

1. D사의 개요

- D사는 반도체 LCD용 재료와 발포재를 제조 판매하는 기업
- 주요 품목
 - 반도체 및 LCD용 재료: 포토레지스트(Photoresist)와 EMC(Epoxy Molding Compound) 등
- 연혁
 - 1967년 설립되어 PVC 및 고무발포재를 국내 최초로 개발, 국산화하면서 성장의 토대를 마련
 - 1973년부터는 발포재 수출업체로 성장
 - 1992년에는 인도네시아에 해외생산공장을 설립
 - 1995년에는 시애틀공장을 증설하는 등 신제품 개발과 설비확충을 지속하여 연간 3만톤의 발포재 생산능력을 보유, 발포재 부문에서 세계시장의 35%를 점유하고 있는 1위 업체로 부상
 - UNICELL 브랜드로 세계 각국에 수출하고 있는 기업

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -2-

2. 6시그마 프로젝트 선정배경

2.1 VOC에 의한 분석

- 고객사(삼성전자)에 납품한 1 라인용 PR 제품에 대한 Claim이 많아 고객관리에 어려움
- 특히 EOP 특성문제로 인한 Claim이 75%를 차지하고 있어 시급한 개선이 요구되는 사안임.
- 또한 다른 종류의 PR 개발시에도 신뢰성 저하가 우려됨.

제품명	용량 및 포장	총 물량(고유)		2005년 용량(고유)		2005년 EOP 불량률(고유)	
		용량 (kg)	용량 (kg)	용량 (kg)	용량 (kg)	2005년 EOP 불량률 (%)	2005년 EOP 불량률 (%)
1. DS-1999(42kg)	2000.12.26 ~	311	51,446	35	4,404	192	3
2. DS-9902(15kg)	1999.04.27 ~	172	14,070	12	916	48	0
3. DS-5700	2004.02.17 ~	31	4,120	15	1,744	96	1
4. DS-135A(12kg)	2001.02.03 ~	150	5,455	22	1,094	3284	1
2. DS-1106(18kg)	2003.12.11 ~ 2003.12.20	124	21,968	-	-	192	0
3. DS-9906(30kg)	1995.02.07 ~ 2004.12.20	241	52,928	-	-	192	0
Total		629	79,892	84	7,644	527	4

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -3-

2.2 Pareto 곡선에 의한 분석

- 1 라인 PR은 1999년부터 현재까지 664 Lots (79,692 ga) 출하되었으며, 이 중 12 Lots의 불량(1.8%)
- 불량 12 Lots 중 EOP 불량인 경우가 9 Lots (75.0%)
- EOP 불량률의 현인을 조사한 결과, EOP 측정시스템의 불량으로 인해 측정편차가 많이 발생
- 따라서 이러한 측정편차의 발생원인을 파악하여 개선하는 것이 시급

Figure 1: EOP PR 불량률 (1999~2004). Shows a significant decrease in defect rate over time, with a sharp drop in 2004.

Figure 2: EOP 불량률의 Pareto PR. Shows that a small number of PR types (top 10) account for the majority of EOP defects.

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -4-

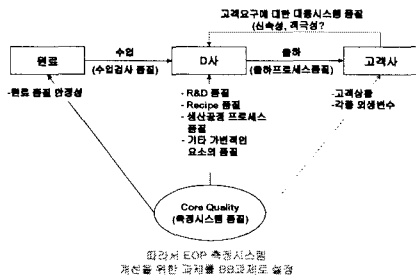
2.3 잠재적인 문제의 영향도 평가 Matrix 분석

평가항목	고객사 문제	사업 영향도	생산 가능성	측정 가능성	관리 가능성	COPO 불량	고객 만족도	시급성	총합 점수
잠재적인 문제의 영향도	10	5	5	5	5	10	8	10	
Resin 분극 안정화를 위한 Eop 특성 개선	8	3	3	3	3	10	5	9	370
PR Thermal 안정화를 위한 Eop 특성 개선	7	3	3	3	3	10	5	8	350
Eop 측정시스템 개선	10	3	3	5	3	10	10	10	400
생산 시스템 개선	5	1	1	1	3	1	5	5	180

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -5-

3. 과제에 대한 이해

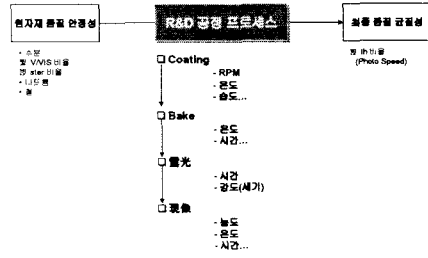
3.1 D사의 전반적인 생산 프로세스



Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-6-

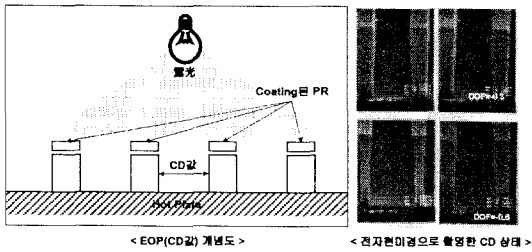
3.2 Photo Resist 공정 프로세스



Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-7-

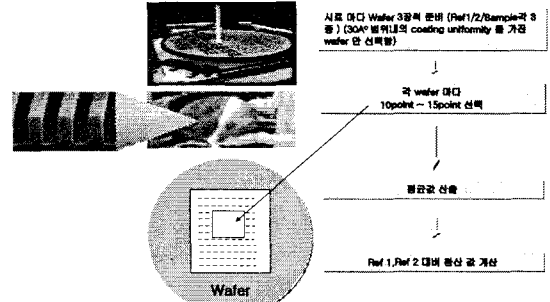
3.3 EOP(CD값)



Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-8-

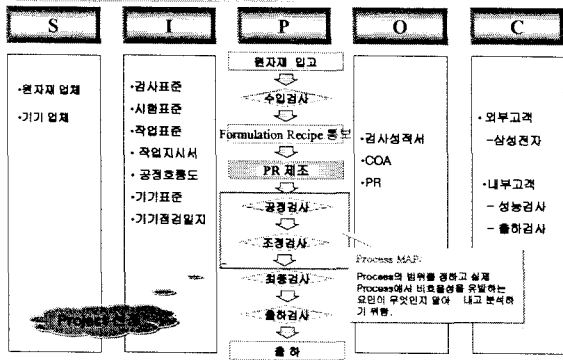
3.4 공정상 EOP(CD값) 측정방법



Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-9-

4. 프로젝트 추진을 위한 상위 프로세스 맵(과제범위)



Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-10-

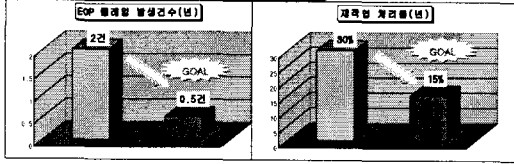
II. 성과지표 및 재무성과 설정



1. 개선목표

- EOP 문제의 인한 Claim 발생건수를 감소: 년 2건 → 년 0.5건 이하를 목표
- 재작업 처리로 인한 내부실비비율의 감소: 년 30% → 년 15%로 절감률 목표

6시그마 도입을 통한 개선 목표



2. 성과지표

- 현재 공정 불량률은 113,113 PPM으로 나쁘고 있으며, 공기공정능력은 2.71σ 수준임.
- 공정 불량률을 50%(56,556 PPM)로 줄일 경우 공기공정능력은 3.08σ 수준으로 향상됨.
- 이를 재무적으로 환산할 경우 연간 70,350,000원 정도의 성과를 기대할 수 있음.

항목	BSL	GOAL	비고
공정 불량률 (PPM)	119,113	59,556	50 %
σ Level	2.68σ	3.06 σ	0.38 σ
COPQ (천원/년)	₩113,200	₩42,850	₩70,350
재무성과 (천원/년)		₩70,350	

3. COPQ 분석내용

- 품질경영으로 인해 발생하는 품질비용을 분석한 결과 연간 70,350,000원의 품질비용을 절감할 수 있을 것으로 분석되었음.
- 특히 현재의 BSL(Baseline)에서 Goal에 이르렀을 때 발생하는 비용을 측정하여 재무적 성과인 COPQ임.

단위(천원)				
항목	비율 구분	BSL	GOAL	기대 효과
Claim 문제의 인한 재작업 비용	재무	₩27,500*1건/년 ₩55,000	₩27,500*0.5건/년 ₩13,750	₩41,250
공정 재작업 비용	재무	₩9,700*6건/년 ₩58,200	₩9,700*3건/년 ₩29,100	₩29,100
고객 만족 실현	비재무	- 품질 개선을 통한 공정 개선 및 품질 향상으로 제품 경쟁력 향상 - 고객 요구 사항 만족 실현으로 대외 이미지 향상		
합계		₩113,200	₩42,850	₩70,350

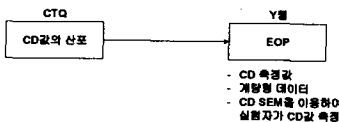
III. 측정(Measure)



1. Big Y's의 도출

1.1 CTQ와 Big Y

- 문제해결을 위한 Big Y를 개선하기 위해서는 핵심품질요소(CTQ: Critical To Quality)를 정의하는 것이 우선
- 이를 통해 종속변수인 Big Y를 측정



1.2 Big Y질의 성과역도 Matrix

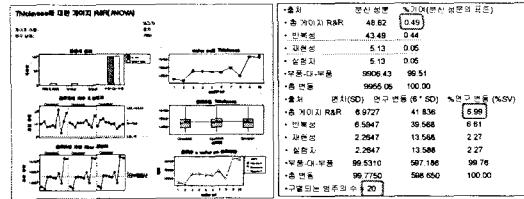
No	Y's	Y 정보					규격 설정		측정성 분석	Baseline		Goal(목표)	
		상향곡식(변동성)	자료형	주기	단위	공칭	USL	LSL		자료	Zet	자료	Zet
1	코팅 두께	Track 안드레노도 Photo레노 현의 에 데이 투오 상투기가 coating 후 코팅의 실험자가 두께를 측정 한다.	상향 분 석 Excel sheet	당첨 시	A ⁺	C	17400	17200	안락		3.08		4.50
2	Eop (CD)	두께가 일정하게 유지 (30A 이하 조율) 된 wafer를 1270 에어 노드 측정의 실험자가 CD SEM을 이용하여 CD 값을 측정 한다.	상향 분 석 Excel sheet	당첨 시	nm	C	1320	1280	G RBR(2.0, 5)		2.88 (2.89)		3.06 (3.06)

※ Data유형 : C - Continuous

2. MSA (Measurement System Analysis)

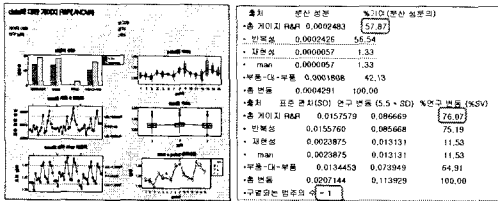
- 측정시스템(MSA)을 분석하기 위하여 Gage R & R을 이용해 반복성과 재현성을 검증해 산포를 파악함.
- 반복성(Repeatability): 동일한 측정대상(시료)에 대하여 1명의 측정자가 하나의 동일 계측기기를 가지고 반복 측정한 때 얻어지는 산포
→ 계측기 산포(EV: Equipment Variation)
- 재현성(Reproducibility): 측정자간의 차이로서 서로 다른 측정자가 동일 측정기를 이용해 동일 시료를 반복 측정하였을 때 측정자간에 나타나는 측정 데이터 평균의 최대 차이
→ 평가자 산포(AV: Appraiser Variation)

2.1 두께에 대한 Gage R & R 결과



- 조건: wafer 10장을 교정한 후 3명의 측정자가 각 wafer 마다 5포인트씩 두께를 측정
- Gage R&R이 0.49, 연구변동이 6.99로 기준치인 10% 이하로 측정시스템이 양호한 것으로 평가됨.
- 재현성에 의한 산포보다 반복성에 의한 산포가 약간 높아 개선시에는 반복성에 초점을 두고 개선
- 측정시스템의 차별력은 기준치인 4 이상으로 나타나 차별력이 있는 것으로 평가됨.

2.2 EOP(CD값)에 대한 Gage R & R 결과



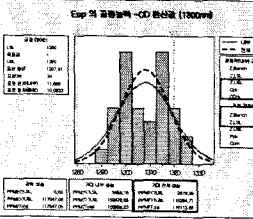
- 조건: ETRI 노광부 3장의 wafer에 대해 각각 15 cell에 대해 3명의 측정자가 CD값을 3회 반복 측정
- Gage R&R은 57.87%로 기준치인 10%를 훨씬 초과하고 있어 즉각적인 개선이 필요
- 산포의 주된 원인은 반복성에 의한 것으로 측정시스템의 개선이 요구되고 있음.
- 측정시스템의 차별력은 4이하로 나타나고 있어 측정시스템은 차별력이 없는 것으로 나타남.

IV. 공정능력분석

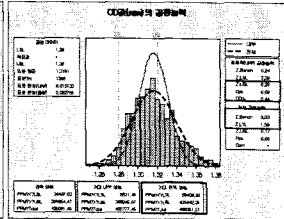


Process Capability Analysis

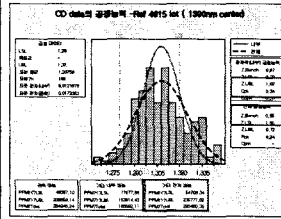
1. 출하제품의 CD값 (Ref-1/2 대비 분산)



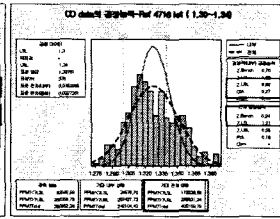
2. 실제 출하제품의 CD값



3. Ref-1의 CD값



4. Ref-2의 CD값



5. Baseline Capability

항목	Cpk	σ 수준	Data Type	평가
재분류하	0.34	2.69	계량치	개선필요
계급 Raw data	0.89	1.53	계량치	개선필요
Ref 7 (center PR)	0.34	2.05	계량치	개선필요
Ref - 2	0.27	1.74	계량치	개선필요

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -24-



1. FDM (Functional Deployment Matrix)

Key Process Input Variable	Performance Table							Rank	% Rank
	1	2	3	4	5	6	7		
1. 노광 노드 크기	7	6						116	9.42%
2. 노광 노드 간격	7	6					116	9.42%	
3. 노광 노드 위치	7	7					106	10.25%	
4. 노광 노드 모양	6	5					128	11.20%	
5. 노광 노드 색상	2	10					116	9.42%	
6. 노광 노드 두께	2	10					116	9.42%	
7. 노광 노드 재료	1	10					104	8.77%	
8. 노광 노드 온도	1	9					96	7.95%	
9. 노광 노드 시간	2	9					106	8.60%	
10. 노광 노드 압력	2	9					96	7.79%	
11. 노광 노드 진동	3	11					26	2.11%	
12. 노광 노드 습도	5	2					80	6.87%	
13. 노광 노드 조명	3	8					10	0.81%	

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -26-

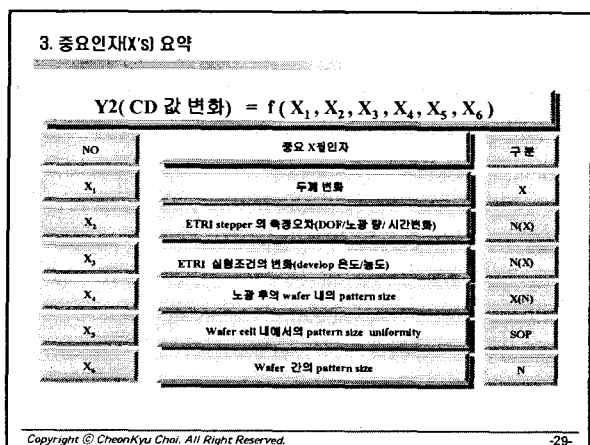
2. FMEA (Failure Mode & Effects Analysis)

번호	프로세스 단계 (프로세스 기법)	공정적 고장 유형	공정적 영향 (RPOV)	심각도	유발 가능성 (KPV)	발견도	현재 프로세스 관리상태	검출도	PPM
1	Track-etch도막	etch-etch 불량	두께 변동	5	CR	etch-etch 불량	관리상태	8	80
2	Wafer clean	PR clean	두께 변동	1	Wafer clean 불량		관리상태	8	8
3		HMSD 처리 OIB	두께 변동	1	HMSD 처리 불량		관리상태	3	3
4	PR clean	etch-etch 불량	두께 변동	1	etch-etch 불량		관리상태	1	1
5	Coating	Coating 불량	두께 변동	3	Coater 불량		관리상태	5	75
6	Soft bake	etch-etch 불량	두께 변동	3	etch-etch 불량		관리상태	4	80
7	Hard bake	etch-etch 불량	두께 변동	3	etch-etch 불량		관리상태	1	3
8	두께 측정	Uniformity 불량	Wafer 내의 두께 편차	5	Coater rpm 불량		작업자 교육	5	125
9	건조 공정	건조도 부족/과습	Wafer 내의 두께 편차	5	건조도 불량		관리상태	5	125

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -27-

번호	프로세스 단계 (단계)	공정적 고장 유형 (프로세스 기법)	공정적 영향 (RPOV)	심각도	유발 가능성	발견도	현재 프로세스 관리상태	검출도	PPM
10	ETRI clean	Stepper clean 불량	CD 변동	8	Stepper clean 불량	8	관리상태	7	848
11	-	Energy 변동	CD 변동	8	노광 에너지	8	관리상태	7	848
12	-	Develop 온도 변동	CD 변동	8	노광 온도	8	관리상태	7	848
13	-	Developer 온도 변동	CD 변동	8	etch-etch 불량	8	관리상태	7	848
14	CD 측정	SEM 조건 불량	CD 변동	6	SEM 조건 불량	6	작업자 교육	2	80
15	-	Coating 두께 변동 or ETRI 조건 불량	CD 변동	8	노광 후의 wafer 내의 pattern 변동	8	관리상태	4	206
16	-	PR pattern 불균일 or ETRI 조건 불량	CD 변동	8	etch-etch 불량	8	관리상태	4	206
17	-	Coating 두께 변동 or ETRI 조건 불량	CD 변동	8	Wafer 내의 pattern size의 편차	8	관리상태	4	206
18	-	PR clean or ETRI 조건 불량	CD 변동	8	시간 경과에 따른 etch-etch 불량	8	관리상태	1	34

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved. -28-




Y1 (두께 변화) = f(X₁, X₂, X₃, X₄, X₅)

NO	중요 X 독립자	구분
X ₁	Track 내의 온도 변화	X
X ₂	Track 내의 습도 변화	X
X ₃	Hot plate 의 위치별 온도 변화	X
X ₄	Wafer 내의 PR coating uniformity 의 불 균일성	X
X ₅	Coating uniformity 의 변화(ETRI 이동시간)	X

-30-

VI. Analyze



1. Analyze Summary

No	중요 X's 인자	분석 기법	P value	분석 결과	개선 방안
X1	Coating 온도	공정능력분석 One-Way ANOVA	0.000	유의성 있음	ETRI 이동 시간
X2	Track 내의 온도			유의성 있음	
X3	Track 내의 습도	다중 비교 방법시	0.000	유의성 있음	ETRI 이동 시간
X4	Track 내의 rpm			유의성 있음	
X5	Hot plate 온도	One-way ANOVA	0.100	유의성 없음	
X6	Coating in wafer's uniformity	One-way ANOVA	0.100	유의성 없음	
X7	coating uniformity의 변화	Paired T Test	0.000	유의성 있음	ETRI 이동 시간
X8,9	ETRI 기기조건(1,2)의 변화	관찰 과정 (Process Map)	0.000	유의성 있음	ETRI 이동 시간
X10	노광 후의 wafer 내의 pattern size	Kruskal Wallis	0.000	유의성 있음	ETRI 이동 시간
X11	노광 후의 wafer 간의 pattern size	Kruskal Wallis	0.100	유의성 없음	ETRI 이동 시간

-32-

2. Vital Few X's

CTQ(Y) = f(X₁, X₂, X₃, X₄, X₅)

Vital Few X's are:

- X₁ = Coating 두께 (X_{2,3,4,7}: Track 내의 온도/습도/rpm/ETRI 이동)
- X_{8,9} = ETRI 기기조건-1,2 (i-line stepper, develop 장비)
- X₁₀ = 노광 후의 wafer 내의 pattern size
- X₁₁ = 노광 후의 wafer 간의 pattern size

-33-

VII. Improvement



1. Improvement Strategy

CTQ(Y) = f(X₁, X₂, X₃, X₄, X₅, X₆, X₇, X₈, X₉, X₁₀, X₁₁)

CTQ	인자	Vital Few X의	분석 기법	분석 결과	Improve Strategy
Y1 (두께)	X2	Track 내의 온도 변화	다중 비교 방법시	유의성 있음	DOE (다중 비교 방법 시) 실행 조건 설정
	X3	Track 내의 습도 변화			
	X4	Track 내의 회전속도 변화			
	X7	ETRI 이동 시간의 변화	Paired T Test	유의성 있음	Non-DOE 실행 조건 설정
Y2 (Exp-CD)	X8,9	ETRI 기기조건 변화 (i-line stepper, develop system)	관찰 과정 (Process Map)	실행 가능	Non-DOE 실행 조건 설정
	X10	노광 후의 wafer 내의 pattern size	Kruskal Wallis	유의성 있음	Non-DOE 실행 조건 설정
	X11	노광 후의 wafer 간의 pattern size	Kruskal Wallis	유의성 없음	Non-DOE 실행 조건 설정

-35-

2. Design of Experiment

DOE

$N_{\text{실험}} = 2^7 = 128$ Coating 두께 변화
(X_1 = Hot plate 온도, X_2 = ETRI 이동시간에 따른 진공도는 고정하여 사용)

Step 1. Object : 입자물이 특성에 미치는 영향 평가를 통한 최적 조건 설정

Factor	Level	Output Variables
X_1	Track의 온도 변화 19 ~ 23°C	i-line PR (1-1000) DPR-35K DS-S700 (1-900)
X_2	Track의 습도 변화 50 ~ 65%	
X_3	Track의 회전속도 변화 2500 ~ 3000rpm	
X_4	Hot plate 온도 고정 90°C 로 고정	
X_5	ETRI 이동시간 고정 공정조건 설정, 진공도 유지 고정 (vacuum gauge, time, 30kg, 11sec Set time = 2.362)	
X_6		
X_7		

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-36-

3. 공정능력 향상

1. Thickness (Y1) 공정능력 향상

i-line PR	회귀 방정식	R ² Squared	R ²	P value
DPR-35K	2차 회귀 Thickness = 11724433 + 128797 T + 52843 H - 568 H ² - 33478 T ² - 20115 T ²	96.8	95.8	0.000
	1차 회귀 Thickness = 43550 + 52 T + 19.9 H - 4.74 R	99.8	99.8	0.000
DPR-600(150P)	2차 회귀 Thickness = 18925 + 4645 T - 1031 H - 9.75 H ² - 145 T ² + 5.52 H ² - 320742 R ²	99.5	96.5	0.000
	1차 회귀 Thickness = 30804 + 10.9 T - 50.8 H - 2.92 R	88.3	88.4	0.000
DPR-600(300P)	2차 회귀 Thickness = 181597 + 141814 T + 13855 H ² - 1.55 R - 2758 T ² - 824 T ²	98.5	98.8	0.000
	1차 회귀 Thickness = 9905 + 225 T + 45.4 H - 1.52 R	97.7	97.8	0.000
DPR-1000(400P)	2차 회귀 Thickness = 179519 + 27902 T - 3399 H - 11.9 R ² - 2.01 H ² - 0.00155 R ²	96.2	95.2	0.000
	1차 회귀 Thickness = 38443 - 46.9 T - 47.2 H - 3.82 R	79.6	77	0.000

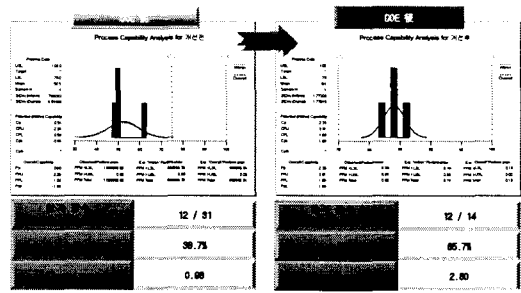
Note : T = Temperature (°C), H = Humidity(%), R = rate (rpm)

[결과] i-line PR 각각에 대한 DOE(회귀방정식 구축)를 통한 최적조건의 설정으로 Thickness 극한 공정능력 개선

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-37-

2. DOE 前의 Thickness (Y1) 공정능력 비교



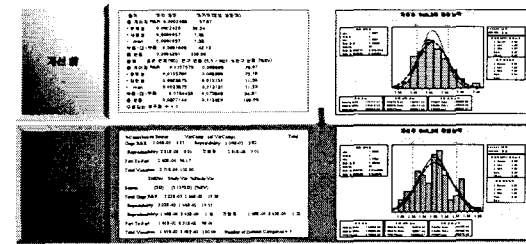
[결과] DOE를 통한 최적조건의 설정으로 Thickness 극한 공정능력이 개선됨.

Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-38-

3. 노광 후 Wafer 내의 CD 값 Gage R & R

MR 결과	MSA 결과	MSA 수
Normal Distribution	27.7%	3.73
Natural variation	74.7%	15.68
Number of distinct categories	7	22
Sigma Level	2.02	2.20
Sigma Level	2.02	2.20

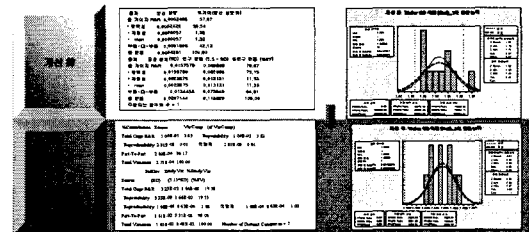


Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-39-

4. 노광 후 Wafer 내 CD 값 Gage R & R

MR 결과	MSA 결과	MSA 수
Normal Distribution	27.87%	3.73
Natural variation	74.97%	15.61
Number of distinct categories	7	22
Sigma Level	2.02	2.20
Sigma Level	2.02	2.20



Copyright © CheonKyu Choi. All Right Reserved.

-40-