



&lt;연구논문&gt;

ISSN 1225-8024(Print)  
ISSN 2288-8403(Online)

한국표면공학회지  
J. Korean Inst. Surf. Eng.  
Vol. 51, No. 5, 2018.

<https://doi.org/10.5695/JKISE.2018.51.5.303>

## 디스플레이 유리의 눈부심 방지 표면처리를 위한 샌드 블래스팅 공정의 모형화

민철홍<sup>a</sup>, 김태선<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>주) 시노펙스,

<sup>b</sup>가톨릭대학교 정보통신전자공학부

### Modeling of Sand Blasting Process for Anti-Glare Surface Treatment of Display Glass

Chul Hong Min<sup>a</sup> and Tae Seon Kim<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>Central Research Institute, SYNOPEX Inc., Hwasung, 18423, Korea

<sup>b</sup>School of Information, Communications and Electronics Engineering,  
Catholic University of Korea, Bucheon, 14662, Korea

(Received 15 October, 2018 ; revised 28 October, 2018 ; accepted 29 October, 2018)

#### Abstract

Currently hydrofluoric acid (HF) based glass etch method is widely used for anti-glare (AG) surface treatment since it can effectively alleviate the specular reflection problem with relatively low processing cost. However, due to the environmental regulation and safety problem, it is essential to develop alternative technology to replace this method. For this, in this paper, we propose sand blasting based AG surface treatment method for display glass. To characterize the sand blasting process, surface roughness, haze, surface durability, and flatness are considered as process outputs and central composite design (CCD) method and response surface model (RSM) method are applied to model each process output. Models for surface roughness and haze showed 96.44% and 97.24% of R-squared values, respectively and they can be applied to optimize AG surface treatment process for various haze level requirements of display industries.

*Keywords* : Anti-Glare (AG), Haze, Sand Blast, Modeling, Response Surface Model (RSM)

## 1. 서 론

디스플레이 장치는 통상 해상도, 명암비, 동작속도, 색 표현의 정확도 및 밝기 등이 주요평가항목으로 고려된다. 그러나, 최근 모바일 기기의 사용이 증가하면서 야외시인성 혹은 가독성(user readability) 또한 매우 중요한 요소로 평가되고 있다. 이러한 평가지표는 기본적으로 디스플레이 소

자의 특성과 1차적인 관련을 갖고 있으나 조명이나 밝은 야외에서의 시인성 혹은 가독성은 디스플레이 장치의 표면에 사용되는 유리의 빛 반사 현상과도 큰 관련을 갖는다 [1]. 이러한 빛반사 문제의 해결방법으로는 유리기판에 굴절률이 다른 필름층을 입혀 반사광을 무효화하는 반사방지(anti-reflective, AR) 표면처리기술과 반사면을 거칠게 처리하거나 [2] 작은 입자들을 표면에 코팅하여 빛의 산란을 이용하는 눈부심방지(anti-glare, AG) 표면처리기술이 대표적이다 [3]. 통상적으로 AR 표면처리를 위해서는 여러 층의 절연막을 유리기판 위에 적층하는 과정이 필요하며 이로 인해 필름의 내구성이나 투과도 등의 문제로 가독성을 떨어뜨릴

\*Corresponding Author: Tae Seon Kim

School of Information, Communications and Electronics Engineering, Catholic University of Korea  
Tel: +82-2-2164-4367 ; Fax: +82-2-2164-4581  
E-mail: tkim@catholic.ac.kr

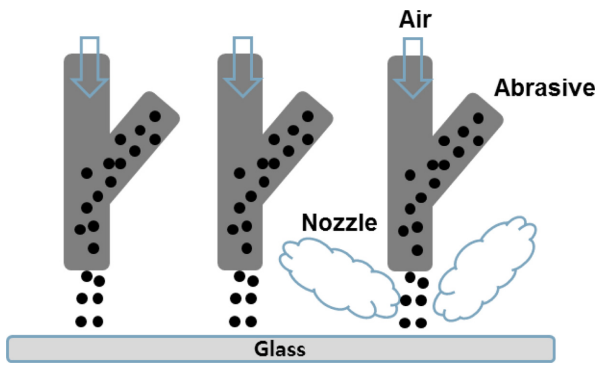


Fig. 1 A simple expression of sand blaster for AG surface treatment.

수 있고 제조단가가 높다는 단점이 있다 [4]. AG 표면처리는 표면을 거칠게 하기 위한 산란층이 디스플레이의 선명도를 떨어뜨리는 문제를 가지고 있으나 [5] 유리표면의 직접 식각을 통해 상대적으로 낮은 제조단가로 경면반사(specular reflection) 문제를 완화할 수 있어 양산에 많이 쓰이고 있다 [6]. 통상 양산과정에서는 AG 표면처리를 위하여 불산계(HF) 식각용액을 이용하여 유리기판을 직접 처리하는 방식을 사용하고 있다. 그러나 환경규제 및 안전상의 문제 등으로 이를 대체할 수 있는 기술의 개발은 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 샌드 블래스팅을 이용한 새로운 AG 표면처리 기법을 제시한다. 샌드 블래스팅 공법은 그림 1과 같이 미세입자 형태의 연마제를 노즐을 통해 고속의 공기나 가스를 통해 가속시킨 후 유리표면에 물리적 충돌을 통해 식각을 하는 미세가공법이다. 통상적으로 이 방법은 유리의 표면을 거칠게 하여 이중유리 구조를 만들기 위한 방법이나 심미적 목적으로 유리면에 패턴을 형성하기 위한 방법으로 많이 사용되고 있는 방식이지만 [7-8] 이를 AG 표면처리 용도로 사용하여 공정인자와의 관계를 밝힌 연구결과는 확인되지 않는다. 본 논문에서는 샌드 블래스팅 공법을 AG 표면처리의 용도로 사용하기 위하여 샌드 블래스팅 공법의 공정변수들과 디스플레이용 AG의 특성간의 관계를 실험계획법을 통하여 통계적으로 분석하고 향후 다양한 AG 표면처리 특성에 대응할 수 있는 공정최적화를 위한 인자분석을 하였다. 표면처리결과의 성능분석을 위해 노즐의 압력, 노즐의 높이 및 이송속도가 공정변수로 고려되었고 표면의 거칠기(roughness), 헤이즈(haze), 면압강도(surface durability) 및 평탄도(flatness)의 네 가지를 공정의 특성평가지표로 설정하여 샌드 블래스팅공정 입력에 따른 특성을 분석했다.

Table 1. Range of input parameters for sand blasting.

Parameter	Range	Units
Pressure	2.5j-5.0	MPa
Height	130j-300	mm
Speed	5j-10	RPM

Table 2. Response parameters for characterization of AG surface treatment.

Response parameters	Units
Roughness ( $R_a$ )	μ-
Haze	%
Surface durability	N
Flatness	mm

## 2. 실험방법

AG 처리를 위한 유리기판은 양산에 사용되는 휴대폰의 디스플레이용 유리가 사용되었다. 샌드 블래스팅공정의 입력변수로는 표 1에 나타난 바와 같이 샌딩 노즐의 압력(Pressure)과 높이(Height) 그리고 유리 기판의 이송속도(Speed)의 세 가지가 설정되었다.

효과적인 통계분석을 위하여 실험계획법(design of experiment, DOE)에 기반한 실험을 진행하였다 [9]. 사용된 실험계획법은 중심합성설계법(central composite design, CCD)으로 3개의 입력인자에 대해 2 block을 통해 총 20번의 실험으로 구성된다. 즉, 8개의 cube point와 4개의 큐브 중간점(center points in cube), 6개의 축점(axial points) 및 2개의 축 중간점(center points in axial)로 구성된다.

AG 표면처리결과의 성능분석을 위해 표 2에 나타난 바와 같이 표면의 거칠기(roughness), 헤이즈(haze), 면압강도(surface durability) 및 평탄도(flatness)가 고려되었다. 가독성에 중점을 둔 AG 표면처리의 경우 선명도(clarity)와 스파클(sparkle) 등이 특성으로 고려될 수 있으나, 본 논문에서는 다양한 헤이즈 값 요구에 수용 가능한 표면처리기술의 공정최적화를 위해 1차적으로 헤이즈 및 표면 처리된 유리기판의 기계적인 특성들을 응답성능으로 정의하였다. 표면거칠기는 레이저현미경을 이용하여 측정된 값을 바탕으로  $R_a$  (arithmetic average roughness) 값을 계산하여 나타냈다 [10]. 헤이즈는 미놀타사의 측정장비를 통해 AG 표면 처리된 유리를 통과하면서 산란되거나 반사되는 빛의 양을 측정하였고, 면압강도는 AG 표면 처리된 시료를 올리고 유리기판이 파단(fracture)되는 시점의 강도를 측정하였다. 평탄도는 레이저 휨 측

Table 3. Estimated regression coefficients for roughness ( $R_a$ ).

Term	Coefficient	p-value
Constant	1.419	0.000
Pressure	0.143	0.000
Height	-0.181	0.000
Speed	-0.006	0.753
Pressure $\times$ Pressure	-0.133	0.000
Height $\times$ Height	-0.027	0.179
Pressure $\times$ Height	-0.027	0.177
Pressure $\times$ Speed	0.097	0.003
Height $\times$ Speed	0.073	0.013
Speed $\times$ Speed	0.046	0.082

정장비를 이용하여 시편의 다섯 곳을 측정 후 최대치와 최소치의 차이를 이용하여 휨 정도를 나타냈다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 표면거칠기

실험결과와 분석을 위해 본 논문에서는 반응표면 설계법(Response surface model, RSM)을 이용하였다. RSM은 반응변수들과 실험변수들간의 관계를 규명하는데 유용하여 반응변수를 최적화하는 인자 조건을 찾는 데 사용할 수 있다 [11]. 표 3은 표면 거칠기를 모형화하기 위해 추정된 회귀식의 계수들의 값 및 p-value를 나타낸다. 그 결과 노즐의 압력 및 높이는 표면거칠기에 영향이 큰 1차요인으로 파악되지만, 유리의 이송속도는 표면거칠기와는 그 영향이 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 또한 압력의 제곱인자 및 압력과 속도의 곱인자와 높이와 속도의 곱인자들도 p-value가 최대 0.013 수준 이하로 나타나 표면거칠기와 유의성이 있는 인자로 보인다. 상기 계수들을 이용하여 구성한 표면거칠기의 회귀모형은 96.44%의 결정계수값(R-squared value)을 보였다.

그림 2는 노즐의 높이 및 이송속도의 변동에 따른 표면거칠기의 영향을 보여주기 위한 RSM 모형 결과이다. 이 때 노즐의 압력은 실험계획법에서 고려한 범위의 중간 값으로 고정되었다. 그림 2에 나타난 바와 같이 노즐의 높이가 낮을수록 표면의 거칠기는 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 샌드 블래스팅 공정에서 분사되는 연마제가 유리기관과 가까울수록 마찰의 정도가 달라지는 관계로 균일한 식각이 이루어지지 않음에 기인한 것으로 추정된다. 이송속도는 노즐의 높이대비 표면거

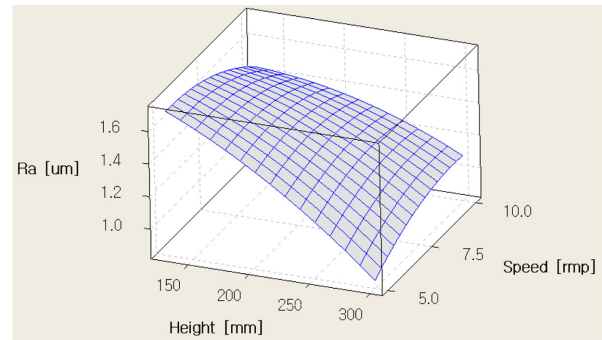


Fig. 2 Effects of height and speed on surface roughness.

칠기에 영향이 크지 않은 것으로 보이지만 노즐의 높이와 교호효과(interaction effect)를 가지고 있는 것으로 보인다. 즉, 노즐의 높이가 낮은 경우 이송속도는 거의 영향이 없거나 이송속도의 증가에 따라 약간 표면거칠기가 줄어드는 경향이 나타나지만 노즐높이가 200 mm 이상 확보된 경우에는 이송속도의 증가에 따라 표면거칠기가 상승하는 것으로 추정된다. 이는 노즐의 높이가 충분히 낮은 경우에는 어느정도 이송속도가 증가하여도 충분히 식각이 이루어질 수 있으나, 유리기관의 이송속도가 높아지면서 연마제가 유리를 식각할 수 있는 충분한 시간이 확보되지 못한 관계로 표면식각의 균일도가 떨어지고 표면거칠기가 약간 악화되는 경향을 보이는 것으로 추정 된다. 그러나, 본 공정에서 고려하는 변동폭에서는 상대적으로 그 효과는 크지 않은 것으로 보인다.

#### 3.2 헤이즈

표면거칠기와 같은방법으로 RSM을 통해 인자들의 영향을 분석하였다. 그림 3은 RSM 모형화에 따른 잔차도(residual plot)을 나타낸다. 그림 3의 normal probability 및 히스토그램에 나타난 바와 같이 대부분의 실험결과가 모형화 결과와 일치하고 있으나 일부 실험결과가 상대적으로 큰 잔차를 보이고 있다. 특히 세 번째 실험결과 및 열 일곱 번째 실험결과가 모형과 큰 편차를 보이고 있으나 두 실험의 헤이즈 값이 유사하지 않은 관계로 특별히 모형이 편향되어서 나타난 오류로 보기는 어려우며 본 실험을 기반으로 한 통계모형의 성능의 한계로 추정된다. 회귀분석에 따라 계산된 p-value들은 압력, 높이 및 속도인자 모두 0.005 이하의 값을 나타내어 헤이즈값과 유의한 관계가 있음이 나타났으며 회귀모형의 결정계수 값은 97.24% 이다.

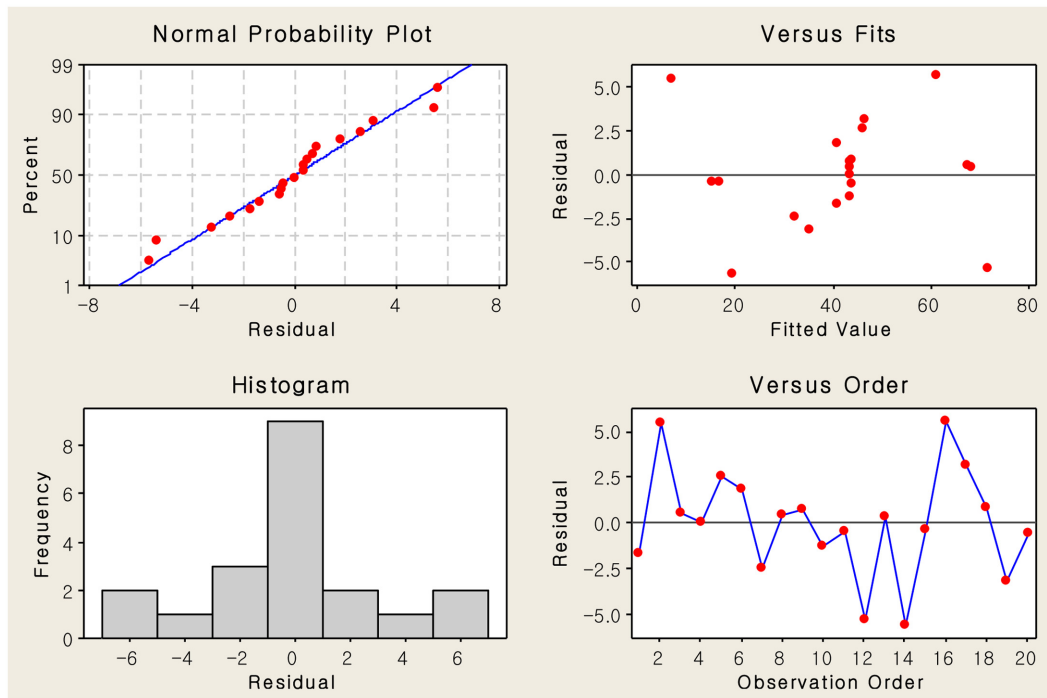


Fig. 3 Residual plot for haze.

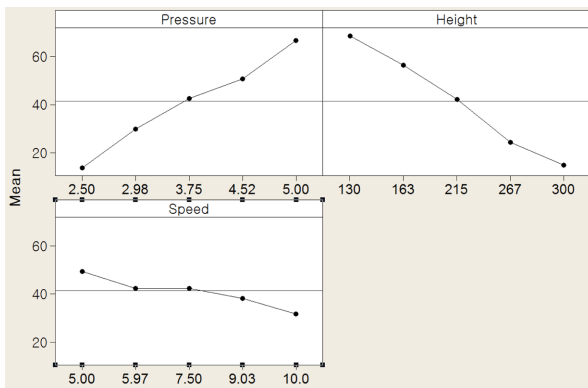


Fig. 4 Main effect plot for haze.

그림 4는 헤이즈에 대한 각 공정인자들의 주효과도(main effect plot)이다. 여기서 가로축은 각 인자의 공정범위를 나타내고 세로축은 헤이즈 값을 % 단위로 나타낸다. 회귀분석의 p-value값에서 나타난 바와 같이 압력과 노즐의 높이는 거의 선형에 가까운 상관관계 특성을 보이고 있고, 이송속도는 다른 두 요인에 비해 민감하지 않지만 이송속도가 빨라짐에 따라 헤이즈 수치가 약간 하강하는 것을 볼 수 있다. 그림 5는 헤이즈 값에 대한 각 공정인자들의 교호효과도(interaction plot)이다. 그림 5에 나타난 바와 같이 노즐압력과 헤이즈 값 간의 양의관계와 노즐높이와 헤이즈 값 간의 부의 관계는 두 공정변수가 동시에 변하는

경우에도 특정 값에 따른 교호효과는 보이지 않고 각 인자의 주효과들의 영향이 유지되는 것으로 보인다. 이러한 영향은 이송속도와 같이 변화되는 경우 그 변동폭이 좁아지기는 하지만 이 경우 또한 특별한 교호효과는 나타나지 않았다. 따라서, 샌드 블래스팅 공정에서 통계적으로 유의할 만큼 헤이즈에 교호효과를 나타내는 공정인자는 없다고 볼 수 있다.

### 3.3 면압강도

면압강도의 경우 회귀분석을 위한 인자들의 p-value값들이 모든 경우 0.1 이상을 나타냈다. 즉, 본 연구에서 고려한 입력인자들은 면압강도의 변동에 통계적으로 유의한 만큼 영향을 미치지 못한 것으로 나타났다. 그림 6의 면압강도에 대한 주효과도에서도 각 공정변수는 면압강도의 변화에 특별한 경향성을 나타내지 않았다. 그림 7의 면압강도에 대한 교호효과도를 보면 일부 노즐의 압력에 대해 노즐의 높이가 증가하는 경우 면압강도가 약간 증가하는 경향이 있는 것으로 보이지만 중간값인 3.75 MPa의 경우에는 상관관계를 파악하기에 그 정도가 미미하다. 반면 속도와 압력 및 속도와 높이 간의 교호효과 관계도에서는 압력과 높이 값에 따라 각각 교호효과가 있는 것으로 보이지만 그 정도가 유의한 정도로 나타나지 않는다. 따라서, 현재의 실험결과만으로는 상관

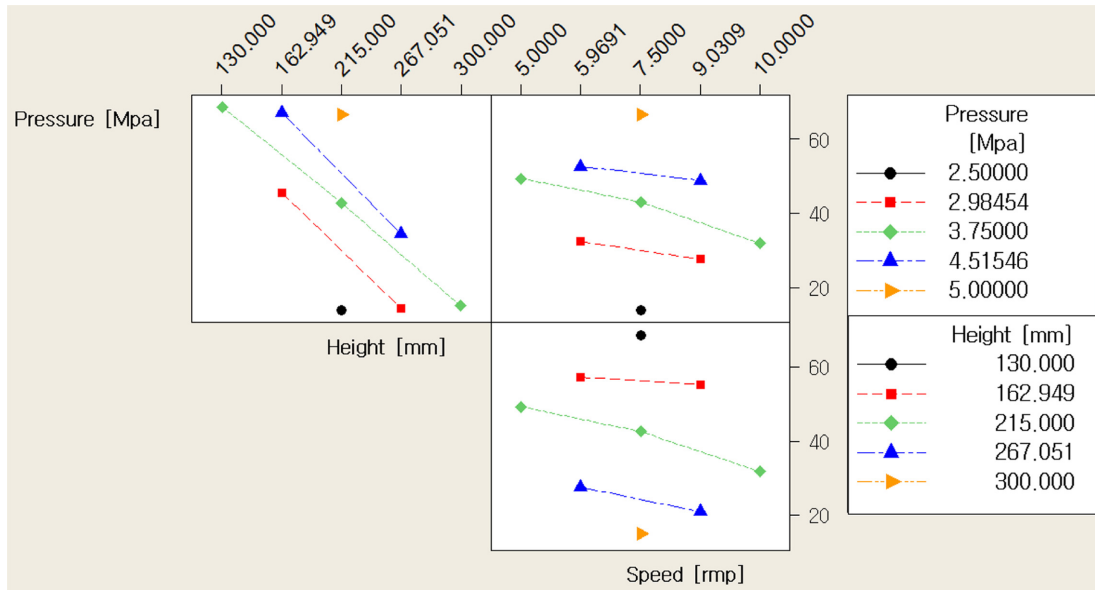


Fig. 5 Interaction plot for haze.

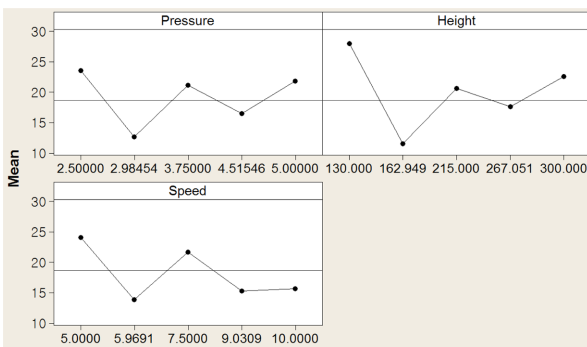


Fig. 6 Main effect plot for surface durability.

관계에 대한 결론을 내리기에 어렵다고 보여 추가적인 실험이 필요하다고 본다. 통상적으로 면압 강도는 표면처리된 유리기관의 거칠기의 편차가 특별히 심한 경우 문제가 될 수 있다. 따라서, 향후 공정변수의 변화 폭을 더욱 넓히고 자연산포의 확인을 위해 반복실험이 필요할 것으로 보이며 공정변수와 유리의 특성간의 분석에 더불어 표면처리 후 특성들 간의 분석이 필요할 것으로 보인다. 즉, 표면거칠기와 면압강도와의 상관관계를 포함하여 이를 바탕으로 공정에서 수용 가능한 헤이즈 수준 및 표면거칠기의 수준 파악도 가능할 것으로 본다.

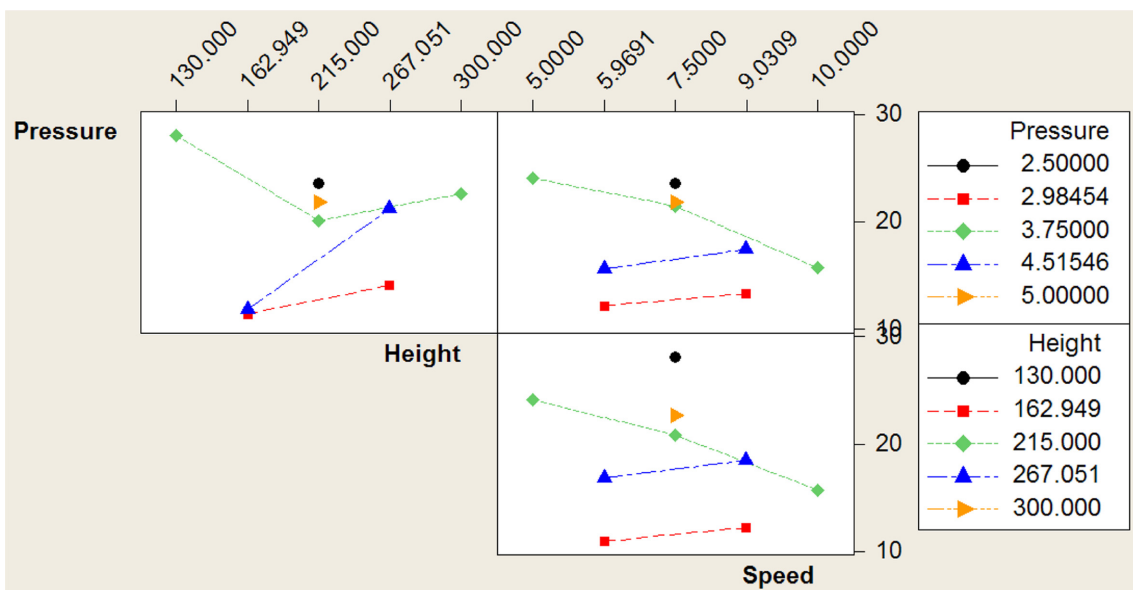


Fig. 7 Interaction plot for durability.

### 3.4 평탄도

평탄도의 모형화를 위해 추정된 회귀변수들은 노즐의 높이 및 높이의 제곱항이 0.03 이하 수준의 p-value값을 보였고, 높이와 압력의 곱 및 높이와 속도의 곱으로 이루어진 항이 약 0.06의 p-value값을 나타냈다. 그러나 이들을 바탕으로 한 모형의 결정계수 값은 74.5%로 해당 인자들로 평탄도를 충분히 설명했다고 보기에는 한계가 있는 것으로 보인다. 이러한 결과가 나온 이유는 본 연구에서 시행 하였던 공정변수 범위에서 샌드 블래스팅 공법을 통한 AG표면처리는 유리기관의 휘어짐을 크게 만들지 않았던 것에 기인하는 것으로 추정된다. 본 연구에 사용된 실험 범위에서 평탄도의 결과는 최소 0.003 mm에서 최대 0.008 mm의 값을 보였다. 이 값은 측정장비의 오차범위인  $\pm 2 \mu\text{m}$ 를 고려한다면 해당 실험 범위 내에서 평탄도의 차이는 유의하다고 볼 수 없을 것으로 본다. 이러한 작은 편차로 인해 모형의 결정계수 값이 높지 않았음에도 불구하고 예측 오차는 최대 0.002 mm 수준이었다. 즉, 현재 실험에서 고려한 공정변수의 변화폭 내에서는 평탄도에 문제가 발생할 수준의 공정변수값은 없는 것으로 파악된다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 디스플레이 장치의 눈부심방지 표면처리를 위한 새로운 방식으로 샌드 블래스팅 공법을 적용하기 위한 공정을 모형화 하였다. AG 표면처리된 유리기관의 특성을 평가하기 위해 노즐의 압력, 노즐의 높이 및 이송속도 세 가지 공정변수를 설정하고 중심합성설계법을 이용하여 표면처리된 유리의 표면 거칠기, 헤이즈, 면압강도 및 평탄도를 분석하였다. 분석결과 표면거칠기에 영향이 큰 인자는 압력과 노즐의 높이였으며 이송속도와 노즐의 높이는 교호효과를 보였으나 그 강도는 상대적으로 크지 않았다. 헤이즈 값에는 압력, 높이 및 속도 모두 영향이 있는 것으로 나타났으나 교호효과는 나타나지 않았다. 면압강도의 경우 유의한 수준의 변동인자는 확인되지 않았고 주효과분석 및 교호효과 분석결과 역시 유의한 경향을 찾을 수는 없었다. 마지막으로 평탄도의 경우 노즐의 높이인자가 유의한 것으로 파악되었으나, 평탄도의 절대 수치 및 그 차이가 크지 않아 측정장비의 오차수준을 고려할 때 샌드 블래스팅 표면처리는 기관의 휘어짐과 상관도가 낮아 평탄도에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 이러한 분석 결과 및 모형은 추후 사용목적에 따라 다양한 헤이즈 값을 갖는 디스플레이 기관의 공정 최적화에 사용 가능할 것으로 본다.

## 후 기

이 논문은 2017년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원으로 이루어졌음.

이 논문은 2018년도 “청정생산기반전문기술개발사업”의 지원을 받아 수행된 것임(10076817).

## References

- [1] V. F. Paz, S. Kohlenbecker, E. Persidis, Implementation of a sparkle characterization method for anti-glare layers on automotive-displays, Proc. Int. W. Act. Matrix Flatpanel Disp. (2018) 1-4.
- [2] Y. D. Almoallem, M. J. Moghimi, H. Jiang, Conformal antireflective surface formed onto 3-D silicon structure, J. Microelectromec. Syst. 27 (2018) 380-382.
- [3] D. Tulli, S. D. Hart, P. Mazumder, A. Carrilero, L. Tian, K. W. Koch, Monolithically integrated micro- and nanostructured glass surface with antiglare, antireflection, and superhydrophobic Properties, appl. mater. interfaces 6 (2014) 11198-11203.
- [4] P. Lin, Y. Lin, S. Hwang, S. Jeng, C. Liao, Effects of anti-glare surface treatment, ambient illumination and bending curvature on legibility and visual fatigue of electronic papers, Display 29 (2008) 25-32.
- [5] M. Isshiki, Simulation of anti-glare cover glass using fourier optics consistent with sparkle and other visual performances, Soc. Inf. Disp. Tech. Dig. 48 (2017) 1383-1386.
- [6] A. M. Nuijs, J. J. L. Horikx, Diffraction and scattering at antiglare structures for display devices, Appl. Opt. 33 (1994) 4058-4068.
- [7] H. Laouamri, S. Giljean, G. Arnold, M. Kolli, N. Bouaouadja, M. Tuilier, Roughness influence on the optical properties and scratch behavior of acrylic coating deposited on sandblasted glass, Prog. Org. Coat. 101 (2016) 400-406.
- [8] E. Kang, J. Kim, H. Jang, D. Park, Machinability evaluation of sapphire glass using powder blasting, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. 24 (2015) 224-230.
- [9] C. Min, D. Shin, K. Park, T. Kim, T. Park and T. Kim, Process analysis for surface treatment of glass anti-glare using sand blast process, Proc. IEEK summer Conf. (2018) 1435-1437.
- [10] D. Whitehouse, Surfaces and their Measurement. 1<sup>st</sup> Ed. Boston Butterworth-Heinemann, Boston (2012) 16-24.
- [11] D. Montgomery, Design and analysis of experiments, 4<sup>th</sup> Ed. Jonh Wiley & Sons, New York (1996) 575-606.