

## ARENA Simulation을 이용한 LCD Cell 공정 수행도 분석

### Performance Analysis of LCD Cell Manufacturing System using ARENA Simulation

양 현 석\*                      전 태 보\*\*  
Yang, Hyun-Suk              Jeon, Tae-Bo

---

#### Abstract

In this study, LCD Cell process has been analyzed through ARENA simulation. The major concern is to find the condition maximizing production rate (or quantity per hour). For the analysis, we have selected 4 factors and performed simulation experiments through  $L_8(2^7)$  orthogonal arrays. Our results indicate that the production may be maximized with well selected conditions proposed in this study. The results obtained from this study may provide a good base for practical applications.

키워드 : ARENA, 직교배열

Keywords : ARENA, Orthogonal Arrays

---

#### 1. 서론

컴퓨터 시뮬레이션은 시스템의 운영과 특성을 모방하기 위하여 고안된 소프트웨어를 사용하여 간접의 실험을 함으로써, 현실세계 시스템의 광범위한 모델의 다양성을 연구하는 방법이다. 이는 새로운 정책과 운영 절차 등을 실제 작업 없이 효과적으로 실험할 수 있게 해주고, 시뮬레이션 수행에 가장 중요한 변수들과 이 변수들이 어떻게 상호작용을 하는가에 대하여 정보를 얻을 수 있게 해준다. 현재 이러한 시뮬레이션기법은 생산, 의료, 유통, 경영 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 특히 자동화된 생산 시스템의 복잡한 측면을 연구하

는 방법으로써 공장의 레이아웃, 운영 정책, 문제점 등의 평가를 위한 설계 및 분석과 시스템의 일정계획을 위한 도구로써 각광을 받고 있다.

본 연구에서의 고려업체는 PC용 모니터용 LCD 제조 회사로서 LCD제조 과정 중 Cell 공정을 대상으로 한다. Cell 공정은 CF(Color Filter) 공정과 TFT(Thin Film Transistor) 공정에서 만들어진 2개의 글라스를 하나로 합치고 절단하는 공정이다. 생산하는 주 제품은 19 인치로 5:4, 1280×1024 해상도, 픽셀피치 0.294mm의 규격을 갖으며 가장 높은 보급률의 제품이다. 현재 LCD 모니터 수요의 증가에 맞춰 시간당 생산량을 늘리고자 한다. 생산량을 늘리는 방안은 크게 두 가지로 공정내부 요소의 개선과 CF, TFT 글라스의 제품투입을 조절하는 것이다. 이에 Cell 공정에 대한 시뮬레이션 모델을 개발하고 이를 이용하여 생산 능력을 예측해 보고자 한다. 분석결과, 현재 공정의 목표는 시간당 30대의 생산을 목표로 하고 있지만 현재의

---

\* 강원대학교 산업공학과

\*\* 강원대학교 산업공학과, 교수, 공학박사, 교신저자

생산능력으로는 어려울 것으로 판단되었다. 이에 따라 목표 생산량을 달성할 수 있는 개선안을 제안하고 그 효과를 예측하는 것이 본 연구의 분석 과제다.

목적달성을 위하여 제 2절에서 고려중인 LCD 공정에 대한 내용을 검토하였으며, 제 3절에서는 ARENA를 이용하여 시뮬레이션 프로그램을 수집하였다. 제 4절에서는 결과분석을 위한 입력데이터 설계와 함께 수집된 프로그램과 입력데이터 설계에 따라 시뮬레이션을 수행한 뒤 얻어진 결과데이터를 바탕으로 다양한 분석을 수행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과가 대상시스템 뿐만 아니라 비슷한 또는 다른 제조업의 수행도 분석으로 중요한 도구로 사용함에 좋은 참고가 될 것이다.

## 2. 대상 시스템 개요

대상 공정 중 본 연구의 고려영역은 그림 1의 도시와 같이 초기 세정(Wet Cleaner), 배향막 인쇄(PI Coating), Rubbing, Seal 인쇄(Seal Dispenser), Spacer Spray, 합착(Assembly), 절단(Scribing & Breaking)등 이다.

초기 CF와 TFT는 정규분포 평균 20분, 표준편차 2분을 따라 1회 2개씩 투입되며 매회 총 4개의 부품이 투입된다. 그림 1의 좌하부분과 같이 CF와 TFT 부품이 공정에 투입(unloading)되면 CartA에 의해 세정 공정으로 이동한다. 세정 작업이 완료되

면 CF와 TFT는 순서에 관계없이 6개씩 모여 배향막 인쇄 공정으로 CartA에 의해 운반되고, 각각의 PI Coater 기계로 옮겨져 배향막 인쇄 작업을 진행한다. 배향막 인쇄 공정은 롤러 코팅(roller coating) 방법을 사용하여 기판위 필요한 부분에만 배향막을 도포하는 것이고 작업이 완료되면 컨베이어에 의해 rubbing 공정으로 운반된다.

마찬가지로, 각각의 rubbing 기계로 배향막 위를 일정한 힘과 속도, 방향으로 천을 이용하여 문질러 주어 액정을 배향하면, 컨베이어에 의해 CF는 Seal 인쇄 공정으로, TFT는 Spacer 산포 공정으로 운반된다. 두 공정은 TFT 기판과 CF 기판 사이에 특정 간격을 유지하기 위해 spacer를 산포하는 작업이다. 각각의 공정들을 끝낸 CF와 TFT를 합착 공정라인으로 옮겨 두 기판을 정밀하게 합착한다. 합착된 부품 4개가 모이면 CartB로 절단(scribing) 공정으로 운반하고, 절단 작업을 통해 하나의 기판은 3개의 패널로 분리된다. 분리된 패널이 5개가 모이면 CartB에 실려 출고대기 창고(product storage)로 이동된다.

모든 설비들은 자동화되어 있으며 일일 24시간 체제로 가동된다. 운반 Cart와 컨베이어는 종류에 따라 속도가 정해져 있으며 고장은 고려하지 않는다. Cart는 목적지로 이동한 후 해당 작업장에서 다음 요구가 있을 때까지 대기한다. 컨베이어는 CF와 TFT가 같이 사용하며 비누적형(Non-accumulating) 컨베이어다. 즉, 부품의 선적

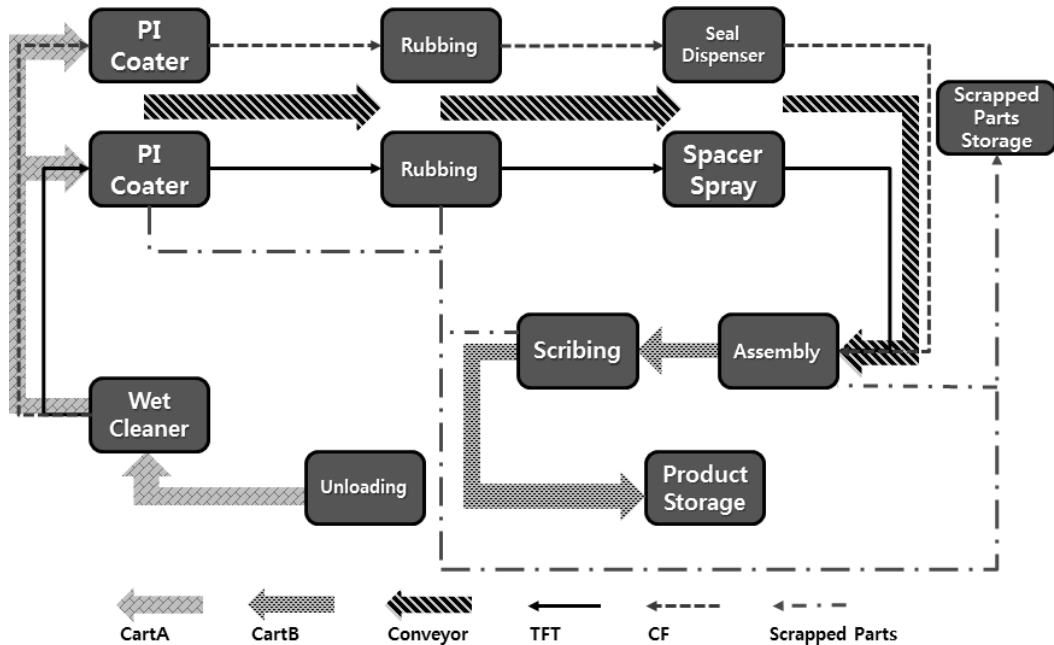


그림 1 Cell 공정

및 하역시에만 컨베이어가 동작을 멈춘다. Cart와 컨베이어의 부품 선적, 하역 시간은 지수분포 평균 1을 따른다. 초기 공장에서 CartA와 B는 각 두 대씩 배치되어 있으며 Cart의 수는 공장의 생산을 향상을 위한 변수로써 각각의 대수를 2-4개의 범위 내에서 조정한다. CartA와 B를 위한 작업장간의 이동거리와 속도는 표 1과 같으며 거리의 단위는 분이고 속도의 단위는 피트/분이다.

표 1 CartA, B의 이동경로와 거리, 속도

종류	속도	시작점	종점	거리
CartA	25	Unloading	Wet Cleaner	200
		Wet Cleaner	PI Coater	300
		PI Coater	Unloading	500
		PI Coater	Wet Cleaner	320
		Wet Cleaner	Unloading	140
CartB	15	Assembly	Scribing	200
		Scribing	Storage	300
		Storage	Assembly	380
		Storage	Scribing	500
		Scribing	Assembly	330

Scrap truck은 작업장에서 생긴 불량품을 모아 불량품 저장소(Scrapped parts storage)로 운반하며 운반속도는 20 피트/분이다. 공정 중 불량품이 생기면 이를 불량품 저장소로 이동시킨다. 전체 공정 중 배향막 인쇄, rubbing, 합착, 절단 공정 이후 검사작업이 이루어지며 각 공정에서 종류에 관계없이 5개의 불량품이 생기면 scrap truck을 요청하여 불량품 저장소로 운반되고 그 거리는 표 2와 같다.

표 2 Scrap Truck의 이동경로와 거리

시작점	종점	거리	시작점	종점	거리
PI Coater	Storage	700	Storage	PI Coater	750
Assembly		180		Assembly	190
Scribing		500		Scribing	580
Rubbing		580		Rubbing	650

나머지 작업장간의 이동은 모두 컨베이어를 통해 이루어진다. 컨베이어의 거리와 속도에 관한 정보는 표 3에 나타나있으며 각 작업간의 운반수단은 그림 2를 통해 쉽게 알 수 있다. 본 연구에서는 이동 Cart와 컨베이어의 고장이나 속도변화는 없다고 가정하였다.

표 3 컨베이어의 정보

시작점	종점	속도	거리
PI Coater	Rubbing	120	30
Rubbing	Seal Dispenser, Spacer Spray	200	30
Seal Dispenser, Spacer Spray	Assembly	170	20

작업시간은 고장간격과 달리 같은 작업이라도 기계별로 공정시간의 확률분포가 다르다. 세정작업의 경우 Wet Cleaner 작업기계의 작업시간이 아닌 컨베이어의 통과시간이 작업시간이므로 작업시간을 따로 정하지 않는다. 각 작업장의 기계의 정보는 표 4 및 표 5와 같다. 이들 표에서 사용된 NORM은 정규분포, EXPO는 지수분포, TRIA는 삼각분포를 뜻하며 UNIF는 일양분포를 나타낸다.

표 4 기계별 작업시간

Machine	Process Time(Min)
PI Coater(CF)	TRIA(5, 7, 10)
PI Coater(TFT)	NORM(8, 1)
Rubbing(CF)	UNIF(7, 8)
Rubbing(TFT)	UNIF(7.5, 8.3)
Seal Dispenser(CF)	NORM(9, 0.5)
Spacer Spray(TFT)	TRIA(6, 7, 11)
Assembly	NORM(7, 1)
Scribing	NORM(8, 1)

표 5 각 기계의 고장과 수리간격

Machine	고장(시간)	수리(시간)
Wet Cleaner	EXPO(500)	0.5
PI Coater	NORM(180, 20)	2
Rubbing	EXPO(260)	3
Seal Dispenser	NORM(150, 8)	1.5
Spacer Spray	EXPO(205)	2
Assembly	EXPO(310)	3
Scribing	NORM(330, 14)	1

### 3. 시뮬레이션 프로그램 작성

이상의 개략적인 모형을 토대로 시스템을 모형화하기에 앞서 원활한 프로그램 흐름을 위해 설정한 가정은 다음과 같다. 첫째, 작업장별 부품의 대기공간은 무한하다. 따라서 이전작업장에서 가공이 완료된 부품은 다음공정으로 모두 이동할 수 있다. 두 번째로 작업 중 기계 고장이 발생하면 작업 중이던 부품은 작업을 멈추고 기계가 수리될 때까지 기다린 후 다시 작업을 한다. 마지막으로 카트간의 이동 동선은 겹치지 않기 때문에 이동은 정해진 속도와 거리에만 영향을 받는 것으로 한다.

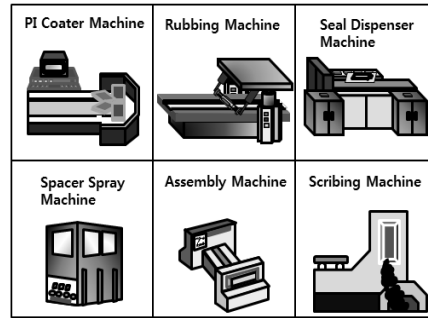


그림 3 작업장별 기계 형태

모델의 구현은 ARENA[1]를 통하여 이루어 졌고 차체들의 이동 및 공정작동의 묘사를 위해 Power Point를 이용하여 그림 2, 3과 같이 Transporter 및 기계들을 묘사하였다.



그림 2 이동수단의 형태

그림 4는 시뮬레이션 로직에 대한 화면을 도시하며, 주요 부분별 처리방법은 다음과 같이 요약된다.

먼저 부품의 투입은 Create 모듈을 이용하여 처리한다. 지수분포 평균 20분에 따라 한번에 2개의 Entity를 생성하여 Separate모듈을 이용해 CF와 TFT를 Assign에서 둘을 구분할 수 있는 Part Index를 CF는 1, TFT는 2를 부여한다. 이렇게 생성된 4개의 Entity는 Batch모듈로 하나로 묶여 설정 작업장으로 운반된다. 이때 CartA를 Leave모듈을 이용해 요청하고 두 부품이 같이 운반될 때에는 Batch모듈에서 대표 Entity를 Package Parts하여 애니메이션 상에서 구분이 되도록 하였다.

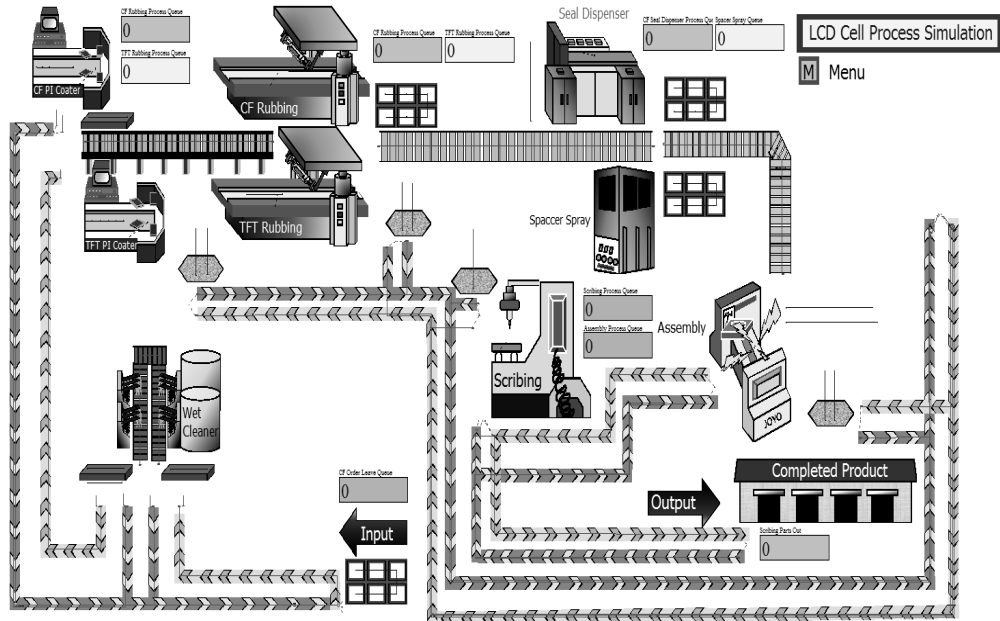


그림 4 Cell 공정 레이아웃

CartA로 세정작업장에 운반되면 Batch로 묶인 Entity그룹을 Split Existing Batch로 나눈다. 이때 Signal을 이용하여 세정 기계가 작동 가능한 상태 인지를 판단한다. Hold모듈에서는 Entity 하나를 잡고 Signal 값을 받으면 Decide 모듈로 가서 기계의 상태를 확인하고, 만약 기계가 동작 중이라면 부품을 컨베이어에 투입하고 그렇지 않으면 투입을 하지 않음과 동시에 컨베이어의 작동을 정지시킨다.

세정작업이 끝난 부품들은 6개가 모이면 Batch로 묶인다. 이때 Entity를 마찬가지로 Package Parts로 하고 CartA를 요청한다. 다음 공정인 배향막 인쇄 작업장에 도착하면 CF와 TFT는 다른 Process 모듈로 진행후 고장검사를 받는다. 고장검사는 Decide 모듈의 확률에 따라 간단하게 결정되며 고장률은 1%를 적용하였다. 부품이 이상이 없다면 컨베이어에 의해 rubbing 작업장으로 운반되며 rubbing 작업장은 작업 후 검사를 하지 않는다. 불량품의 경우 2개의 부품이 모이면 scrap truck을 이용하여 처리하며 scrap truck은 불량품 창고에서 대기한다.

Rubbing 작업을 마치면 CF는 Seal 인쇄 작업장으로 이동하고 TFT는 Spacer 산포 작업장으로 이동한다. 이때 동일한 컨베이어에 의해 운반되므로 컨베이어에는 CF와 TFT가 같이 이동하며 부품을 Loading할 때에는 지수분포 평균 1분의 시간이 걸리고 모든 컨베이어는 부품을 올리거나 내릴 때 이동을 잠시 정지하는 비누적형이다, Cell의 크기는 1이고 각 부품은 이동할 때 15Cell을 차지한다.

Assembly 작업장으로 이동되면 CF와 TFT부품은 각각 하나씩 모여 하나의 Entity가 된다. 다음은 절단 작업장으로 이동한다. 여기서 부품은 Separate 모듈을 통해 3개로 복사된다. 이 작업에

서는 확률적으로 남는 기관의 양이 정해지며 그 양은 표 6과 같다. 절단 작업장에서는 남는 기관의 양의 누적 합이 3이 넘으면 scrap truck으로 불량품 창고로 이동된다. 최종 제품은 10개가 모이면 CartB에 의해 출고 대기 창고로 이동된다.

표 6 절단 공정 후 남는 기관의 양

남는 양	확률	누적 확률
0.5	0.1	0.1
1.2	0.3	0.4
1.5	0.4	0.8
0.2	0.2	1

#### 4. 실험설계 및 결과 분석

본 연구의 주된 분석대상은 단위 시간당 생산량으로 이를 최대화 하기위한 조건을 찾는 것이다. 생산량에 영향을 미치는 요인들로 여러 가지가 있겠으나 여기서는 부품의 투입속도, 설비고장 간격, CartA의 수량, CartB의 수량 등 4가지를 인자들로 선정하였다. 이들의 적절한 영역내 조합을 통하여 최적의 조건을 찾고자 한다. 선정된 인자들의 고려영역과 2 수준 값들이 표 7에 도시되었다. 4인자에 대하여 2수준씩 고려하므로 총 16조합이 가능하나 여기서는 8가지 조합만 고려한  $L_8(2^7)$  직교배열[2]을 고려한다. 이 직교배열에서 나머지 3열(column)들은 교호작용 AB, BC, BD를 배치하였다.

표 7 시뮬레이션 수행을 위한 고려 인자들의 수준

인자	변수명	입력변수	단위	고려영역	수준1	수준2
A	부품 투입속도	Unloading	분	평균 18분 이상	NORM(20, 2)	NORM(18, 1.8)
B	고장간격	Wet Cleaner	시간	10%내외 증가	EXPO(500)	EXPO(550)
		PI Coater			NORM(180, 20)	NORM(200, 20)
		Rubbing			EXPO(260)	EXPO(300)
		Seal Dispenser			NORM(150, 8)	NORM(170, 8)
		Spacer Spray			EXPO(205)	EXPO(230)
		Assembly			EXPO(310)	EXPO(340)
	Scribing	NORM(330, 14)	NORM(350, 14)			
C	CartA 수	CartA	대	2 - 3	2	3
D	CartB 수	CartB			2	3

각각의 실험조합당 2,000시간씩의 시물레이션을 수행하여 이 기간동안의 시간당 생산량을 구하였다. 표 8은 선정된 직교배열과 실험결과를 도시한다.

표 8 시물레이션 실험 결과

NO	1	2	4	7	시간당 생산량
	B	A	C	D	
1	1	1	1	1	19.65
2	1	1	2	2	25.11
3	1	2	1	2	28.15
4	1	2	2	1	18.86
5	2	1	1	2	25.01
6	2	1	2	1	19.49
7	2	2	1	1	18.96
8	2	2	2	2	27.71

표 9는 얻어진 결과를 바탕으로 계산된 인자 수준별 평균 반응결과이다. 그림 5는 이 결과를 그래프로 도시한 결과이다. 이들 결과로부터 인자 D가 단위당 생산량에 지배적인 영향을 미치며 A도 미미하나 약간의 영향을 미친다. 반면, 인자 B, C는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

표 10과 그림 6-8은 두 인자들간의 교호작용을 나타내는 결과이다. 주목할 것은 인자 B와 C는 개별적으로는 영향이 크지 않았으나, 그림 7에서 B-C간 교호작용이 제법 크게 존재함을 알 수 있다. 이상의 고려를 통하여 최적 인자들의 수준은 크게 3가지로 고려한다. 즉,  $A_2, D_2$ 와  $A_2, D_2, B_1, C_1$ , 그리고  $A_2, D_2, B_2, C_2$ 이다. 이들 조건 각각에 대한 예측되는 생산량은 다음과 같다.

$A_2, D_2$ :

$$\begin{aligned} \widehat{\text{생산량}} &= \widehat{A}_2 + \widehat{D}_2 - \bar{T} \\ &= 23.42 + 26.49 - 22.87 \\ &= 27.04 \text{ 개/시간} \end{aligned}$$

$A_2, D_2, B_1, C_1$ :

$$\begin{aligned} \widehat{\text{생산량}} &= \widehat{A}_2 + \widehat{D}_2 + \overline{B_1 C_1} - 2\bar{T} \\ &= 23.42 + 26.49 + 23.9 - 2 \times 22.87 \\ &= 28.07 \text{ 개/시간} \end{aligned}$$

$A_2, D_2, B_2, C_2$ :

$$\begin{aligned} \widehat{\text{생산량}} &= \widehat{A}_2 + \widehat{D}_2 + \overline{B_2 C_2} - 2\bar{T} \\ &= 23.42 + 26.49 + 23.6 - 2 \times 22.87 \\ &= 27.77 \text{ 개/시간} \end{aligned}$$

즉, 조건에 따라 시간당 27~28개의 생산량이 예측된다. 이는 현재의 공정여건을 고려할 때 크게 증가한 수치이며 어느 것이건 수용 가능하다는 결론이다. 회사의 여건에 따라 B와 C의 조건 변화가 쉬우면 가장 좋은 조건( $A_2, D_2, B_1, C_1$ )을 사용할 수 있을 것이고 그렇지 못할 경우 차선의 조건( $A_2, D_2$ )을 적용할 수 있다.

표 9 인자 수준별 평균반응

수준	A	B	C	D
1	22.31	22.94	22.94	19.24
2	23.42	22.79	22.79	26.49

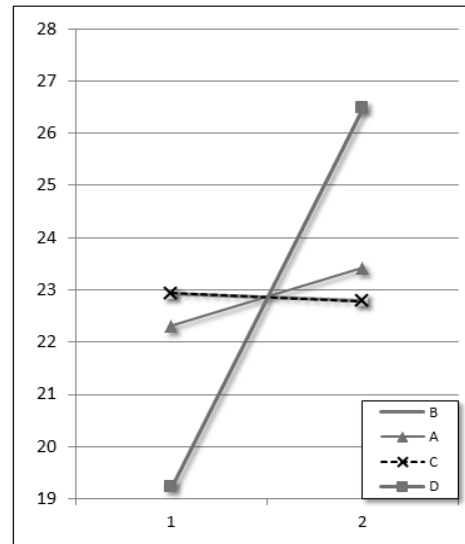


그림 5 인자수준별 평균반응그래프

표 10 두 인자들간의 교호작용

		A		C		D	
		1	2	1	2	1	2
B	1	22.38	23.50	23.90	21.98	19.25	26.23
	2	22.45	23.33	21.99	23.60	19.22	26.36

참 고 문 헌

- [1] 문일경, 조규갑, 조면식, 최원준, *ARENA를 이용한 시뮬레이션(4판)*, 한국메트로힐(주), 2007.
- [2] Peace, G. S., *Taguchi method: a hands-on approach*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1993.

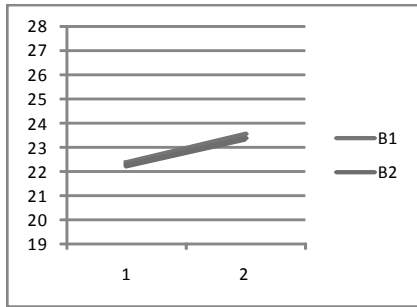


그림 6 인자 A-B간 교호작용

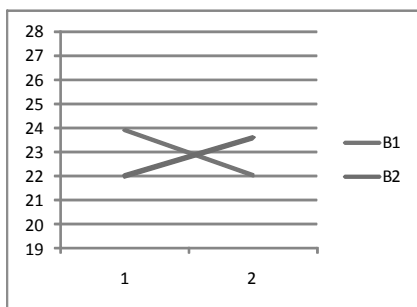


그림 7 인자 B-C간 교호작용

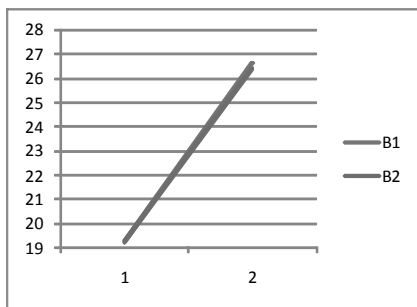


그림 8 인자 B-D간 교호작용

5. 결론

본 연구에서는 LCD 공장중 Cell 공정부분에 대한 수행도 평가를 수행하였다. 특별히 ARENA 시뮬레이션을 통하여 모형화 하였으며, 이론적이고 수리적인 복잡성을 피하고 비교적 쉽게 분석을 수행할 수 있었다. 목적으로 삼는 단위 시간당 생산량이 목적치에 비교적 근접하는 해를 찾았다. 본 연구의 방법 및 분석 결과를 통하여 실제 공정 운영상의 문제점 파악과 효율적인 대안의 도출이라는 측면에서 좋은 기여가 기대된다.