

소형 LCD 도광판의 사출성형에 관한 연구 (2) : 공정조건이 휘도에 미치는 영향

이호상*

(2002년 3월 15일 접수)

A Study on the Injection Molding for the Light Guide Plate of a Small Sized LCD (2) : Influences of Processing Conditions on the Brightness

Ho-Sang Lee

Abstract

For the light guide plate of the TFT-LCD, there have been increasing demands for higher brightness, thin and light-weight design, and lower power consumption. To meet these demands, a micro-prism-type frontlight that integrates a prismatic sheet and a light-guiding plate has been developed. In this paper, the influences of processing conditions on the brightness were studied for the injection molding of the light guide plate. Based on the experiment with an actual mold, the design of experiments and the neural network theory were used for choosing the optimal processing parameters to increase the brightness and the uniformity. The verification experiment also showed that the brightness and the uniformity were increased dramatically with the chosen processing conditions.

Key Words : Injection Molding, Design of Experiments, Neural Network Theory, Light Guide Plate, LCD, Brightness, Uniformity

1. 서론

TFT-LCD의 반사형 도광판은 광원(LED, CCFL등)에서 나온 빛을 반사 및 확산을 통하여 LCD전면에 적절한 광도를 제공하여 사용자가 문자 및 영상을 인식하도록

하는 부품이다. 본 논문에서의 연구대상인 LCD 도광판은 반사형으로 기존 백라이트 방식과는 달리 Fig.1과 같이 컬러 LCD 위에 위치하며 광원에서 나온 빛을 반사, 확산시켜주는 미세한 패턴이 정밀하게 성형된다. 따라서 사출성형 후 안정적인 치수 정밀도, 휘도(Brightness)

* 충주대학교 기계설계학과 / 나노기술연구소

-ess), 휘도의 균일도(Uniformity)등이 매우 중요하다.

LCD 도광판에 관한 연구는 기업 연구소를 중심으로 휘도를 높이고 제조원가를 최소화시키는 방향으로 진행되어 왔다. 일본 Minebea사의 Suzuki등⁽¹⁾은 프리즘 필름 기능을 포함하는 백라이트 방식 도광판의 광학설계에 대하여 연구하였으며, 최근 마쓰시타의 Nagahara등⁽²⁾은 미세 프리즘을 갖는 일체형 도광판을 개발하기 위하여 미세 패턴가공 및 사출성형에 대하여 연구하였고, 특히 공정조건이 휘도에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

지금까지 정밀 플라스틱 광학 제품과 관련하여 잔류응력 및 복굴절에 대하여는 많은 연구가 진행되었으나⁽³⁻⁸⁾, LCD 도광판의 성형에 관련된 이론적인 연구는 발표된 바 없으며, 특히 반사형 도광판에서 가장 중요한 휘도 특성에 대한 체계적인 연구 결과는 아직 발표된 바 없다.

본 논문의 제(1)편에서는 사출성형 공정 및 도광판의 변형해석을 위하여 유한요소법을 적용하고 도광판 금형을 설계하였으며, 도광판의 최종 수축/변형량을 고려한 금형 캐비티 치수를 설계하였다. 그리고 본 논문의 제(2)편에서는 사출성형 조건이 휘도에 미치는 영향에 대하여 실험적인 연구를 수행하였다. 다루어 방법과 신경회로망 이론을 적용하여 최적의 공정조건을 도출하였으며, 사출 성형실험을 통하여 예측결과를 확인하였다.

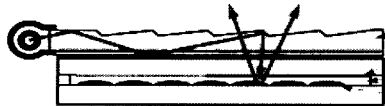


Fig. 1 Structure of frontlight typed LCD

2. 실험장치

유한요소 해석을 적용한 금형설계조건을 사용하여 Fig. 2와 같이 고정측 금형과 가동측 금형을 각각 제작하였다. 이때 두께가 변하는 코어부분은 니켈 코팅 후 다이아몬드 초정밀가공기를 사용하여 경면 가공을 하고 패턴을 추가하였다. 또한 사출성형을 위해 Fig. 3과 같이 FANUC 사의 Roboshot 50 i 사출성형기에 금형을 조립하고, (주)유스테크 코리아의 스위스산 TT-230 금형은 도조절기를 사용하여 금형온도를 제어하였다.

본 연구의 적용 대상인 LCD 도광판의 가장 중요한 특성은 휘도(Brightness)이다. 휘도란 일정한 넓이를 가진 광원 또는 빛의 반사체 표면의 밝기를 나타내는 양으로써, 관측자가 본 그 물체의 겉보기 단위 면적당 광도로

나타내며, 광도의 단위로는 칸델라(Candela, cd)를 사용하여 표시한다. 본 연구에서 사용된 휘도 측정 장비는 국내에서 일반적으로 많이 쓰이는 종류중 하나인 일본의 TOPCON사의 BM-7로 Fig. 4와 같으며 측정시 사용한 전류는 $20 \pm 0.1 \text{mA}$ 이다.



(a) Movable mold (b) Fixed mold

Fig. 2 Movable mold and fixed mold

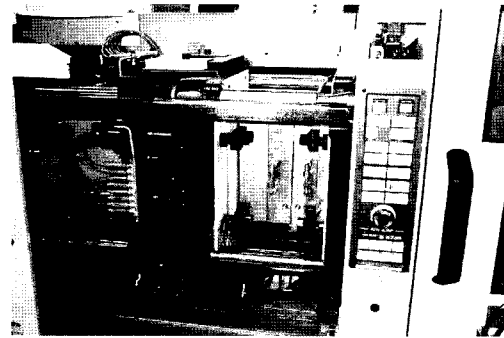
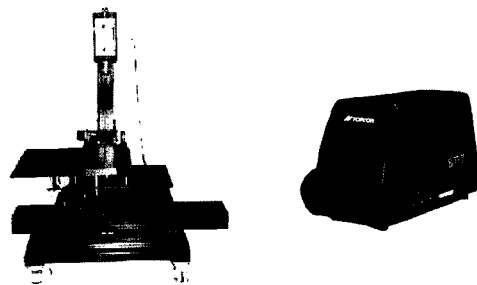


Fig. 3 Injection molding machine with mold



(a) 3-Axis table (b) Luminance meter

Fig. 4 3-Axis table and luminance meter

3. 다구짜 방법의 적용

도광판 특성에서 가장 중요한 휘도는 분자배향, 잔류 응력 등에 따라 크게 변하고 거동이 복잡하므로 아직까지 휘도를 예측할 수 있는 이론은 정립되어 있지 않다.

따라서 본 연구에서는 사출성형 조건이 휘도와 휘도의 균일도에 미치는 영향을 연구하고, 최적의 공정조건을 도출하기 위하여 실험계획법을 적용하였다.

성형조건과 휘도와의 관계 규명 및 최적화에 사용될 실험 방법은 실험 횟수를 최소화하여 시간과 경제적 부담을 줄여야 하며, 실험에서 결정되는 성형조건이 잡음에 대하여 강건하여야 한다. 이러한 실험 요구 조건을 만족시키기 위한 대표적인 실험계획법으로 다구짜 방법을 사용하였다.⁽⁹⁾ 다구짜 방법에서는 교란 인자의 영향으로부터 품질을 강건하게 유지하기 위하여 SN비 (signal-to-noise-ratio)를 사용한다. SN비는 신호 대 잡음의 비율을 의미하는 것으로 신호입력의 힘과 잡음이 주는 영향의 힘의 비율로서 나타낸다. 즉, 각 조절인자의 SN비를 크게 만드는 값을 그 인자의 값으로 결정하면 이렇게 선정된 값은 잡음에 대하여 강건해진다.

다구짜 방법의 직교배열표에 따른 도광판 휘도 특성을 측정하기 위하여는, 사전에 도광판 성형시 빈번하게 발생하는 실버스트릭(silver streak)현상을 방지할 수 있는 공정조건에 대한 연구가 필요하다.

3.1 실버스트릭

실버스트릭은 사출성형품의 표면 혹은 표면 부근에서 대단히 가는 줄이 다발로 생기는 성형불량으로 LCD 도광판과 같은 광학특성이 중요한 제품에서는 치명적인 성형 불량이다. 또한 휘도 측정을 위하여 직교배열표에 따른 실험과정에서 실버스트릭이 발생할 수 있으므로 사전에 실버스트릭의 발생원인을 규명하고, 이의 방지를 위한 기본적인 공정조건을 도출하는 것이 중요하다.

일반적으로 실버스트릭이 자주 발생하는 수지로는 PC, PVC, AS등이며, 발생원인으로는 수지의 건조불량으로 인한 수분의 함유, 공기흡입, 수지의 열분해 및 수지 온도의 저하, 분말수지의 사용, 에어벤트(air vent)의 부적합 등이 있다.

본 연구에서 사용한 실버스트릭에 대한 제어인자는 그 영향이 클 것으로 예상되는 충전시간, 냉각시간, 스크류 회전속도, 배압 등 4가지 사출성형 조건이며, 각 인자에 대하여 3수준을 사용하였다. 실험에 사용된 인자와 각각의 수준은 Table 1과 같다.

Table 1 Factors and levels used in experiment

factors	unit	levels		
		1	2	3
A. fill time	sec	0.5	1	1.5
B. cooling time	sec	20	30	40
C. backward rotation speed of screw	rpm	30	50	70
D. backward pressure	kg/cm ²	50	100	150

다구짜방법의 L_9 직교배열표에 따라 40회의 사출성형실험을 하고 그중 나중에 실험된 20개의 성형품을 샘플로 선택하여 실버스트릭의 수를 측정하였으며 망소특성으로 간주하여 SN비를 계산하였다. 직교배열표와 측정결과는 Table 2와 같다.

Table 2 L_9 orthogonal arrays and measured number of silver streak

no.	column no.				no. of silver streak	SN(dB)
	A	B	C	D		
1	1	1	1	1	5	-13.979
2	1	2	2	2	5	-13.979
3	1	3	3	3	4	-12.041
4	2	1	2	3	6	-15.563
5	2	2	3	1	1	0.000
6	2	3	1	2	7	-16.902
7	3	1	3	2	1	0.000
8	3	2	1	3	14	-22.923
9	3	3	2	1	4	-12.041

서로 다른 인자들이 실버스트릭에 영향을 주는 효과는 Table 1에서 나타낸 각 인자수준에 대해 SN비로부터 판단할 수 있다. 이 상대적 효과는 분산을 분해함으로써 보다 잘 파악할 수 있는데 이 기법을 일반적으로 분산분석(ANOVA)이라고 하며, 그 결과는 Table 3에 나타나 있다. 이들 값들은 다양한 파들의 세기와 유사한 것으로, SN비를 변동시키는데 있어 인자사이의 상대적 중요성에 대한 척도가 된다. 이렇게 보았을 때 스크류의 회전속도(C)와 배압(D)이 SN비 변동에 가장 중요한 역할을 할 수 있다. Table 3의 결과를 그래프로 나타낸 Fig. 5를 보면 스크류의 회전속도를 빠르게 하고 배압을 작게 하는 것이 실버스트릭 문제의 해결에 유리함을 알 수 있으며, 냉각시간은 배럴내에서 수지가 냉각되는 시간을 나타낸 것으로 상대적으로 실버스트릭에 미치는 영향이 작다. 수지가 사출기의 배럴내에서 체류하는 시간을 줄일수록 수지의 열분해 현상을 감소시키고 실버스트릭 현

Table 3 ANOVA summary for silver streak

factors	average			DOF	sum of squares	F value
	1	2	3			
A	-13.33	-10.82	-11.65	2	9.82	1.00
B	-9.85	-12.30	-13.66	2	22.42	2.28
C	-17.93	-13.86	-4.01	2	307.36	31.30
D	-8.67	-10.29	-16.84	2	112.24	11.43
sum				8	451.83	
error				2	9.82	

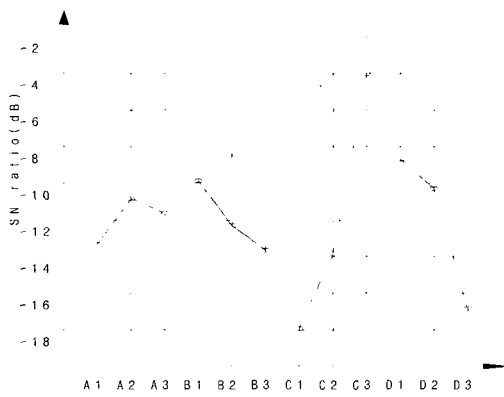


Fig. 5 SN ratio graph based on Table 3

Table 4 Processing conditions for the prevention of silver streak

stroke	24mm		
switch over	3mm		
injection type	linear function (C type)		
max. fill press.	1200 kg _f /cm ²		
processing conditions	stroke (mm)	backward pressure (kg _f /cm ²)	rotation speed of screw (rpm)
	8	50	100
	18	50	80
	24	40	60

상을 해결하는데 유리한 것으로 판단된다.

따라서 실버스트릭을 방지하기 위한 기본적인 공정조건은 Table 4와 같이 선정하였으며, 이는 휘도 특성 연구를 위한 실험에서도 공통적으로 사용되었다.

3.2 휘도 및 균일도

성형조건과 휘도와의 관계를 규명하기 위하여 L₁₈

직교배열표를 사용하였으며, 다구찌 방법의 망대특성으로 간주하였다. 제어인자로는 휘도에 영향을 많이 미칠 것으로 예상되는 충전시간, 보압유지시간, 수지온도, 금형온도, 램속도 분포, 보압크기 등 6가지 인자를 정하였고, 각 인자에 대하여 3가지 수준을 사용하였다. 실험에 사용된 인자와 각각의 수준은 Table 5와 같다.

Table 5 Factors and levels used in experiment

factors	unit	levels		
		1	2	3
A. fill time	sec	0.5	1	1.5
B. holding time	sec	3	4.5	6
C. melt temperature	°C	280	295	310
D. mold temperature	°C	75	90	105
E. ram speed profile	step	4	5	10
F. pack pressure	MPa	80	100	120

여기서 램속도 분포는 유동선단 속도를 일정하게 유지할 수 있도록 하는 유한요소해석 결과를 사용하였으며 4단, 5단, 10인 경우 스크로크의 비에 따른 스크류의 전진 속도 비율은 각각 Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8과 같다.

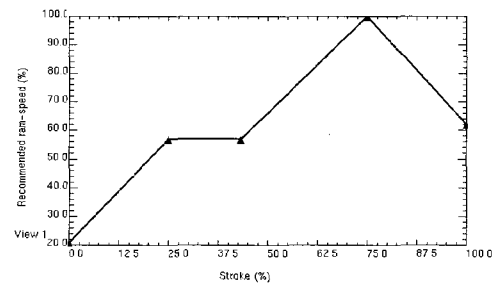


Fig. 6 Ram speed profile with 4 steps

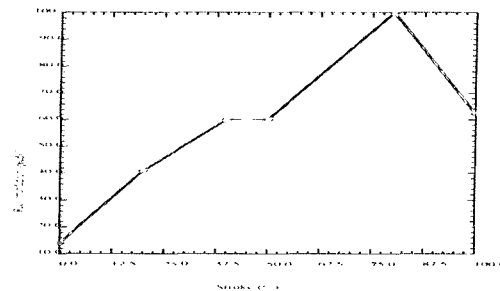


Fig. 7 Ram speed profile with 5 steps

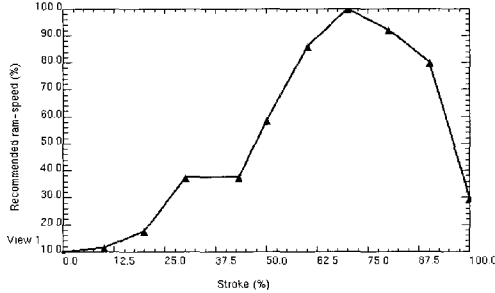


Fig. 8 Ram speed profile with 10 steps

L_{18} 직교배열표에 따라 매 실험마다 동일 조건에서 20 회의 사출실험을 실시하여 안정화를 시킨 후 측정할 샘플을 채취하였다. 각 실험별 휘도 측정위치는 Fig. 9와 같이 9군데 지점으로 하였으며, 상·하 캐비티 성형품을 합쳐 18군데 지점에서의 휘도를 측정하였다. 휘도와 균일도는 망대 특성에 해당하므로 다음식을 사용하여 SN비를 계산하였다.

$$\eta_i = -10 \log_{10} \frac{1}{18} \sum_{j=1}^{18} \frac{1}{y_{ij}^2} \quad (1)$$

여기서 η_i 는 각 실험별 SN 비, y_{ij} 는 각각의 실험에 대하여 Fig. 9 지점에서 측정된 휘도 값이다. 휘도 측정 결과로부터 SN비를 계산한 결과는 Table 6과 같다.

또한 각 제어인자의 수준에 대한 효과를 파악하기 위하여 분산분석(ANOVA)을 수행하였으며, Table 7과 Table 8은 각각 휘도와 균일도에 대한 것이다.

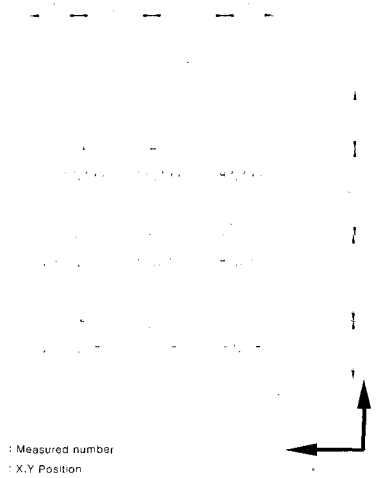


Fig. 9 Measured positions for the brightness

Table 6 SN ratio for brightness and uniformity

no	column no.							SN (dB)		
	e	e	A	B	C	D	E	F	bright.	uniform.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	32.7	34.0
2	1	1	2	2	2	2	2	2	33.5	39.0
3	1	1	3	3	3	3	3	3	36.4	37.4
4	1	2	1	1	2	2	3	3	34.9	38.4
5	1	2	2	2	3	3	1	1	34.1	37.1
6	1	2	3	3	1	1	2	2	29.4	34.1
7	1	3	1	2	1	3	2	3	35.2	37.4
8	1	3	2	3	2	1	3	1	33.3	37.6
9	1	3	3	1	3	2	1	2	32.2	37.9
10	2	1	1	3	3	2	2	1	36.0	38.3
11	2	1	2	1	1	3	3	2	34.5	37.9
12	2	1	3	2	2	1	1	3	31.5	37.2
13	2	2	1	2	3	1	3	2	35.1	38.2
14	2	2	2	3	1	2	1	3	31.7	36.3
15	2	2	3	1	2	3	2	1	33.3	37.6
16	2	3	1	3	2	3	1	2	36.2	37.5
17	2	3	2	1	3	1	2	3	33.1	38.2
18	2	3	3	2	1	2	3	1	31.9	35.7

Table 7 ANOVA summary for brightness

factors	average			DOF	sum of squares	F value
	1	2	3			
A	35.02	33.38	32.45	2	20.19	5.07
B	33.44	33.55	33.85	2	0.53	0.13
C	32.56	33.79	34.49	2	11.42	2.87
D	32.53	33.36	34.96	2	18.32	4.60
E	33.09	33.41	34.35	2	5.22	1.31
F	33.55	33.49	33.81	2	0.35	0.09
sum				12	59.66	
error				2	3.98	

Table 8 ANOVA summary for uniformity

factors	average			DOF	sum of squares	F value
	1	2	3			
A	37.30	37.68	36.64	2	3.32	0.70
B	37.33	37.45	36.86	2	1.16	0.24
C	35.89	37.87	37.87	2	15.65	3.28
D	36.56	37.60	37.47	2	3.86	0.81
E	36.68	37.42	37.53	2	2.57	0.54
F	36.72	37.42	37.49	2	2.18	0.46
sum				12	32.351	
error				2	4.767	

휘도에 가장 영향을 많이 주는 공정조건은 충전시간(A)와 금형온도(D)이며, 균일도에 영향을 많이 주는 공정조건은 수지온도(C)임을 알 수 있다. Table 7과 Table 8의 결과를 그래프로 도시하면 각각 Fig. 10, Fig. 11과 같다. 수지온도와 금형온도는 높을수록 휘도와 균일도 향상에 유리한 것으로 나타났으며, 충전시간은 짧을수록 휘도에는 유리하나 균일도에는 큰 영향을 미치지 않음을 볼 수 있다. 그 이유는 수지온도, 금형온도가 높고, 사출 시간이 짧을 경우 캐비티에서 수지의 점도가 작아지고 잔류응력 및 분자배향이 감소되어, 결과적으로 휘도 및 균일도가 향상되는 것으로 판단된다.

또한 램 속도는 일정하게 유지하는 경우보다는 유동 선단의 속도가 일정하도록 Fig. 8과 같이 10단으로 변동하는 램속도를 설정하는 것이 휘도와 균일도를 높이는 데 바람직함을 알 수 있다. 반면에 보압유지시간과 보압의 크기는 휘도와 균일도에 거의 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있다.

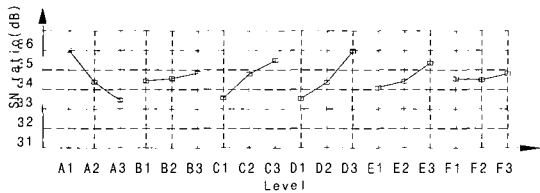


Fig. 10 SN ratio graph based on Table 7

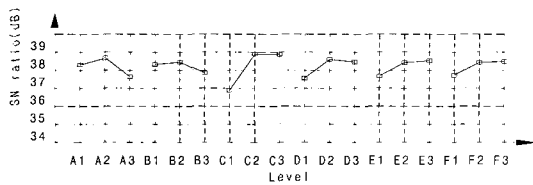


Fig. 11 SN ratio graph based on Table 8

결과적으로 휘도에 대한 최적의 인자수준 조건은 $A_1B_3C_3D_3E_3F_3$ 또는 $A_1B_3C_3D_3E_3F_1$ 이 될 것이다. 그리고 분산비율이 비교적 작은 보압유지시간, 램 속도 분포, 보압의 크기를 풀링시킬 경우 예상되는 SN비 (η_{opt})와 휘도(y)는 다음과 같이 계산된다.

$$\eta_{opt} = m + (m_{A1} - m) + (m_{C3} - m) + (m_{D3} - m) = 33.617 + 1.398 + 0.875 + 1.344 = 37.234dB \quad (2)$$

$$y = 10^{\frac{\eta_{opt}}{20}} = 72.73 \quad (3)$$

결국 다구찌 방법에 의하여 도출한 성형조건을 적용할 경우 휘도는 72.73 cd/m^2 임을 알 수 있으며, 같은 방법으로 계산한 예상 균일도는 81.42 %이다.

다구찌 방법에 의하여 도출한 최적의 공정조건을 적용하여 확인실험을 수행하였다. 그 결과 휘도는 74.21 cd/m^2 , 균일도는 81.09%로 나타났다. 이는 다구찌 방법에서 예측한 휘도 및 균일도와 비교할 때 각각 2%, 0.4%의 오차로서 매우 정확함을 알 수 있으며, 이로부터 다구찌 방법에서 적용한 가법모델의 타당성을 확인할 수 있다. 또한 Table 6에서의 18가지 실험결과 중 휘도에 대한 SN비가 가장 높은 경우인 실험번호 3번에서의 휘도 값인 66.6 cd/m^2 보다 훨씬 높은 값을 갖고 있어 최적의 조건임을 확인할 수 있다.

Fig. 12는 금형으로부터 취출된 사출제품과 게이트 절단후 최종완성된 제품을 나타낸다. 그리고 Fig. 13은 최적 조건에서 사출된 제품의 각 위치에서 측정한 휘도 값으로 중앙 부위의 휘도가 높고 두께가 얇아지는 부분과 게이트근처에서의 휘도는 다소 떨어지는 것을 볼 수 있다.

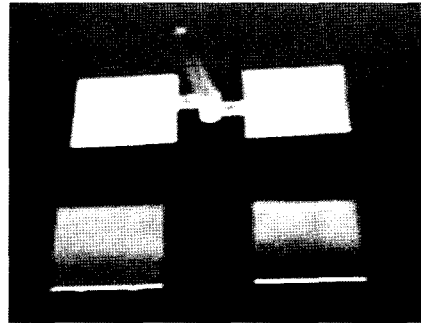


Fig. 12 Injection molded light guide plate

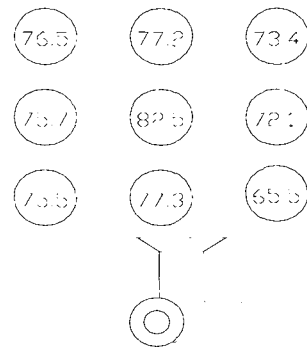


Fig. 13 Brightness distribution

4. 신경회로망 이론의 적용

LCD 도광판의 휘도를 극대화하기 위하여 신경회로망 (Neural Network) 이론을 적용하였으며, 다구찌 방법에 의한 결과와 비교하였다. 신경회로망의 학습에서는 Table 6의 다구찌방법에 의한 L_{18} 직교배열실험결과를 사용하였다. 신경회로망은 인간이나 동물이 가지고 있는 생물학적인 뇌의 신경조직을 모델로 간단한 지능을 갖는 단위 처리기들 사이를 서로 대규모로 연결시킨 네트워크 형태이며 인간의 지능적 형태를 구현하는 것으로서, 자세한 설명은 참고문헌⁽¹⁰⁾에 언급되어 있다.

본 연구에서 사용한 신경망의 구조는 Fig. 14와 같이 2개의 중간층을 갖는 4층 layer로 구성되어 있다. 입력노드는 6개로 설정하여 다구찌 실험에서의 제어인자 6개의 각 수준을 입력하였다. 출력노드는 1개로 하였으며 휘도와 균일도에 대한 SN비를 목표값으로 입력되도록 하였다. 입력데이터에 대한 출력데이터로의 전이는 Sigmoid 함수를 사용하였으며 이때 학습율 η 는 0.3, 임계값 θ 는 0.3을 적용하였다.

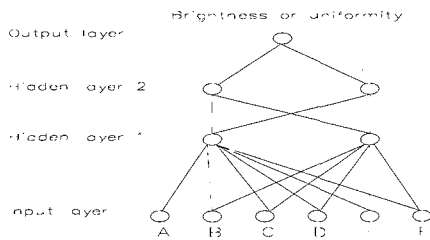


Fig. 14 Construction of neural networks

신경망의 학습을 위해서 데이터의 입력범위가 0부터 1 사이의 값으로의 변환되어야 한다. 이는 Sigmoid의 함수 범위가 0에서 1사이이기 때문이다. 따라서 본 논문에서도 일정한 규칙에 따라 변환을 하였다. 즉, 학습을 위하여 입력된 데이터는 입력데이터의 경우 1수준, 2수준, 3수준을 각각 0.2, 0.5, 0.8로 대입하였으며 Target데이터는 Table 6의 SN비를 식(4)에 따라 변형하여 적용하였다

$$Tar = Tar_{min} + \frac{Val - Val_{min}}{Val_{max} - Val_{min}} \times (Tar_{max} - Tar_{min}) \quad (4)$$

여기서 Tar 는 신경망 학습에서의 목표값이고, Val_{min} 와 Val_{max} 는 각각 Table 6의 값 중 각 항목의 최소값,

최대값이다. 또한 Tar_{max} 와 Tar_{min} 를 각각 0.8과 0.2로 하여 Sigmoid 함수의 선형부분을 활용하도록 하였다. 신경망 학습의 최종 목표는 오차가 가장 적은 연결강도 (Weight)를 구하는 것이다. 이를 위하여 약 20,000회의 반복 학습을 시켰으며 그중 가장 적은 오차의 합(sum of square error)을 나타낸 경우의 연결강도를 저장하여 이를 이용하여 구하고자 하는 조건에 대한 SN비 예측치에 활용하는 방법을 택하였다. 또한 학습도중 오차의 합에 대한 감소가 없는 경우 랜덤함수를 발생시켜 연결강도를 다시 조정하여 국부적인 최소점에 빠지는 경우를 피하였다. 최종적으로 구해진 연결강도를 이용하여 신경망을 통해 예측한 조건은 3수준의 조건에 대한 제어인자 6개의 모든 조합에 대한 것으로 729(3^6)개의 조합이다. 그중 가장 좋은 결과 순서대로 20개씩을 정리하였다.

Table 9는 휘도에 대한 결과이며 Table 10은 휘도의 균일도에 대한 결과이다.

휘도와 균일도에 대하여 신경회로망 이론에 의하여 도출한 최적의 공정조건은 Fig. 10과 Fig. 11에 나타난 다구찌 방법에서의 최적 조건과 일치하였다. 휘도에 대한 예측 결과를 보면 사출시간(A인자)이 1수준인 경우, 금형 온도(D인자)와 램속도 분포(E인자)가 3수준인 경우가 대부분이었다. 또한 수지 온도(C인자)도 3수준인 경우가 많은 것으로 나타나 전체적으로 다구찌방법의 결과와 유사하다. 균일도에 대한 결과를 보면 수지온도, 금형온도, 램속도 분포가 2수준이거나 3수준인 경우가 대부분으로 나타나 이 또한 다구찌방법의 결과와 유사한 결과를 보였다.

Table 9 Predicted SN ratio for brightness

no.	A	B	C	D	E	F	SN ratio
1	1	3	3	3	3	3	40.845
2	1	3	3	3	3	2	40.775
3	1	3	3	3	3	1	40.681
4	1	2	3	3	3	3	40.611
5	1	3	2	3	3	2	40.565
6	1	3	2	3	3	1	40.518
7	1	2	3	3	3	2	40.483
8	1	3	2	3	3	3	40.331
9	1	2	3	3	3	1	40.308
10	1	3	3	3	2	3	40.273
11	1	1	3	3	3	3	40.215
12	1	2	2	3	3	2	40.215
13	2	3	3	3	3	3	40.110
14	1	2	2	3	3	3	40.098
15	1	2	2	3	3	1	40.086
16	1	3	3	3	2	2	40.075
17	1	1	3	3	3	2	40.016
18	1	3	1	3	3	1	40.005
19	2	3	3	3	3	2	39.993
20	1	3	3	2	3	2	39.888

Table 10 Predicted SN ratio for uniformity

no.	A	B	C	D	E	F	SN ratio
1	2	2	3	2	3	3	39.250
2	2	3	3	2	2	2	39.250
3	1	1	3	2	2	2	39.241
4	3	1	3	2	3	2	39.241
5	3	2	3	2	2	1	39.241
6	1	3	3	2	1	1	39.241
7	3	3	3	2	3	3	39.233
8	1	2	3	2	1	1	39.233
9	1	2	2	3	3	1	39.233
10	1	2	3	2	2	2	39.225
11	2	1	3	2	2	1	39.225
12	1	3	3	2	2	3	39.216
13	1	1	3	2	3	3	39.208
14	2	1	3	2	3	3	39.208
15	1	3	2	3	3	1	39.208
16	2	2	3	2	2	2	39.200
17	3	3	3	2	2	1	39.200
18	2	3	2	3	3	1	39.200
19	2	3	3	2	1	1	39.183
20	3	2	3	2	3	2	39.175

5. 결 론

IMT 2000용 2인치 LCD도광판 금형을 제작하고 사출 성형실험을 수행하였다. 다구찌방법과 신경회로망 이론을 적용하여 휘도 및 균일도를 극대화시킬 수 있는 최적의 성형조건을 도출하였다. 이로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 실버스트릭 발생을 방지하기 위하여 스크류의 회전속도를 빠르게 하고, 배압을 작게 하는 것이 바람직함을 도출하였다.

(2) 수지온도와 금형온도가 높을수록 휘도와 균일도가 향상되는 것으로 나타났으며, 충전시간은 짧을수록 휘도에는 유리하나 균일도에는 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

(3) 램속도를 일정하게 유지하는 경우보다는 유동 선단의 속도가 일정하도록 10단으로 변하는 램속도를 설정하는 것이 휘도와 균일도를 높이는데 바람직함을 알 수 있었으며, 반면에 보압유지시간과 보압의 크기는 휘도와 균일도에 거의 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있었다.

(4) 다구찌방법을 적용하여 예측한 최적조건에서의 휘도와 균일도는 확인 실험결과 각각 2%와 0.4% 오차범위 내에서 잘 일치하였다.

(5) 신경회로망 이론을 적용한 결과는 다구찌방법에 의한 결과와 매우 유사한 경향을 보였으며, 최적 성형조건결과는 서로 일치하였다.

후 기

본 연구는 (주)엔투에이의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Suzuki, S., Okada, M., etc., 1997, "Design of Highly Efficient Waveguide for LCD Backlighting System", Technical Report of IEICE, pp. 67~72.
- (2) Nagahara, T., Fukui, A. etc., 2001, "Light-Guiding Plate for Liquid Crystal Display", Matsushita Technical Journal, Vol.47, No.3, pp. 2~6.
- (3) Eduljee, R.F., Gillespie, J.W., Maccullough, R.L., 1994, "Residual Stress Development in Neat Poly(Etheretherketone)", Polymer Engineering and Science, Vol.34, pp. 500~506.
- (4) Chang, R.Y. and Tsaur, B.D., 1995, "Experimental and Theoretical Studies of Shrinkage, Warpage, and Sink Marks of Crystalline Polymer Injection Molded Parts", Polymer Engineering and Science, Vol.35, pp. 1222~1230.
- (5) Chang, R.Y. and Chiou, S.Y., 1995, "A Unified K-BKZ Model for Residual Stress Analysis of Injection Molded Three-Dimensional Thin Shapes", Polymer Engineering and Science, Vol.35, pp. 1733~1747.
- (6) Jansen, K.M.B. and Titomanlio, G., 1996, "Effect of Pressure History on Shrinkage and Residual Stresses-Injection Molding With Constrained Shrinkage", Polymer Engineering and Science, Vol.36, pp. 2029~2040.
- (7) Liu, S.J., 1996, "Modeling and Simulation of Thermally Induced Stress and Warpage in Injection Molded Thermoplastics", Polymer Engineering and Science, Vol.36, pp. 807~818.
- (8) Zoetelief, W.F., Douven, L.F.A., and Housz, A.J., 1996, "Residual Thermal Stresses in Injection Molded Products", Polymer Engineering and Science, Vol.36, pp. 1886~1896.
- (9) 김호성의 4, 1992, 강건설계를 이용한 품질공학, 민영사.
- (10) 배상현의 2, 1999, Neural network의 이론과 응용, 조선대학교 출판부.