

# LCD Crosstalk Improvement Based on Transformability Taguchi Dynamic Characteristics

Soo-Yoon Ji · Joong-Soon Jang<sup>†</sup>

Department of Industrial Engineering, Ajou University

## 전사성 다구찌 동특성을 활용한 LCD Crosstalk 개선

지수윤 · 장중순<sup>†</sup>

아주대학교 산업공학과

Uniform brightness is very crucial for LCD panels, which should be made in during manufacturing. Usually some compensating algorithms are applied to recover the brightness deviation that occurs in actual panels. Although such remedying tools are used, it is very hard to prevent horizontal or vertical crosstalks that represent the brightness level difference in horizontal or vertical direction. This research applied transformability Taguchi dynamic characteristics and “nominal is best” static characteristic simultaneously to design the compensating circuit optimally that may reduce the crosstalks and make uniform brightness level.

**Keywords** : Taguchi Method, Dynamic Characteristics, Taguchi Dynamic SN Ratio, Ideal Function, Transformability

### 1. 서 론

화상을 전달하는 액정표시장치(LCD, Liquid Crystal Display)에서는 원래의 영상과 똑같이 나타나는 것이 이상적이다. 이를 위해서는 제품 구성 부품 모두가 중요하겠지만 LCD 패널 자체가 균일하게 만들어지는 것이 필요하다. 그러나 패널 제조편차와 부품의 열화 등으로 인하여 균일한 밝기의 화면을 얻기는 어려우며, 실제 제품에서는 화면의 밝기 편차를 최소화하기 위하여 보상회로를 적용한다. 이와 같은 보상회로의 적용에도 불구하고, LCD에서는 화소 간 신호간섭이나 소자가 이상적인 스위칭 동작을 하지 못하기 때문에 Crosstalk가 발생하게 된다.

본 연구에서는 Crosstalk 문제를 다구찌 강건설계 방법을 이용하여 해결하고자 한다. 강건설계법은 품질 문제 해결이나 기술, 제품 개발을 위해 국내외에서도 많이 활용되고 있다. 특히 일본에서는 기술 개발 단계에서 동특성

을 많이 활용하고 있으며, 최근에 발표되는 사례는 대부분이 다구찌 동특성을 활용한 예이다[1, 5, 14, 15].

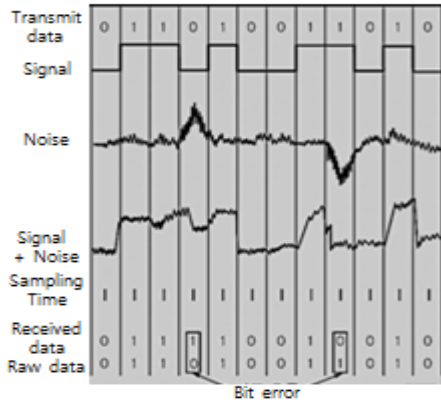
국내에는 Yum et al.[16, 17]의 연구 논문을 시작으로 많은 논문과 사례들이 발표되고 있는데, 대부분 정특성 위주로 한 적용 사례들이다[2, 7, 8, 18]. 다구찌 방법의 국내외 활용, 강약점 등에 대하여는 Yum et al.[18], Kim[4], Kwon[6] 등이 연구한 바 있다.

본 연구에서는 LCD Crosstalk 문제를 동특성을 활용하여 해결하고자 한다. 특히 본 연구에서는 서로 대립되는 특성인 수직 및 수평 Crosstalk를 해결하기 위해서 전사성 이상기능을 활용하고자 한다. 전사성이란 주어진 입력에 정확하게 비례하여 출력이 나와야 함을 의미한다. 다구찌는 동특성 문제에서 대부분 에너지 전환관계를 이상기능으로 설정하였는데, 본 연구에서는 전사성을 활용한 최적화 방법을 개발하고자 한다.

### 2. Crosstalk 정의

Crosstalk란 통신 회선의 전기 신호가 다른 통신 회선과

전자기적으로 결합하여 다른 통신 회선에 대하여 악영향을 미치는 것, 즉 다른 회로로부터의 에너지 영향으로 인해 회로 중에 생기는 간섭 현상을 말한다(<Figure 1> 참조).

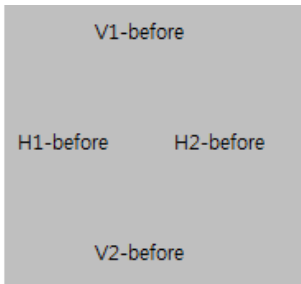


<Figure 1> Crosstalk

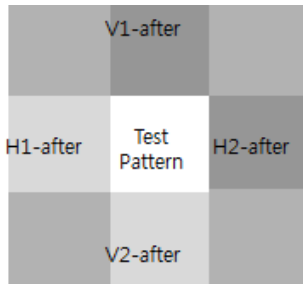
LCD에서의 Crosstalk는 <Figure 2>에서와 같이 원래 바탕화면에 회색을 구현한 후 <Figure 3>과 같이 테스트 패턴을 인가하면 잡음의 영향을 받아 휘도가 수직 또는 수평 방향으로 변하는 현상을 나타낸다.

LCD Crosstalk는 식 (1)에서와 같이 계산하며, 값이 클수록 Crosstalk 특성이 좋지 않다.

$$\text{Crosstalk} = \frac{|\text{테스트패턴인가전후 휘도 차이}|}{\text{테스트패턴인가전 휘도}} \times 100\% \quad (1)$$



<Figure 2> Measure Points Before



<Figure 3> Measure Points After

Crosstalk는 다음과 같이 측정한다.

- 1) <Figure 2>와 같이 회색(V31)의 바탕색을 구현한다. 이때 V1, V2, H1, H2 등 4곳의 휘도를 측정 한다. 4곳을 측정하는 이유는 테스트 패턴을 인가한 곳을 중심으로 수직 및 수평 방향의 휘도 변화를 평가하기 위함이다.
- 2) <Figure 3>과 같이 정해진 색의 테스트 패턴을 인가한다. 인가한 후 1)에서의 대응 되는 위치의 휘도를 측정한다.

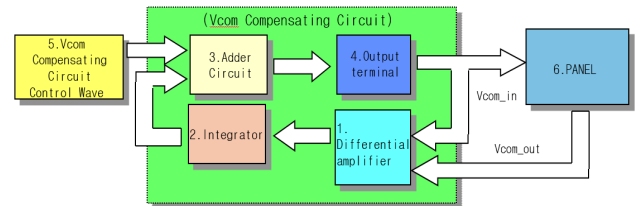
- 3) 4곳의 Crosstalk를 각각 식 (1)을 활용하여 계산한다. 수평 Crosstalk는 H방향으로 나타나는 값을 평균하며, 수직 Crosstalk는 V방향의 값을 평균하여 계산한다.

### 3. 사례연구

#### 3.1 제품 개요

개선 대상 시스템은 L사의 12인치 패널로서 <Figure 4>와 같은 블록도를 갖고 있다. 각 기능은 다음과 같다.

- ① 차동증폭기 : 패널에 의해서 왜곡된 Vcom 파형의 차이를 추출 즉, Vcom와 Vcom\_O의 전압 차이 출력
- ② RC 적분기 : 차동 증폭기의 출력 전압을 Low Pass Filtering
- ③ 가산기 : 보상전압과 Vcom 제어파형을 가산
- ④ 출력단 : 출력전류를 증가
- ⑤ Vcom 보상회로 제어파형 : Control IC의 출력



<Figure 4> Function Block Diagram of Compensation Circuit

#### 3.2 개선 방법

기존 개선 실험에서는 수직 Crosstalk와 수평 Crosstalk <Figure 3>를 각각 측정하여 식 (1)처럼 %단위로 환산하였다. 개선을 위한 실험 런에서 수평과 수직 Crosstalk가 각각 구해진다. 전체 개선 실험을 완료 한 후 이를 제어인자 별로 각각 요인효과 그래프를 작성하여 각각의 Crosstalk에 대한 최적 조건을 구하였다.

그러나 이런 최적화 방법론에서는 수평, 수직 각각에 대한 최적조건을 구하였기 때문에 수직 Crosstalk를 개선하면 수평 Crosstalk가 나빠지고, 그 반대 현상도 나타나는 상호 대립(trade-off)되는 특성 때문에 두 특성을 동시에 만족하는 조건을 찾기가 쉽지 않아 개선에 한계가 있었다.

본 논문에서는 LCD Crosstalk를 다구찌 동특성을 활용하여 개선하고자 한다. 다구찌는 품질을 하류품질, 중류품질, 상류품질 및 원류품질 등 4가지로 분류하였다[12, 13]. 그는 또 특성을 정특성과 동특성으로 구분하였다[11]. 정특성은 4가지 품질 분류 중 상류품질'에 해당 된다. 정특성은 일

반적으로 제품이나 공정의 강건설계에 많이 사용된다.

다구찌는 하류품질에 해당하는 소비자 품질특성, 예를 들어 연료 효율, 진동, 오염 등을 다루는 것이 효율적이지 않다고 강조한다. 그는 오히려 기술적 측면을 강조한 원류품질을 다루어야 가장 효율적이라고 하였다. 이러한 원류품질을 개선시키기 위해서는 제품이나 공정의 기본 기능인 본질적인 기능(essential function)을 다루어야 하는데, 이것이 바로 동특성이다[10, 12, 13, 14].

동특성이란 입력이 의도에 따라 달라지는 경우를 말한다. 이러한 동특성에서는 입력에 따라 대응하는 출력이 산포가 없으면서 비례적으로 출력될 때를 이상적으로 판단한다. 동특성에서는 이상관계를 나타내는 식을  $y = \beta * M$ 을 설정하고 동특성 SN비로 기능의 안정성을 평가한다. 여기서 y는 출력(측정치),  $\beta$ 는 기울기, M은 신호인자이다(<Figure 5> 참조).

LCD의 수직 Crosstalk나 수평 Crosstalk는 모두 테스트 패턴을 인가하기 전과 후에 바탕화면의 휘도가 차이가 나는데서 기인한다. 다시 말하면 테스트 패턴을 인가하기 전 후 밝기 변화가 없다면 Crosstalk는 발생하지 않는다는 것이다. 그런데 Crosstalk는 하류품질에 해당되므로, 이를 줄이기보다는 보상회로의 기본기능을 식별하여 그 기능이 이상적으로 작동하도록 하는 것이 바람직하다.

Crosstalk를 기능면에서 본다면 바탕 화면의 측정 포인트에서 각각 테스트 패턴 인가 전후 밝기가 정확히 1:1로 대응 된다면 아무 문제가 없다. 다시 말하면 Crosstalk 문제의 근원은 테스트 패턴을 구현하기 전의 화면 밝기(신호인자 M)에 따라 테스트 패턴을 인가한 후 같은 위치의 밝기가 비례적( $\beta = 1$ )이면 되는 것이다. 따라서 보상회로의 이상기능은 <Figure 5>와 같이 전 후 밝기를 1:1로 유지하게 하는 것이다. 이와 같이 출력이 정확히 입력에 비례하여 나오게 되는 특성을 轉寫性이라고 한다. 본 논문에서는 이와 같은 논리를 근거로 전사성 이상기능 다구찌 동특성을 활용하였다.

### 3.3 실험계획

#### 3.3.1 이상기능 선정을 통한 평가 특성 및 신호인자의 선정

앞에서 살펴본 대로 LCD Crosstalk 사례에서는 이상기능을 다음과 같이 정할 수 있다.

$$y = \beta * M$$

여기서

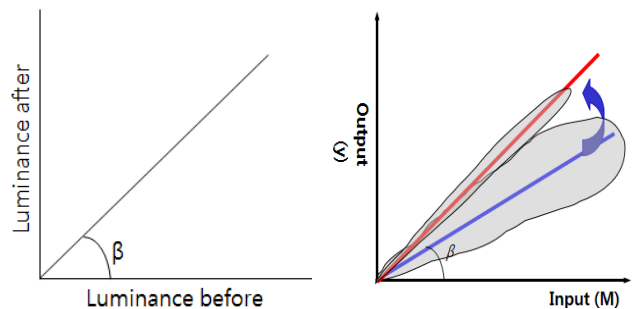
y : 테스트 패턴 인가 후 밝기

M : 측정점 4곳의 테스트 패턴 인가 전 밝기

$\beta$  : 비례계수

이다.

현재는 <Figure 6>과 같이 각 측정 점에서 기울기  $\beta$ 가 1이 아니며 산포도 크다. 이를 최대한 <Figure 5>에 가깝게 하는 것이 이상기능의 구현이다. 이를 위해서는 파라미터설계 2단계 최적화 전략에 따라 먼저 다구찌 동특성 SN비를 활용하여 <Figure 6>의 산포가 큰 상태를 산포를 적게 하고, 다음으로  $\beta$ 가 1이 되도록 조정하여 <Figure 5>와 같은 이상 상태가 되게 하여야 한다.



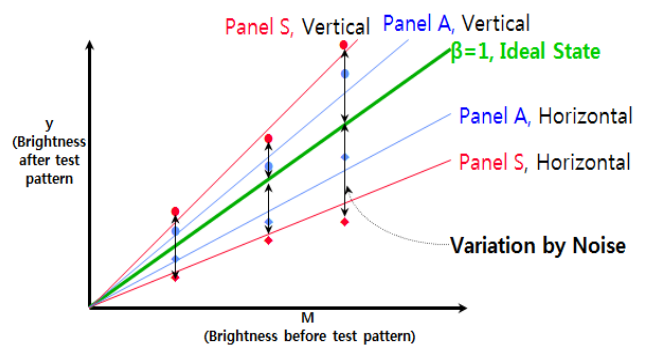
<Figure 5> Ideal Function      <Figure 6> Status of As-is

한편 신호인자 M에 대하여는 사용자 환경에서 가하는 휘도 범위를 고려하여, Crosstalk에 가장 불리한 휘도를 나타낼 수 있는 백색(V63)과 검정색(V0)을 선정하였다. 이와 같이 이상기능을 설정하여 최적화 실험을 하였지만 최적 조건에 대해서는 최종적으로 Crosstalk는 물론 파형도 검증을 하였다.

#### 3.3.2 잡음인자 선정

잡음 인자는 판넬 제조 산포에 상관없이 보상 회로가 기능을 발휘해야 하므로 LCD Panel A급과 S급을 선정하였다. 여기서 A급은 균일하게 생산된 Crosstalk에 유리한 좋은 판넬이며, S급은 균일성이 낮아 Crosstalk에 불리하지만 규격은 만족하는 제품을 말한다.

이상기능에 대한 S, A급 판넬 제조 산포 잡음 인자를 도시화 하면 <Figure 7>와 같다.



<Figure 7> Panel Noise and Ideal Function

3.3.3 제어인자 선정 및 제어인자의 직교표 할당

Crosstalk에 영향을 준다고 생각하는 제어인자 8개를 선정하였다. <Figure 4>, <Figure 8>에서 보는 바와 같이 Vcom은 상판에 입력되는 전압이고, Vcom\_O는 하판에서 출력되는 왜곡된 Vcom 전압이며, AVcom은 Vcom 제어과형을 나타낸다. 여기서 차동기 증폭기의 출력 VOP\_B는 식 (2), Vcom은 식 (3)과 같이 구해진다.

$$V_{OP\_B} \cong -\frac{R17}{R16}V_{COM} + \left(\frac{V_{COM\_O}/R12}{1/R12+1/R14}\right)\left(1 + \frac{R17}{R16}\right) \quad (2)$$

$$= -\frac{R17}{R16}\left(V_{COM} - \left(\frac{1+R16/R17}{1+R12/R14}\right)V_{COM\_O}\right)$$

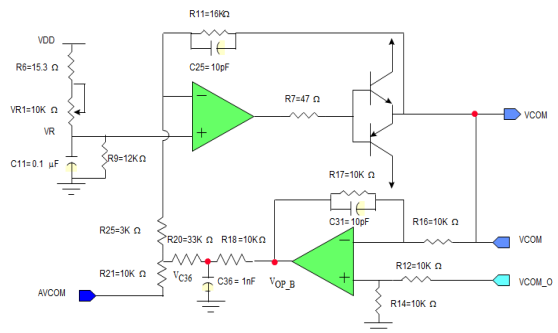
$$V_{COM} \cong -\frac{R11}{R25}\left(\frac{VC36/R20+AVCOM/R21+VR/R25}{1/R21+1/R20+1/R25}\right) - VR \quad (3)$$

현재 회로에서는 R17/R16 = R12/R14, R17 = R16이므로, 차동증폭기의 출력은 식 (3)에 의하여 Vcom과 Vcom\_O의 차가 출력된다. R17/R16를 제어인자로 하여 증폭되는 비율을 달리함으로써 그 효과를 볼 수 있다. 차동증폭기의 출력이 RC적분기를 통하므로 이 회로의 R18, C36 값에 의하여 전압의 충방전하는 정도가 결정된다. R18은 현재수준10kΩ을 기준으로 0kΩ, 10kΩ, 100kΩ을 사용하며 C36은 1nF을 기준으로 0nF, 1nF, 100nF으로 설정하였다.

이 회로의 최종 출력단인 가산기는 OP\_AMP의 출력 전류를 증가시키기 위한 BOOSTER 회로로 구성되어 있다.

가산기는 Vcom과형의 제어과형과 추출된 왜곡전압의 차이를 가산하여 PANEL에 입력된다. 출력되는 값은 식 (3)과 같다. 이 보상된 값은 R11, R25, R20, R21들의 값에 의해서 가산되는 정도가 결정되므로 이들을 제어인자로 설정하였다. 그리고 보상회로의 최종 출력단의 전압은 R11, C25의 시정수에 의해서 출력전압이 영향을 받으므로 C25의 현재수준인 10pF를 기준으로 5pF, 10pF, 22pF로 사용하였다. 현재 Vcom과형의 최소값은 -1.40V이고, 최대값은 3.32V이다.

위에서 설정된 인자들의 수준 값들은 시뮬레이션을 실시하여 결정하였다. 저항 R20은 2수준, 나머지 인자는 3수준으로 정하였다. <Table 1>에는 결정된 제어인자와 그 수준 값들이 표시되어 있다.



<Figure 8> Structure of Compensation Circuit

제어인자는 직교배열표 L<sub>18</sub>(2<sup>1</sup>X3<sup>7</sup>)에 배치하여 실험을 하였다.

<Table 1> Level of Control Factor

	R20	R18	C36	R17	R25	R21	R11	C25
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	33kΩ	0kΩ(short)	0nF(open)	5.1kΩ	2kΩ	8.2kΩ	12kΩ	5pF
2	39kΩ	10kΩ	1nF	10kΩ	3kΩ	10kΩ	15kΩ	10pF
3		15kΩ	100nF	15kΩ	3.9kΩ	12kΩ	16kΩ	22pF

<Table 2> Signal of Experiments, Panel S, A

NO	Panel S				Panel A			
	INPUT				INPUT			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	Vert. Upper	Vert. Lower	Hori. Left	Hori. Right	Vert. Upper	Vert. Lower	Hori. Left	Hori. Right
	V31	V31	V31	V31	V31	V31	V31	V31
1	39.2	45.4	43.3	40.2	36.8	41.1	40.8	36.6
2	36.7	41.5	39.1	37.9	31.5	36.2	35.3	32.3
.								
17	29.3	31.2	30.1	28.3	31.3	34.2	31.2	30.1
18	15.4	16.7	15.9	15	17	18.8	17.2	16.5

### 3.4 실험 실시 및 데이터 측정

Crosstalk에 대한 실험 런 18개를 무작위로 실시하여 다음의 데이터를 얻었다. 먼저 각 실험별 S급과 A급 판넬에 대하여 테스트 패턴 인가 전의 밝기 값을 <Table 2>에 나타내었다. 판넬 자체의 제조 산포 때문에 휘도 측정값이 일정하지 않다.

그리고 테스트 패턴을 인가한 후 입력 신호인자에 대응하는 위치의 휘도 측정값은 <Table 3>, <Table 4>와 같다.

는 출력 데이터는 <Table 6>과 같다. SN비는

$$\eta = 10\log\left[\frac{\frac{1}{r_0}(S_\beta - V_e)}{V_N}\right]$$

를 활용하였다. 런 1의 SN비  $\eta = 3.13db$ 가 된다.

- 2) 목표 조정을 위한 감도 S 계산  
동특성의 감도는

### 3.5 실험 데이터 분석(실험 run 1)

$$S = 10\log\left[\frac{1}{r}(S_\beta - V_e)\right]$$

#### 3.5.1 Crosstalk 개선을 위한 동특성 분석

를 활용하여 계산하였다.  $S = -0.023492db$ 이고, 이때

- 1) 강건성 평가를 위한 SN비 계산(Run 1)  
실험 런 1에 대한 신호인자 <Table 5>와 그에 대응하

기울기  $\beta = \frac{L}{r} = 0.97663$ 이 된다.

<Table 3> Output Data(cd) Experiments, Panel S

NO	Panel S							
	OUTPUT(Black)				OUTPUT(White)			
	y11	y12	y13	y14	y21	y22	y23	y24
	Black, Upper	Black, Lower	Black, Left	Black, Right	White, Upper	White, Lower	White, Left	White, Right
	V0	V0	V0	V0	V63	V63	V63	V63
1	38.3	44.4	44	41.1	39.7	45.7	42.6	39.5
2	35.8	40.6	40.1	38.7	37.1	41.9	38.4	37.2
.								
.								
17	28.6	30.6	30.7	28.8	29.7	31.5	29.6	27.9
18	15.1	16.5	16.4	15.4	15.6	16.9	15.5	14.6

<Table 4> Output Data(cd) Experiments, Panel A

NO	Panel A							
	OUTPUT(Black)				OUTPUT(White)			
	y11	y12	y13	y14	y21	y22	y23	y24
	Black, Upper	Black, Lower	Black, Left	Black, Right	White, Upper	White, Lower	White, Left	White, Right
	V0	V0	V0	V0	V63	V63	V63	V63
1	36	40.3	41.6	37.2	37.1	41.3	40.2	36.1
2	30.9	35.5	36.1	32.8	31.9	36.6	34.7	31.8
.								
.								
17	30.5	33.6	31.7	30.4	31.8	34.6	30.8	29.9
18	16.7	18.5	17.6	16.8	17.4	18.9	16.9	16.2

<Table 5> Signal of Experiments, Run 1

NO	Panel S				Panel A			
	INPUT				INPUT			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	Black, Upper	Black, Lower	Black, Left	Black, Right	White, Upper	White, Lower	White, Left	White, Right
	V31	V31	V31	V31	V31	V31	V31	V31
1	39.2	45.4	43.3	40.2	36.8	41.1	40.8	36.6

<Table 6> Out Data Experiments, Run1

NO	OUTPUT(Black)				OUTPUT(White)			
	y11	y12	y13	y14	y21	y22	y23	y24
	Black, Upper	Black, Lower	Black, Left	Black, Right	White, Upper	White, Lower	White, Left	White, Right
	V0	V0	V0	V0	V63	V63	V63	V63
run 1-S	38.3	44.4	44	41.1	39.7	45.7	42.6	39.5
run 1-A	36	40.3	41.6	37.2	37.1	41.3	40.2	36.1

<Table 7> Response Table for SN ratio of Dynamic Characteristics

	R20	R18	C36	R17	R25	R21	R11	C25
1	7.55	2.72	4.72	4.33	6.11	8.28	4.18	7.56
2	4.37	7.46	7.25	5.24	5.91	5.58	5.19	6.05
3		7.71	5.92	8.32	5.87	4.03	8.51	4.28
avg	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96	5.96

<Table 8> Response Table for Sensitivity of Dynamic Characteristics

	R20	R18	C36	R17	R25	R21	R11	C25
1	-0.0087	-0.0093	-0.0147	-0.0159	-0.0104	-0.0015	-0.0123	-0.0125
2	-0.0103	-0.0106	-0.0126	-0.0054	-0.0065	-0.0137	-0.0112	-0.0082
3		-0.0087	-0.0014	-0.0073	-0.0117	-0.0134	-0.0051	-0.0080

3.5.2 바탕화면 색 균일화 개선을 위한 망목특성 분석

앞에서는 Crosstalk을 최소화할 수 있도록 실험을 분석하였다. 그러나 Crosstalk는 특정 측정점에서의 휘도 변화만을 평가하는 것이므로, 비록 Crosstalk는 해결되었다고 하더라도 바탕화면 색이 목표치가 되고 균일하지 않으면 안된다. 본 실험에 도입한 제어인자는 Crosstalk는 물론 바탕색을 형성하는데도 영향을 준다. 따라서 초기 바탕색이 회색(V31)을 균일하게 생성 되는 것이 중요하므로 각 실험에서 신호로 인가했던 입력인 바탕화면색을 망목 특성으로 분석을 하였다.

1) 바탕화면색의 균일성 평가를 위한 SN비 계산(Run 1)

데이터는 <Table 5>에 나와 있으며 Run 1에 대한 계산 결과는 다음과 같다.

잡음에 둔감한 안정성을 확보하기 위하여 망목특성 SN비

$$\eta = 10\log\left[\frac{\frac{1}{n}(S_m - V_e)}{V_e}\right]$$

를 활용하였다. 실험 런 1의 망목 SN비는  $\eta = 22.59db$ 가 된다.

2) 바탕화면색의 목표치 조정을 위한 감도 S 계산(Run 1) 감도

$$S = 10\log\left[\frac{1}{n}(S_m - V_e)\right]$$

를 활용하여 계산하였다.  $S = 35.130013db$ 이고 이때 휘도 평균은 40.4250이 된다.

3.6 반응표 작성

Crosstalk 개선을 위한 다구찌 동특성 적용에 대한 각 제어인자 수준별 SN비 및 감도 S에 대한 반응표는 <Table 7>, <Table 8>과 같다.

바탕화면 망목 특성 SN비 및 감도 S 요인효과표는 생략하였고 요인효과 그래프는 <Figure 11>, <Figure 12>와 같다.

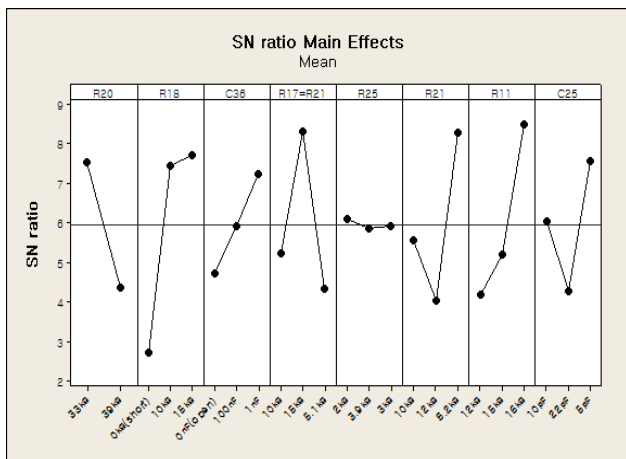
3.7 요인효과 그래프 분석

각 제어인자 수준별로 강건성을 나타내는 동특성 SN비의 반응표 <Table 7>에 대응하는 요인효과 그래프는 <Figure 9>, 밝기에 변화에 대한 감도 S의 반응표 <Table

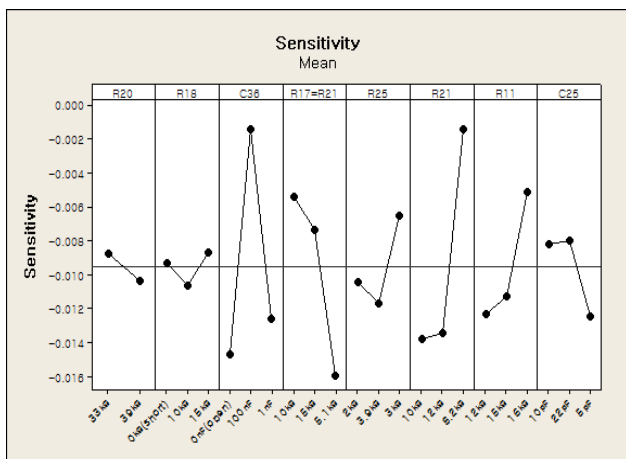
8>을 나타내는 요인효과 그래프는 <Figure 10>과 같다. 실험에 도입한 8개 인자를 일반적인 실험 배치의 경우 처럼 순서대로 A, B, C, D, E, F, G, H라 칭하면 <Figure 9>에서처럼 A인자는 1수준이 SN비가 크므로 잡음인자에 대해 산포가 작은 조건이다. <Figure 10>에서 A인자는 1수준이 감도가 크므로 기울기  $\beta$ 를 크게 하는 조건이다.

바탕화면색에 대한 망목특성 SN비 및 감도 S의 요인 효과 그래프는 <Figure 11>, <Figure 12>와 같다. <Figure 11>의 A인자는 1수준이 SN비가 작으므로 잡음인자에 대해 산포가 큰 조건이다. <Figure 12>의 A인자는 1수준이 감도가 작으므로 바탕화면 휘도가 어두운 조건이다.

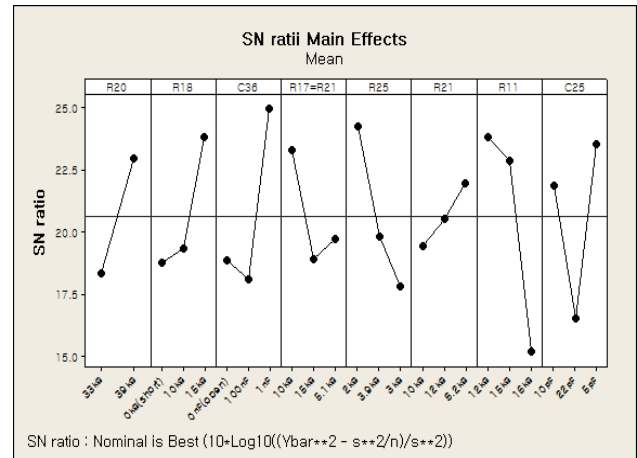
A인자의 경우 Crosstalk와 바탕화면의 강건성이 수준에 따라 상반된다는 것을 알 수 있다. 나머지 인자에 대해서 같은 논리로 해석을 할 수 있다.



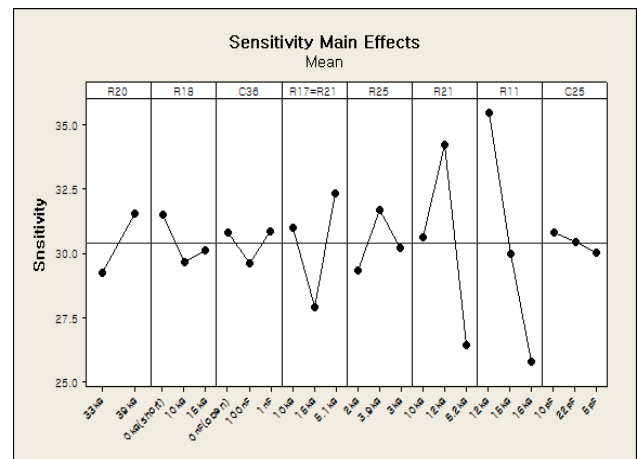
<Figure 9> Main Effects Plot for SN ratio of Dynamic Characteristics



<Figure 10> Main Effects Plot for Sensitivity of Dynamic Characteristics



<Figure 11> Main Effects Plot for SN ratio of Background



<Figure 12> Main Effects Plot for Sensitivity of Background

### 3.8 최적 조건 도출

앞서 논의된 방법으로 실험결과를 분석하여 최적조건을 도출하였다. 먼저 Crosstalk에 대해 안정성 확보 조건 도출을 하고, 이 안정성 최적 조건에 대해  $\beta$ 를 1에 가까운 조건을 선정하였다. 그리고 Crosstalk 최적 조건에 대해 바탕화면 휘도를 추정된 다음 바탕화면 휘도가 목표치와 일치하지 않는 경우 Crosstalk에 영향을 적게 주는 인자로 바탕화면 휘도를 목표에 맞추었다. 최적 조건 도출에는 파라미터 설계의 2단계 최적화 전략을 다음과 같이 적용하였다.

1단계 : Crosstalk 안정성을 나타내는 SN비 요인 효과 그래프 <Figure 9>와 바탕화면 안정성을 나타내는 <Figure 11>에서 B, C, E, F, H인자는 두 특성 모두에 SN비를 크게 하는 방향이 일치하므로 SN비를 큰 수준으로 선정하였다.

<Table 9> Optimal Condition

	Control Factor							
	A	B	C	D	E	F	G	H
	R20	R18	C36	R17	R25	R21	R11	C25
Base	33kΩ	10kΩ	1nF	10kΩ	3kΩ	10kΩ	15kΩ	10pF
Optimum	33kΩ	15kΩ	1nF	15kΩ	2kΩ	8.2kΩ	12kΩ	5pF

나머지 A, D, G는 서로 상반 되나 우선 Crosstalk에 유리하게 조건을 선정하고 아래 2단계 최적화를 실시하였다.

2단계 : 1단계에서 선정된 최적 조건에서 바탕화면의 휘도 평균을 추정하여 β가 1에 가깝고 휘도 평균이 목표치에 가깝게 인자의 조건을 조정한다. 여기서는 G인자인 R11(16kΩ)은 3수준이 Crosstalk에 대한 SN비는 좋은 것으로 나타났으나, 이를 선택할 경우 바탕화면의 휘도가 목표치 보다 낮게 추정이 되었다. 그리고 이는 <Figure 12>에서 보는 것처럼 바탕화면의 밝기에 영향을 크게 준다. 따라서 바탕화면의 밝기를 목표 값을 유지해야하기 때문에 목표치 조정인자로 선정하였다.

이 G인자의 3수준이 Crosstalk의 강건성은 낮게는 하나 바탕화면 밝기를 목표치로 맞추면서도 동시에 바탕화면 SN비도 좋게 하는 조건 <Figure 11>이어서 최종적으로 3수준인 12kΩ을 선정하였다.

이러한 방식으로 두 특성을 추정하여 목표달성이 되었는지를 알아보면서 이 과정을 반복하였다. 이러한 과정을 거쳐 최종적으로 도출된 최적조건은 현재조건 대비 6개 인자에서 서로 다른 값을 보였다(<Table 9> 참조).

4. 재현성 실험

Crosstalk와 바탕화면색 두 특성에 대한 현재조건과 최적조건에 대해 실험을 하여 재현성을 확인 했다. 잡음 인자를 고려한 6개의 패널에 적용한 데이터를 측정하여 재현성을 분석한 결과 SN 이득은 1.59db로 <Table 10>과 같다. 이는 표준편차가 개선 전 대비 17% 줄었다는 의미다.

<Table 10> Gain for Base and Optimal Condition for Crosstalk

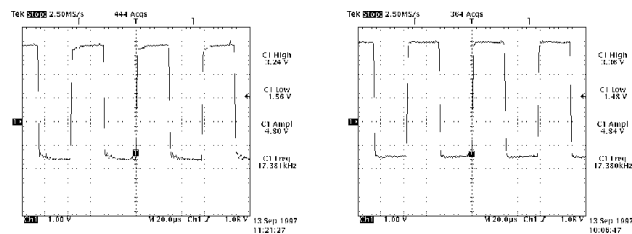
	SN ratio(η)	Sensitivity(S)	β
Base	9.5438	-0.019287981	0.997784307
Optimum	11.1308	-0.014443872	0.998340164
Gain	1.5870	0.004844109	

그리고 그에 따른 품질특성인 Crosstalk 개선 결과는 <Table 11>과 같이 수평 30%, 수직 13%가 동시에 좋아졌다.

<Table 11> Confirm for Base and Optimal Condition

		Horizontal Crosstalk	Vertical Crosstalk
FD7R228R2G	Base	1.26%	2.13%
	Optimum	0.44%	1.83%
FD7R420Y1G	Base	0.84%	1.84%
	Optimum	0.41%	1.75%
FD7R501Z1G	Base	0.89%	2.31%
	Optimum	0.93%	1.96%
FD7R49M1G	Base	1.58%	2%
	Optimum	1.36%	1.82%
FD7R560X2G	Base	0.84%	2.33%
	Optimum	0.82%	1.81%
FD7RC88Y2G	Base	0.85%	2.22%
	Optimum	0.44%	1.93%
Improvement rate		29.7%	13.5%

또한 Vcom의 파형도 <Figure 13>과 같이 좋아졌다는 것을 알 수 있다.



<Figure 13> Before Wave vs After Wave for Vcom

5. 결론 및 향후 계획

12인치 LCD 패널에서 발생하는 Crosstalk를 최소화하기 위해 다구찌 전사성 이상기능 동특성을 활용한 개선 실험으로 다음과 같은 결론을 도출 할 수 있었다.



PCB상의 구동회로(Vcom 발생부)에서 설정된 인자들의 최적조건을 도출하기 위해 과거에는 Crosstalk를 %로 환산된 값을 실험 측정치로 분석하였다. 또한 측정치를 수직, 수평방향으로 구분하여 최적화를 하여 수직, 수평이 상반되어 개선의 한계에 있었다.

본 사례 연구의 특징은 첫 번째로 Crosstalk를 %로 환산된 값을 실험 측정치로 한 대신 다구찌 전사성 동특성, 즉 입력이 의도에 따라 달라지고 그에 대응하는 출력이 산포가 없으면서 비례적으로 출력되는 것이 이상적이라 하는 이상기능  $y = \beta \times M$ 을 설정하여 다구찌 동특성 SN 비로 기능의 안정성을 평가하므로써 기존의 수직, 수평 Trade-off을 극복한 점, 두 번째로 Crosstalk와 바탕화면의 안정성을 동시에 만족해야하는 목표를 달성하기 위하여 전사성 이상기능 다구찌동특성과 정특성을 활용하여 2 단계 최적화를 한 점이라 볼 수 있다.

그리고 Crosstalk 개선과 바탕화면 색 개선으로 나누어 분석하였다. Crosstalk에 대해서는 수직이든 수평이든 결국 테스트 패턴을 인가하기 전후 각각의 휘도가 1:1로 대응하면 발생하지 않는다는 전사성 이상기능을 활용한 다구찌 동특성으로 적용하였다.

바탕화면색에 대해서는 목표 휘도가 균일하게 나오면 되므로 정특성인 망목특성을 적용하였다. 이렇게 최적화 방법론을 달리함에 따라 과거에 상호 대립되었던 수평, 수직 Crosstalk 문제가 수평 30%, 수직 13%로 둘 다 동시에 개선되었다. 이는 기존의 최적화 방식의 한계성을 다구찌 전사성 이상기능 동특성을 활용한 효과로 볼 수 있다. 향후 이러한 방법의 활용이 더 많은 분야에서 범용적으로 효과를 나타 낼 수 있든지에 대한 연구가 필요하다.

## References

- [1] Asakawa, T. and Ueno, K., Technology Development for Transformability. *Quality Engineering Application Series, Tokyo : Japanese Standards Association, 1992*, p 61-82(Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yui Wu, TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK, Michigan, WILEY, 2005, p 957-964).
- [2] Cha, K.J. and Chin, C.U., The Optimal Design of Low Noise Intake System Using Taguchi Method with Non-controllable Factors. *Journal of the Korean Society for Quality Management, 2002*, Vol. 28, No. 1, p 41-56.
- [3] Ji, C.M. and Ree, S.B., The Study of Measure of Company Quality Competitive by using MTS Method. *Journal of the Korean Society for Quality Management, 2005*, Vol. 33, No. 2, p 41-56.
- [4] Kim, S.J., A Review on the Taguchi Method and Its Alternatives for Dynamic Robust Design. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 2013*, Vol. 39, No. 5, p 351-360.
- [5] Koyama, K., Sakurai, K., and Kato, A., Optimization of Adhesion Condition of Resin Board and Copper Plate. *Proceedings of the 8th Quality Engineering Symposium*, p 262-265, 2000(Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yui Wu, TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK, Michigan, WILEY, 2005, p 890-894).
- [6] Kwon, H.M. and Jang, H.A., Case Studies on Strengths and Weaknesses of Taguchi Method. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 2013*, Vol. 39, No. 5, p 383-392.
- [7] Lee, S.H., Min, B.H. and Kim, B.G., Optimizing the Injection Molding Process for Cooling Filter Using Computer Simulation and Taguchi Methods. *IE Interfaces, 2002*, Vol. 15, No. 3, p 263-269.
- [8] Lee, S.H., Byun, J.H., and Kwon, H.K., Optimization of a Plastic Injection Moulding Operation Using Taguchi Methods. *Proceedings of the Korean Institute of Industrial Engineers, 1995*, p 277-282.
- [9] Mori, T., Taguchi Techniques for Image and Pattern Developing Technology, Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1995, p 60.
- [10] Ree, S.B., *Application of Taguchi Method using MINI-TAB*, Anyang, ERETEC, 2001, p 34.
- [11] Taguchi, G., *Quality Engineering Series*, Vol. 1, Seoul, KSA, 1991.
- [12] Taguchi, G., Chowdhury, S., and Wu, Y., TAGUCHI'S *Quality Engineering HANDBOOK*, Michigan, WILEY, 2005, p 8, p 97, p 236, p 229, p 354, p 355.
- [13] Taguchi, G., ASI, 2nd Total Product Development Symposium(QFD/TRIZ(TIPS)/TAGUCHI), 1996. 11. 6-8, California, Pomona, 1996.
- [14] Takahashi, K., Kousaka, S., Hoshiya, K., Yano, K., Nishiuchi, N., and Yano, H., Optimization of machining condition through observation of electric power consumption. *Quality Engineering, 2000*, Vol. 8, No. 1, p 24-30(Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yui Wu, 2005, TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK, Michigan, WILEY, p 806-818).
- [15] Ueno, K., Machining technology development for high performance steel to which concept of transformability is applied. *Quality Engineering, 1993*, Vol. 1, No. 1, p 26-30(Genichi Taguchi, Subir Chowdhury, Yui Wu, TAGUCHI'S Quality Engineering HANDBOOK, Michi-

- gan, WILEY, 2005, p 819-826).
- [16] Yum, B.I., Lee, B.Y., Ko, S.W., and Kim, J.H., Principle for Constructing Taguchi Experimental Designs. *The Korean Journal of Applied Statistics*, 1991, Vol. 4, No. 1, p 47-63.
- [17] Yum, B.J., Ko, S.W., and Kim, J.H., The Taguchi Method for Product and Process Design. *Journal of The Korean Operations Research and Management Science Society*, 1990, Vol. 7, No 2, p 3-21.
- [18] Yum, B.J., Kim, S.J., Seo, S.K., Byun, J.H., and Lee, S. H., The Taguchi Robust Design Method : Current Status and Future Directions. *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2013, Vol. 39, No. 5, p 325-341.