프의 흡입에 의해 상·하유리가 밀착된 뒤 노광 공정이 수행되어 진다.

3. FMSMP 제조를 위한 노광 공정 분석

3.1 진공 시스템 해석

진공 시스템의 공기 유동은 초기에 진공틀이 진공되고 이후 유리와 철판사이가 진공된다. 여기서 하유리는 철판 아래에 있어서 진공틀의 유로와 4방향으로 공기의 유동이 있다. 반면에 상유리와 철판 사이에는 철판이 진공틀의 유로를 가로막고 있어서 진공 흡입구 쪽의 진공틀의 유로로만 공기가 유동하는 현상이 일어난다. 즉, 2방향으로만 공기의 유로가 생긴다. 이로 인해 상유리에서의 공기가 air pocket을 형성하면서 불량의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 상유리와 철판사이의 진공에 초점을 두었다.

3.1.1 진공 시간의 계산

노광 공정의 진공시스템에 의해 진공시간을 평가하기 위하여 기체 흐름 구분법에 따라 시스템을 해석하였다. 기체 흐름의 구분법은 식(1)과 같이 구분될 수 있다⁽¹⁾.

$$\begin{aligned} D/\lambda > 110 & : \text{점성류} \\ 1 < D/\lambda < 110 & : \text{중간류} \\ D/\lambda < 1 & : \text{분자류} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 D(mm)는 관의 직경이고, λ 는 공기의 평균 자유행로이며 식(2)로부터 결정되어진다.

$$\lambda = \frac{6.67 \times 10^{-3}}{P} \quad (2)$$

관의 컨덕턴스(conductance)는 기체 흐름에 따라 각각 단면에 대하여 구할 수 있다.

먼저 기체의 흐름이 점성류(viscous flow)일 때 컨덕턴스는 식(3)과 같이 주어진다⁽¹⁾.

$$C = 260Y(A^2/L)\bar{P} \quad (3)$$

여기서, A (mm^2)는 단면적이고, Y 는 보정계수, \bar{P} (Torr)는 입구와 출구 압력의 평균값이다. 그리고 분자류(molecular flow)일 때 컨덕턴스는 식(4)과 같이 주어진다.

$$C = 30.9a^2b^2\alpha / [(a+b)L] \quad (4)$$

여기서 α 는 보정계수, a (mm)는 높이, b (mm)는 폭이다.

진공 시간은 식(5)와 식(6)으로부터 구해진다⁽²⁾.

$$T = 2.3\beta \frac{V}{S} \log \frac{P_1}{P_2} \quad (5)$$

$$S = \frac{C \times S_p}{C + S_p} \quad (6)$$

여기서, S 는 진공속도 (m^3/min), T 는 진공시간 (min), V 는 용기용량 (m^3), P_1 은 흡입압력(대기압시 760 Torr), P_2 는 토출압력, β 는 보정계수, S_p 는 펌프의 진공속도이다. 일반적으로 보정계수 β 는 압력이 1~760 Torr 사이에 있을 때는 보통 1.1을 사용한다. 식(1)~식(6)을 이용하여 노광공정의 진공시스템에서의 진공시간을 계산하기 위하여, 상유리와 철판사이를 Fig. 3과 같이 단순화시켰다.

여기서, P_1 은 상유리 중앙의 압력이고 P_2 는 진공틀 유로의 압력이다. 이러한 단순화의 주된 이유는 상유리와 철판의 진공은 두방향으로만 일어나기 때문이다. a 는 상유리와 철판사이의 간격, b 는 진공틀의 폭방향의 길이이고, L 은 진공틀의 길이 방향의 1/2이다.

식(5)와 분자류의 컨덕턴스 계산식인 식(4)를 이용하여 식(7)과 같은 노광공정의 진공시스템에 대한 진공시간의 근사식을 구할 수 있다.

$$T \approx K \left[\frac{L^2}{a} \right] \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (7)$$

여기서 $K = 0.074 \frac{\beta}{\alpha}$ 이다.

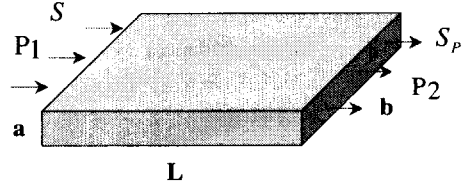


Fig. 3 Simplification of vacuum system

3.1.2 진공시간의 근사식에 대한 실험적 검증

(가) "a"에 의한 진공시간의 영향

식(7)에서 진공 시간의 주요인자로 추정되는 높이 "a"에 대하여 보조테이프를 사용하여 "a"를 두배로 변화시킬때의 압력과 초기 상태의 압력을 비교하여 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

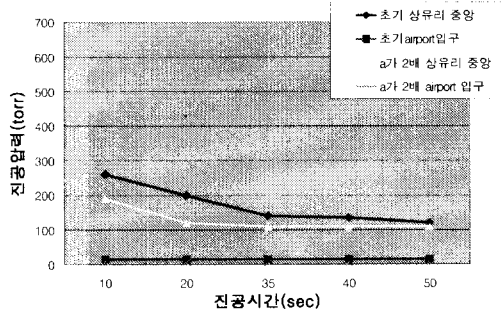


Fig. 4 Results of vacuum pressures according to thickness, "a"

진공시간이 35초일 때 초기상태에서 상유리 중앙부위의 압력은 140 Torr, 공기흡입구에서의 압력은 15 Torr인 반면에, "a"를 두배로 증가시킬 경우, 상면 중앙부위의 압력은 110 Torr, 공기흡입구의 압력은 5.5 Torr로서 낮은 진공 압력값을 나타내고 있다. 또한 진공 압력의 수렴속도도 "a"를 두배로 했을 때 빠름을 알 수 있다. 따라서 "a"가 진공 시간을 단축하는데 있어서 중요한 인자임을 알 수 있다. 그러나 실제로 현업에서 보조 테이프를 이용하여 최적의 높이 a를 적용하고 있다.

(나) "L"에 의한 진공시간의 영향

식(7)에서 진공시간의 주요인자중 폭 "L"에 대하여 진공시간에 미치는 영향을 알아 보았다. Fig. 5는 "L"을 1/2배일 때와 초기상태일 때의 진공압력을 비교하였다. 즉, "L"을 감소시키면 진공시간이 단축됨을 알 수 있었다.

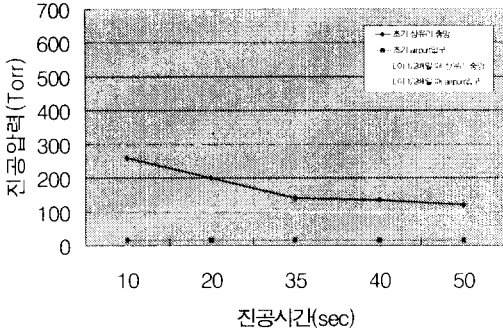
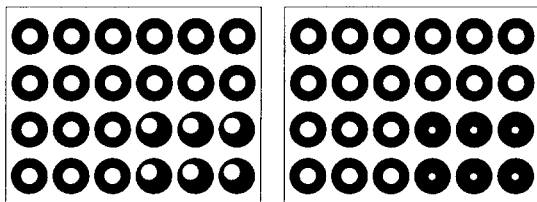


Fig. 5 Results of vacuum pressures according to thickness, "L"

3.2 현미경 검사 및 TM 검사

미세 다공 박판제품에 대한 검사법으로는 TM 검사와 현미경 검사가 있다. 여기서 TM이란 빛의 투과율을 나타내는 것으로 빛의 입사 면적과 투과되어 나오는 투사 면적의 비율을 나타낸다. TM값이 크다는 것은 상유리와 절판 사이의 공간에 대한 낮은 진공압력에 의한 강한 밀착으로 인하여 이는 공경(철판에 새겨지는 구멍의 직경)의 증가와 더불어 빛의 투과율이 향상되었다는 것을 뜻한다.

또한 현미경 검사를 수행하면 얼룩현상을 규명할 수 있는데, 광의 동심도 불량과 공경의 크기 불량으로 분류할 수 있으며, 이를 Fig. 6 (a), (b)에 각각 나타내었다.



(a) concentric inferiority (b) dimensional inferiority
Fig. 6 Microstructural examination of stained phenomena

현미경 검사와 동시에 제품의 광투과율을 나타내는 TM검사도 수행되어야 하는데 Fig. 7 (a), (b)는 현미경 검사와 TM검사와의 비교를 나타내고 있다.

Fig. 7는 제품의 우측 하단부에서 얼룩 현상이 발생한 경우를 표현하였는데, Fig. 7 (a)는 얼룩 현상이 발생한 부위의 작은 공이 큰 공의 외경을 벗어남으로써 투과율이 저하되는 경우를 나타내고 있고, Fig. 7 (b)는 얼룩 현상은 발생했지만 작은 공이 큰 공의 외경을 벗어나지 않음으로써 투과율은 저하되지 않음을 알 수 있다.

그리하여 현미경 검사와 TM 검사는 FMSMP 검사에 있어서 반드시 동시에 이루어져야 함을 알 수 있다.

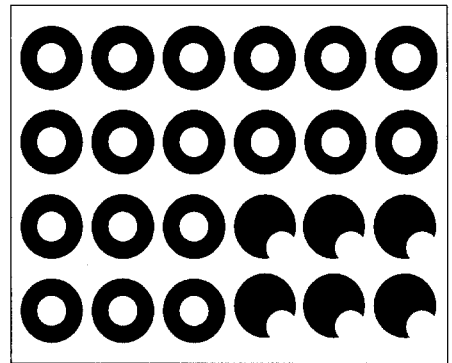


Fig. 7-(a) occurrence of stain with decrease of TM value

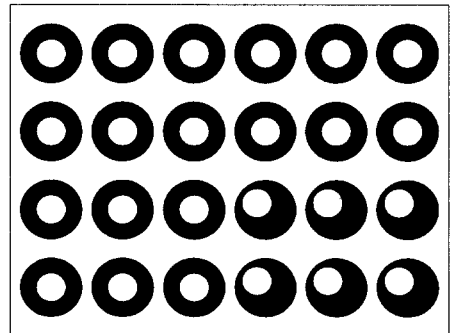


Fig. 7-(b) occurrence of stain without decrease of TM value

4. 진공시간의 단축을 위한 진공 시스템 개선 방안

노광 공정의 진공 시스템에서 진공시간의 단축을 위하여 진공시간에 영향을 미치는 주요인자중에 "a"에 대해서는 보조테이프를 이용해서 이미 적용되고 있고, "L"을 줄일 수 있는 방법으로 아래와 같은 방안을 제시하였다. 상유리와 철판사이에서 현재 구동측과 조작측 2방향으로만 진공되는 것을 4방향으로 모두 진공이 되도록하고, "L"을 줄이기 위하여 상유리에 흡을 가공하였다. 일반적으로 진공 시스템을 평가하기 위해서는 진공압력의 측정만이 가능하다⁽⁶⁾. 우선 노광 공정의 진공 시스템에 대하여 현업에서 수행하는 상태로 진공을 시켜 압력을 측정하였다.

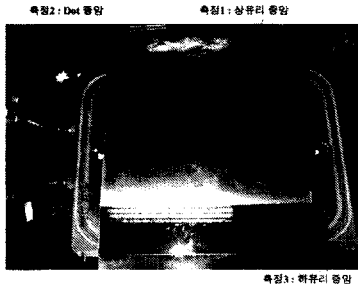


Fig. 8 Photograph of real industry vacuum system and measuring point of vacuum pressure

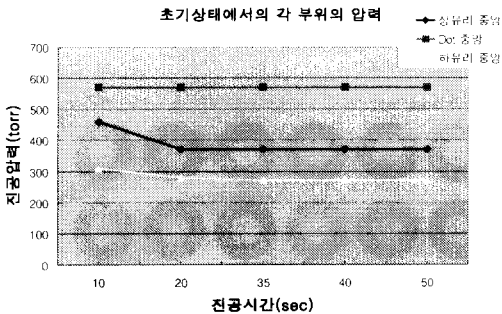


Fig. 9 Pressures of real industry vacuum system

이때 진공 시스템의 압력 측정부위는 Fig. 8에서와 같이 상유리의 중앙부위와 상유리의 Dot 중앙부위, 하유리의 중앙부위로서 각각에 대하여 압력을 측정하였다. 현업 상태의 진공 시스템에서 각 부위의 진공압력 측정 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

실제로 진공 시간이 35초에 도달할 때 상유리 중앙, Dot 중앙, 하유리 중앙부위의 압력이 각각 370, 570, 270 Torr로서, 진공 상태가 좋지 않음을 알 수 있다. 이에 제안된 진공시간의 단축 방안에 대한 실험을 수행하여 그 결과에 대하여 고찰하고자 한다. 또한 제품에 발생하는 얼룩 현상을 규명하기 위하여 기존의 불량 FMSMP에 대하여 현미경 검사를 수행하였다. Fig. 10은 기존의 불량 FMSMP에 대한 부위별 미세 조직 사진을 나타내고 있다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 기존의 불량 FMSMP의 미세조직 사진에서는 큰 공(hole)과 작은 공의 농심도와 공경의 크기, 공경의 배열이 아주 불량하고, 이러한 현상이 얼룩의 발생과 아주 밀접한 관계가 있다.

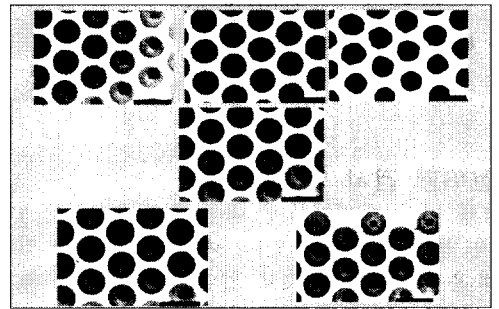


Fig. 10 Microstructure of the FMSMP for real industry vacuum system(x100)

4.1 완전 밀폐에 의한 실험

미세 다공 박판제품 진공 장치에 대하여 진공 그리스 (vacuum grease)를 사용하여 밀폐하여 압력을 측정하였다. 먼저 비누방울 실험에서 가장 많이 공기 새는 부분인 상유리와 철판, 밀폐 고무가 접합하는 4부분만을 밀폐하여 압력을 측정하고 두 번째로 모든 부분을 진공 그리스로 밀폐하여 압력을 측정하였다. Fig. 11에서 원상태의 압력과 4부분만을 밀폐했을 때, 모든 부분을 밀폐했을 때의 압력을 비교하였다. Fig. 11에서 알 수 있듯이 진공 시간 35초일 때, 원상태보다는 4점을 밀폐한 경우가 진공이 잘되고, 4점보다는 모든 부분을 밀폐했을 때가 더욱 진공이 잘 됨을 알 수 있다. 따라서 진공 장치의 밀폐여부가 진공 시간을 단축하는데 중요한 인자임을 알 수 있다.

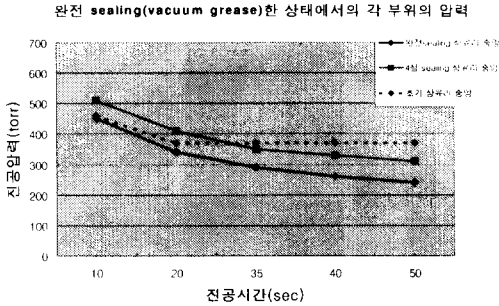


Fig. 11 Pressure of vacuum system with sealing

4.2 상유리에 흡을 가공한 실험

상유리에 흡 가공을 한 개략도를 Fig. 12에 나타내었다.

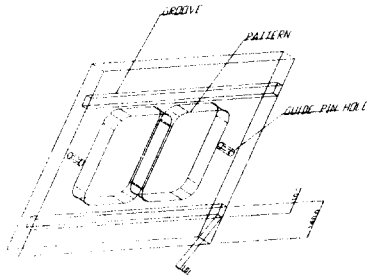


Fig. 12 Schematic drawing of upper glass with groove

상유리 하면에 폭10 mm, 두께0.1 mm의 흡 가공을 하여 진공압력을 측정하였으며, 흡의 위치는 패턴(pattern)에 손상이 가지않는 범위에서 최대한 패턴 쪽으로 하여 흡의 효과를 최대로 하였다. 상유리에 흡가공한 진공시스템을 Fig. 13에 나타내었다.

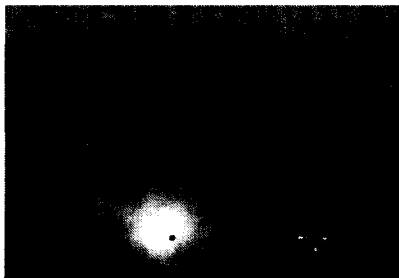


Fig. 13 Vacuum system with groove on the upper glass

흡의 길이는 하유리보다 길게 하되 흡의 끝부분이 진공틀의 유로에 위치하도록 하여 진공틀로부터 흡으로 바로 진공될 수 있도록 하였다.

Fig. 14는 상유리에 흡가공한 진공 시스템에서의 진공압력 측정결과를 나타내었다.

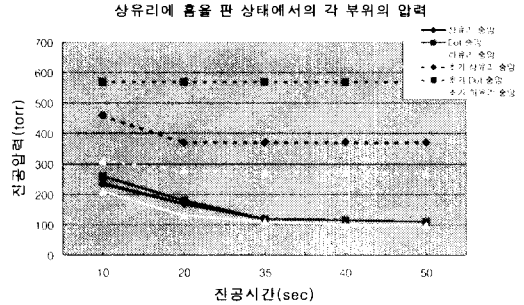


Fig. 14 Pressures of vacuum system with groove on the upper glass

상유리에 흡 가공을 함으로써 공기가 빠져나가는 방향이 기존의 2방향에서 4방향으로 늘어났고 식(7)에서 길이 "L"이 짧아짐으로서 진공 시간이 상당히 단축되었는데, Fig. 12에서 이를 잘 보여주고 있다. 현업 상태의 진공 압력과 비교해볼 때 거의 모든 진공 시간에 걸쳐, 상유리 중앙부위에서 200 Torr 이상, Dot 중앙부위에서 약 400 Torr, 하유리 중앙부위에서 150 Torr 이상의 진공 압력 차이를 나타내고 있다. 진공 시간이 20초에 도달한 때에는 진공압력이 이미 수렴하여 측정한 3지점에서 거의 동일한 진공 압력값을 나타내고 있다.

상유리에 흡을 가공한 실험에서 진공압력이 매우 향상됨을 알 수 있었다. 따라서 흡의 크기에 따른 진공 압력의 향상과 상유리와 철판 사이의 밀착 정도를 파악하기 위하여 아래에 흡 크기에 따른 ANSYS 해석을 수행하였다. 여기서 흡의 위치는 앞선 실험에서와 같이 패턴에 손상을 주지 않는 범위에서 최대한 패턴 쪽으로 정해졌다. Fig. 15은 기존의 진공 상태에 대한 해석이고, Fig. 16는 상유리의 흡의 폭을 10mm, 깊이를 1mm로 한 진공 장치, Fig. 17는 흡의 폭을 10mm, 깊이를 유리 두께의 반인 3.75mm, Fig. 18은 흡의 폭을 20mm, 깊이를 3.75mm로 했을 때의 진공 장치에 대한 수직 방향의 변형량과 응력 분포에 대한 해석이다.

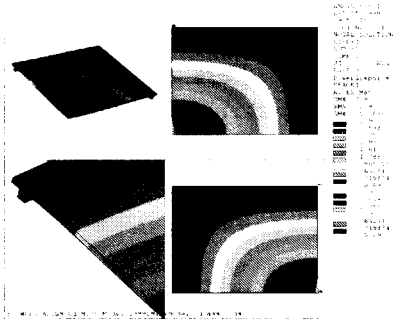


Fig. 15 Distribution of deflection for vacuum system in real industry

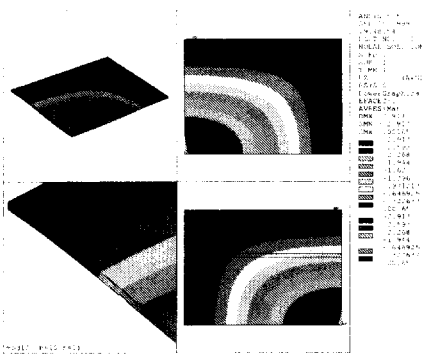


Fig. 16 Distribution of deflection for vacuum system with groove (b=10mm, h=1mm)

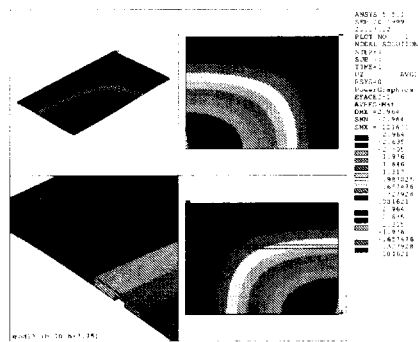


Fig. 17 Distribution of deflection for vacuum system with groove (b=10mm, h=3.75mm)

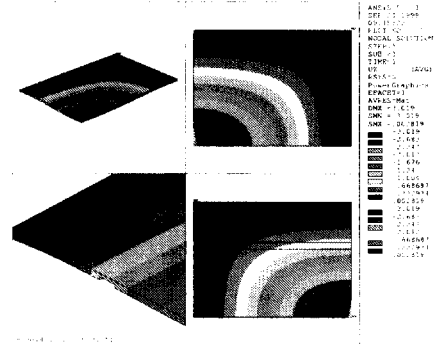


Fig. 18 Distribution of deflection for vacuum system with groove (b=20mm, h=3.75mm)

여기서 z 방향의 변형량은 곧 상유리와 철판 사이의 밀착 정도를 나타내는 것이므로 노광 공정에서는 아주 중요한 인자이다. 기존 상유리의 z 방향 변형량을 나타내는 Fig. 15에서 중심부 변형량의 최대값은 -2.9mm이고, 홈의 폭이 10mm, 깊이 1mm의 진공 장치에 대해서는 중심부 변형량의 최대값은 -2.917mm, 홈의 폭이 10mm, 깊이 3.75mm의 진공 장치는 -2.964mm, 그리고 홈의 폭이 20mm, 깊이 3.75mm의 진공 장치는 -3.019mm임을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과로부터 홈의 깊이보다는 홈의 폭이 클수록 상유리와 철판이 잘 밀착됨을 알 수 있다.

4.3 완전 밀폐와 홈을 가공한 실험

홈 크기를 늘리고 밀폐 효과를 동시에 가질 수 있는 진공 장치를 고안하였다. 절단한 상유리에 두꺼운 고무를 바로 접착하고 패턴에 영향을 미치지 않는 범위에서 고무에 직접 극대화된 홈의 형상을 파서 실험하였으며, 이 때의 진공 장치의 개략도를 Fig. 19에서 나타내었다.

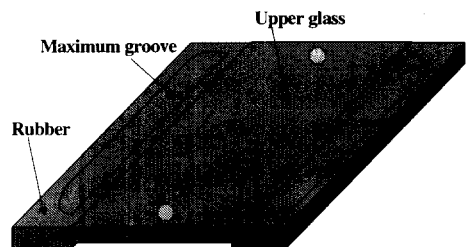


Fig. 19 Schematic drawing of vacuum system with maximum size of groove and sealing

홈 크기를 늘리고 밀폐 효과를 동시에 가질 수 있는 진공 장치의 사진을 Fig. 20에 나타내었으며, 이렇게 하여 실험한 진공 압력 결과를 Fig. 21에 나타내었다.

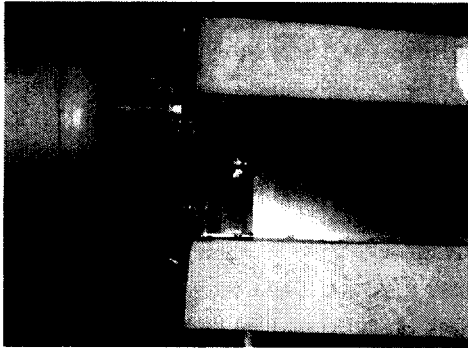


Fig. 20 Vacuum system with maximum size of groove and sealing

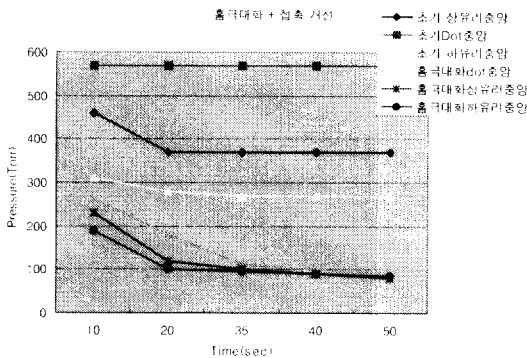


Fig. 21 Pressure of vacuum system with maximum size of groove and sealing

상유리에 홈 가공을 극대화한 진공 시스템에 의한 FMSMP에 대하여 현미경 검사를 수행하였으며, 부위별 미세조직 사진을 Fig. 22에 나타내었다.

Fig. 22에서는 기존의 불량 FMSMP의 미세조직 사진을 나타내고 있는 Fig. 10과 달리 공경의 크기가 균일하고, 공경의 배열, 그리고 동심도가 아주 양호함을 알 수 있다.

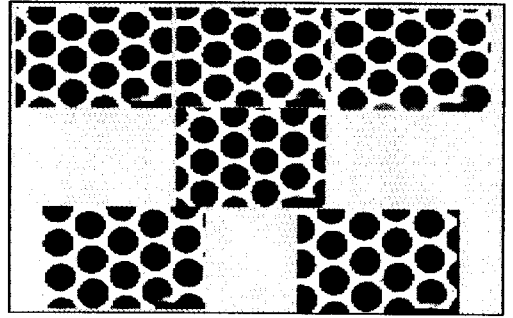


Fig. 22 Microstructure of the FMSMP for vacuum system with groove on the upper glass(x100)

기존의 진공 시스템과 상유리에 홈을 극대화한 진공 시스템에 의한 FMSMP에 대하여 TM검사를 수행하였으며, Table 1과 같은 TM(transmittance) 결과를 얻을 수 있었다. TM의 측정은 미세나공 박판 제품 10매에 대한 평균값을 나타내며 제품의 중앙, 좌상, 좌하, 우상, 그리고 우하 지점에서 측정하였고, 각각의 지점에 대한 편차량을 표시하였다. 상유리에 홈가공을 극대화한 진공 시스템에서 TM값이 선체적으로 아주 양호한 수치를 나타내고 있으며 각 측정지점의 편차량 또한 상유리에 홈가공한 진공 시스템에서 낮은 수치를 나타내고 있으므로 현업 상태의 진공 시스템보다 제품의 질이 향상됨을 알 수 있었다.

Table 1 Results for TM of two vacuum systems

구분	중앙	좌상	우상	좌하	우하	편차
진공 기준	17.28	17.06	16.74	17.28	17.48	0.74
20초 상유리	17.28	17.20	16.98	17.29	17.55	0.57
진공 기준	17.43	17.12	16.78	17.30	17.66	0.88
25초 상유리	17.36	17.26	17.02	17.42	17.63	0.61
진공 기준	17.54	17.35	16.96	17.34	17.79	0.83
30초 상유리	17.52	17.43	17.23	17.44	17.81	0.58

5. 결론

본 연구에서는 노광 공정의 진공시스템을 분석하여 얼룩현상 개선 및 진공시간 단축을 위한 방안

을 제시하고 이에 따라 실험을 수행하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 진공시간 단축의 주요인자에 대하여 실험을 수행한 결과 유리와 철판 사이의 간격이 클수록, 패턴에 영향을 끼치지 않는 범위에서 진공 되어야 될 부분의 길이 "L"이 짧을수록 진공 시간이 단축됨을 알 수 있었다.
2. 진공 속도를 단축시키는 방안 중에서 상유리에 흡가공한 방식이 빠른 시간에 유리와 철판을 강하게 밀착시켜 진공시간을 단축시켰다. 또한 최적의 흡의 크기를 위한 ANSYS 해석을 통하여 흡을 극대화할수록 진공속도가 향상된다는 사실을 발견하여 흡의 크기가 밀폐 고무를 벗어나지 않고 패턴에 손상을 주지 않는 범위에서 흡을 가공하여 실험을 수행한 결과 진공속도가 향상됨을 알 수 있었다.
3. 기존의 진공 시스템과 상유리에 흡가공한 진공 시스템에 의한 제품에 대하여 현미경 검사를 수행하여, 개선된 진공 시스템에 의한 제품의 미세 조직이 기존의 제품보다 공경의 크기, 공의 중심도에서 우수함을 알 수 있었다.
4. 상유리에 흡가공한 진공 시스템에서 TM값이 전체적으로 아주 균일한 수치를 나타내고 각 측정 지점의 편차량도 낮은 수치를 나타내어 양호한 미세 다공 박판 제품을 얻을 수 있었다.

이러한 결과를 토대로 향후에는 진공시간의 단축에 따른 미세 다공 박판제품의 생산성 향상을 위하여 진공도의 수렴속도 향상과 더 낮은 진공 압력을 얻기 위한 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

후기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형 가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Saksaganskii G.L., "Molecular Flow in Complex

Vacuum Systems," Gordon & Breach, 1988.

2. A.BERMAN, " Total Pressure Measurements in Vacuum Technology," ACADEMIC PRESS,INC.
3. J.C.Choi, B.M.Kim, H.Y.Cho, Chul Kim, "A compact and practical CAD system for blanking or piercing of irregular-shaped sheet metal products and stator and rotor parts," International Journal of MACHINE TOOLS & MANUFACTURE, Vol. 38, pp. 931-963, 1998.
4. J.C.Choi, B.M.Kim, H.Y.Cho, Chul Kim, J.H.Kim, "An intergrated CAD system for the blanking of irregular-shaped sheet metal products," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 83, pp. 84-97, 1998.
5. "EDWARDS VACUUM PRODUCTS," 1989.
6. Sedlack M, "Electron Physics Vacuum and Gaseous Devices H/C," John Wiley & Sons, 1996.
7. Rosebury, Fred, "Handbook of Electron Tube and Vacuum Techniques," Amer. Inst. of Physics, 1993.
8. Muller, "Vacuum Technology," Chapman & Hall, 1999.