

# 반도체 공정 운전조건 최적화 및 실시간 모니터링 구축을 통한 수율 향상

2024.03.22

B반1조

조한철,임수환,이광진,배소현,정유림,권보민

# CONTENTS

01 비즈니스 소개

02 추진배경

03 현황

04 분석계획

05 분석결과

06 개선안

07 과제수행모습

08 소감

# 01 비즈니스 소개

반도체란?

전기 신호를 다양한 신호로 증폭/전환/변환 기능  
데이터의 처리 : 저장/기억(메모리), 연산/제어(시스템)



사업 유형

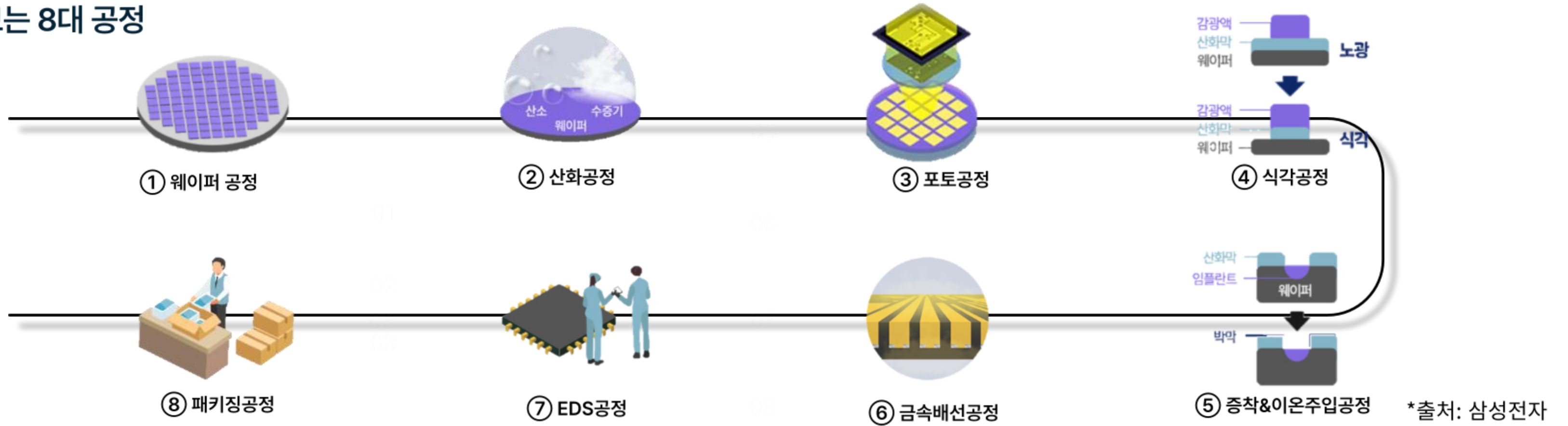


\* IDM : Integrated Device Manufacturer  
\* OSAT : Outsourced Semiconductor Assembly and Test

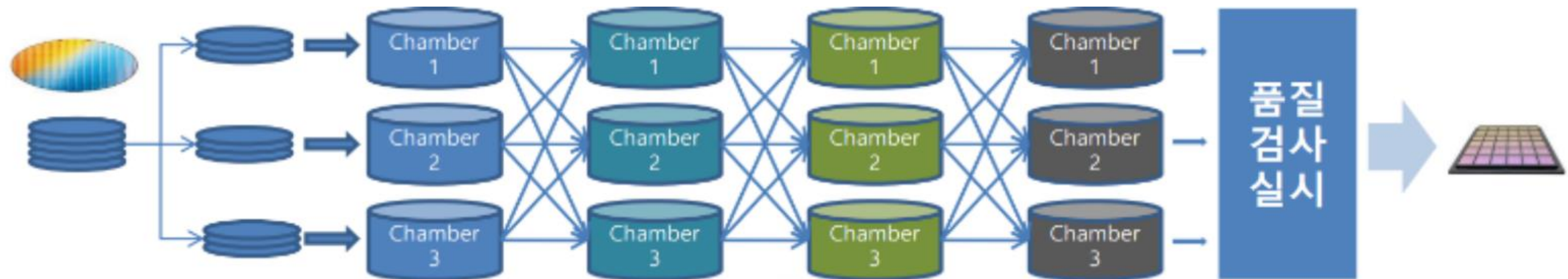


# 01 비즈니스 소개

## 한 눈에 보는 8대 공정



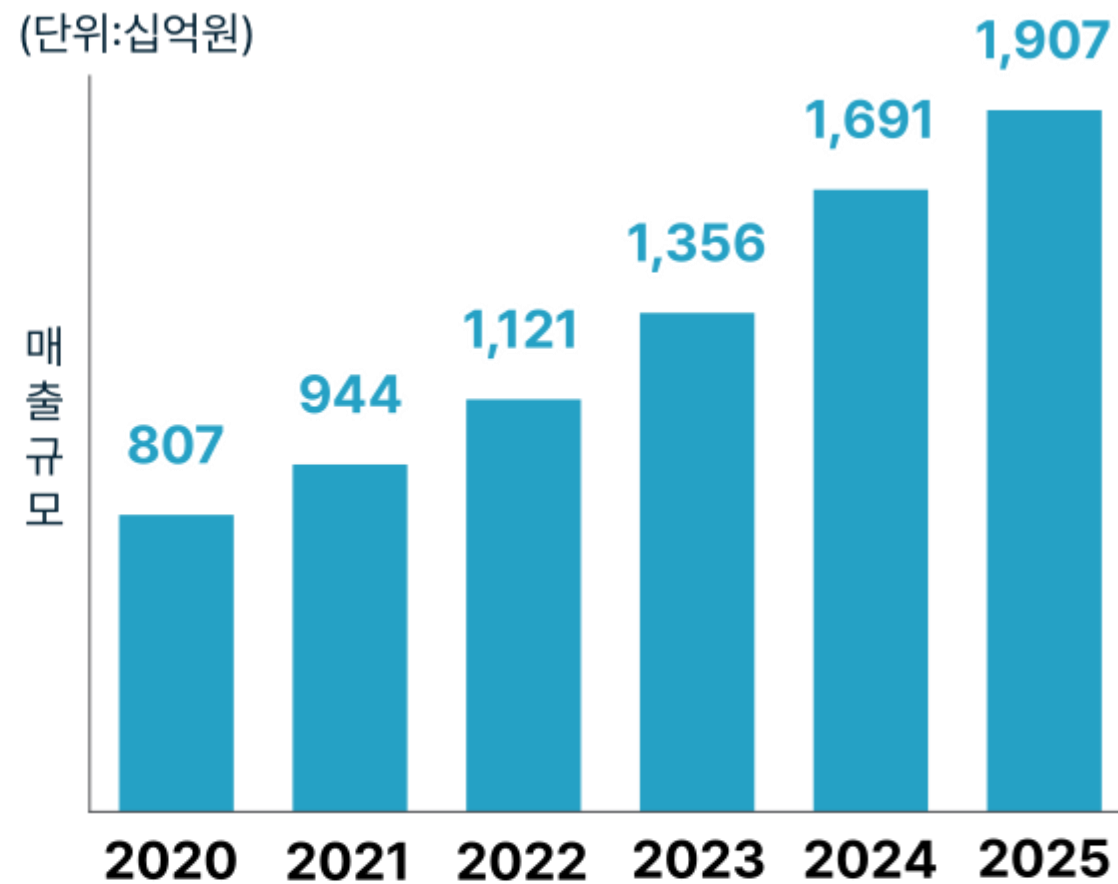
## 공정흐름소개



## 02 추진배경

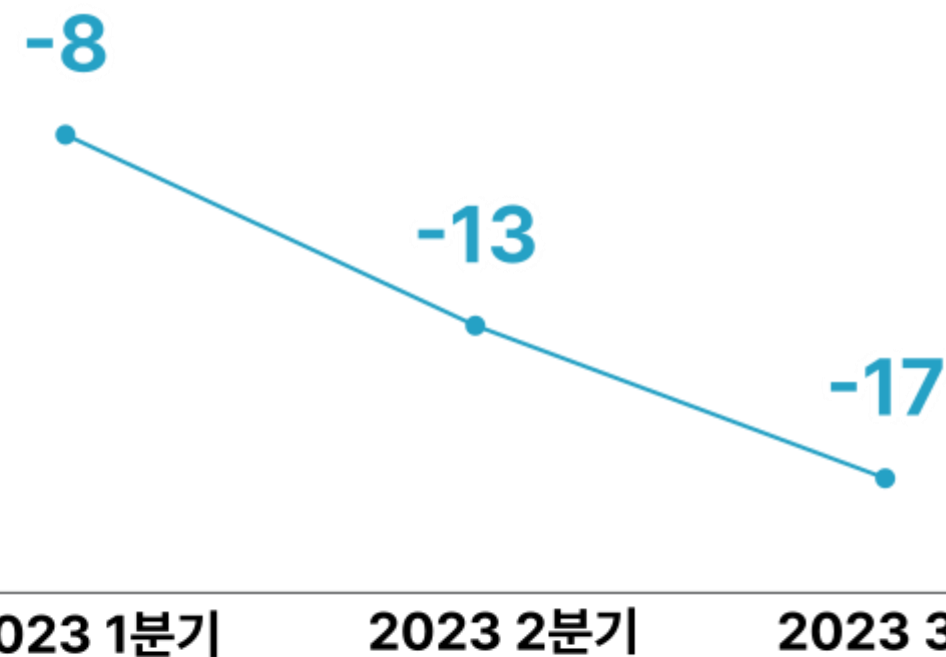
IoT, AI 시장의 급격한 성장과 더불어 반도체 수요가 증가하나 당사의 매출은 지속적으로 하락함에 따라 **수율 향상을 통한 경쟁력 확보 필요**

국내 인공지능(AI)시장 전망(2020년~2025년)



※ 자료 : IDC(International Data Corporation) 2021

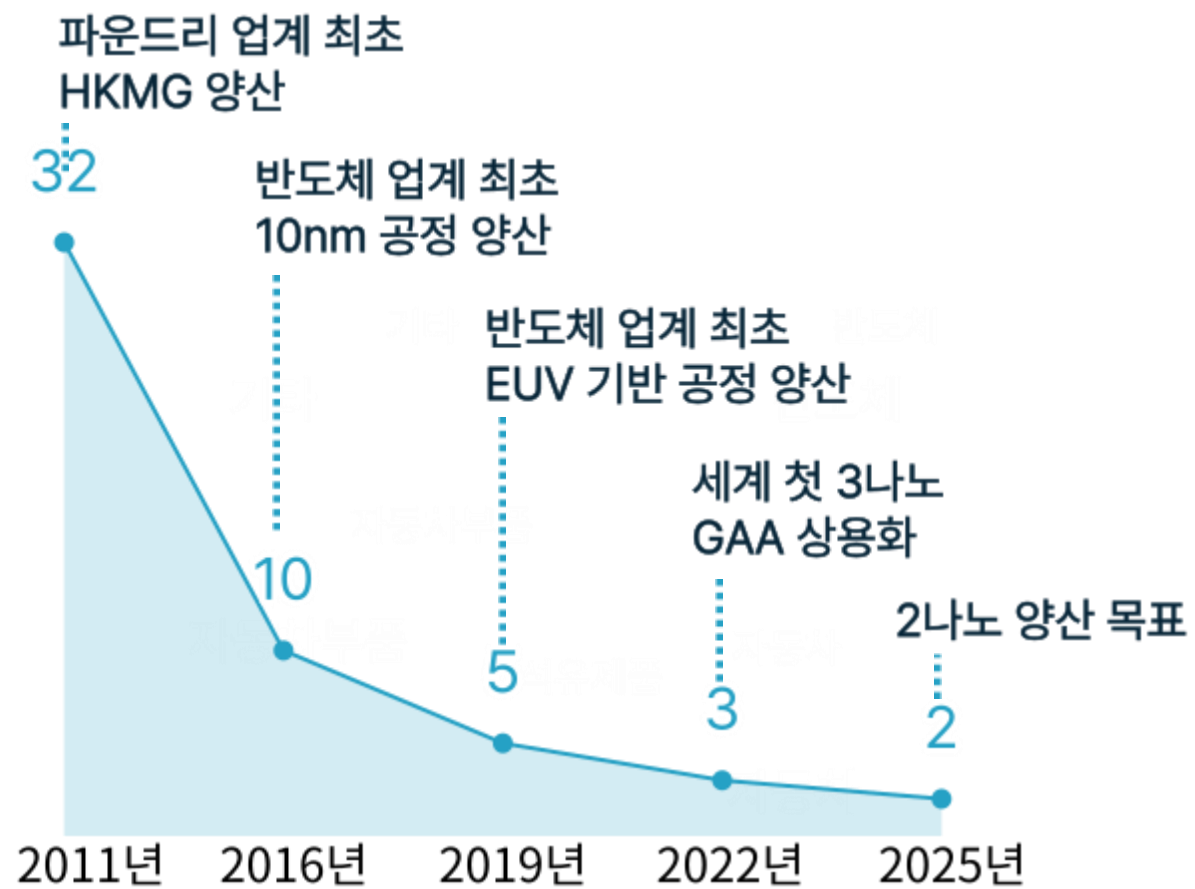
당사의 매출 감소율(%)



## 03 현황

반도체 나노 기술이 지속적으로 발전함에 따라 수요가 증가하는  
고성능 반도체를 생산시키기 위한 **기술 경쟁력 강화활동** 필요

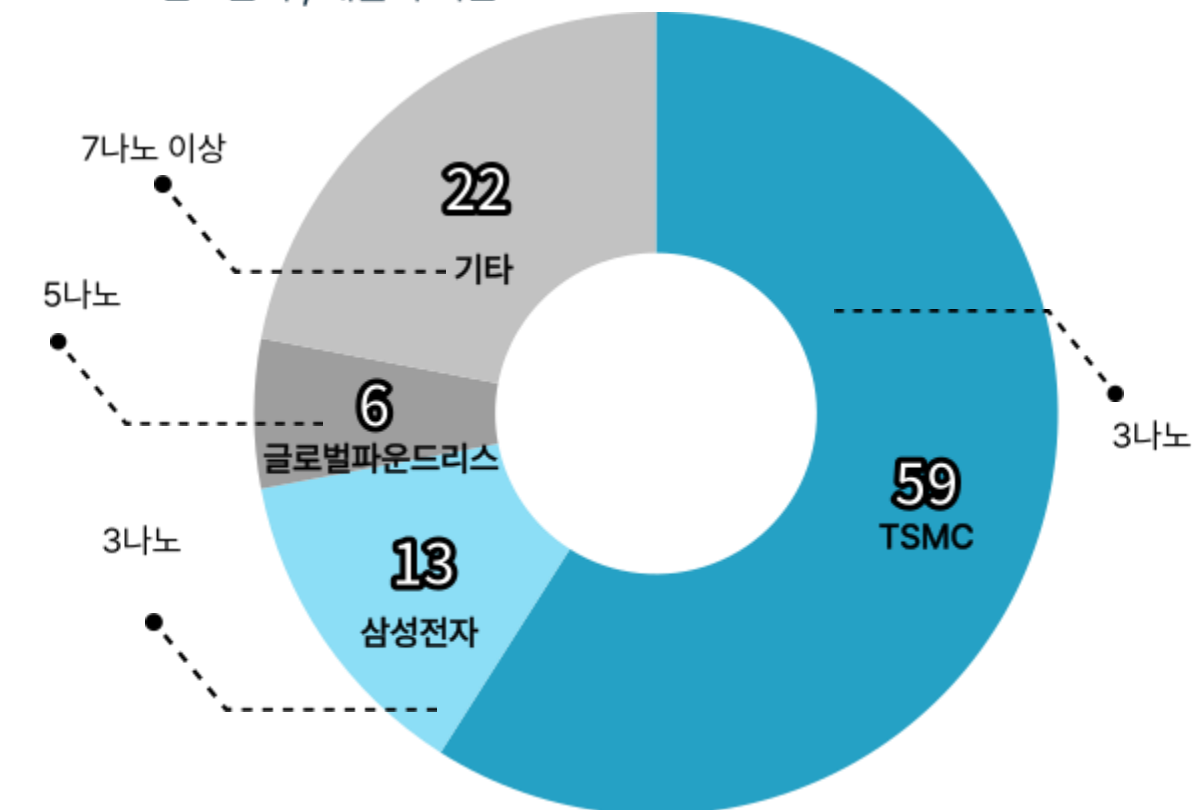
반도체 나노기술 발전(nm)



※ 자료 : 삼성전자

파운드리 시장점유율(%)

※ 2023년 3분기, 매출액 기준



※ 자료 : 카운터포인트

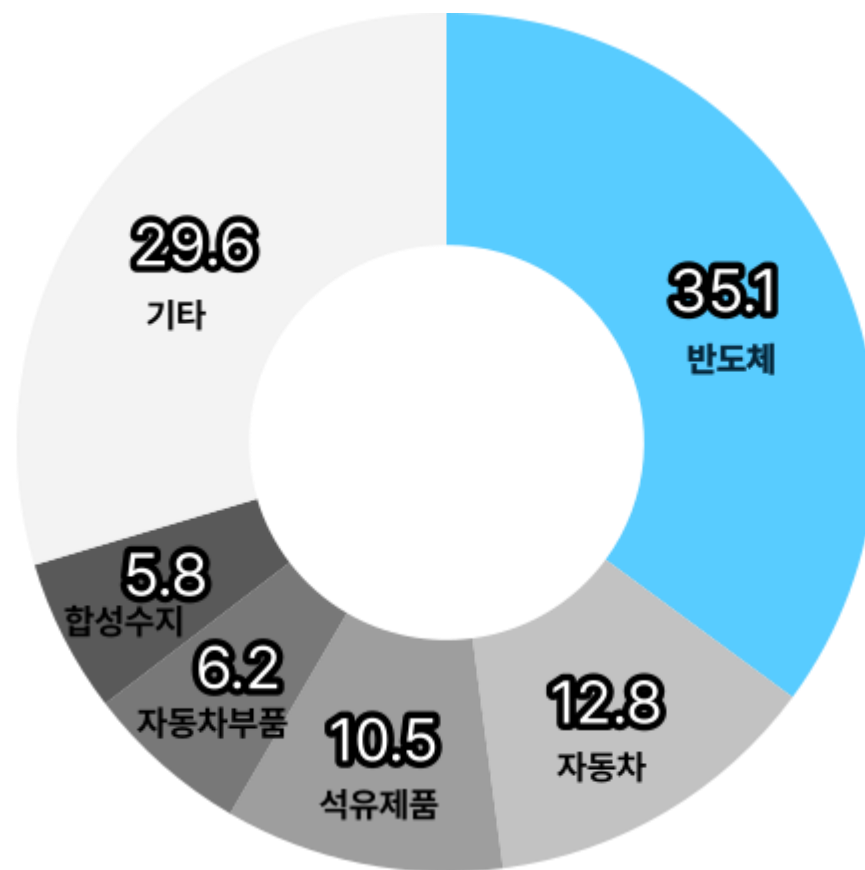
\*HKMG : High-K Metal Gate \*EUV : Extreme Ultraviolet \*GAA : Gate All Around



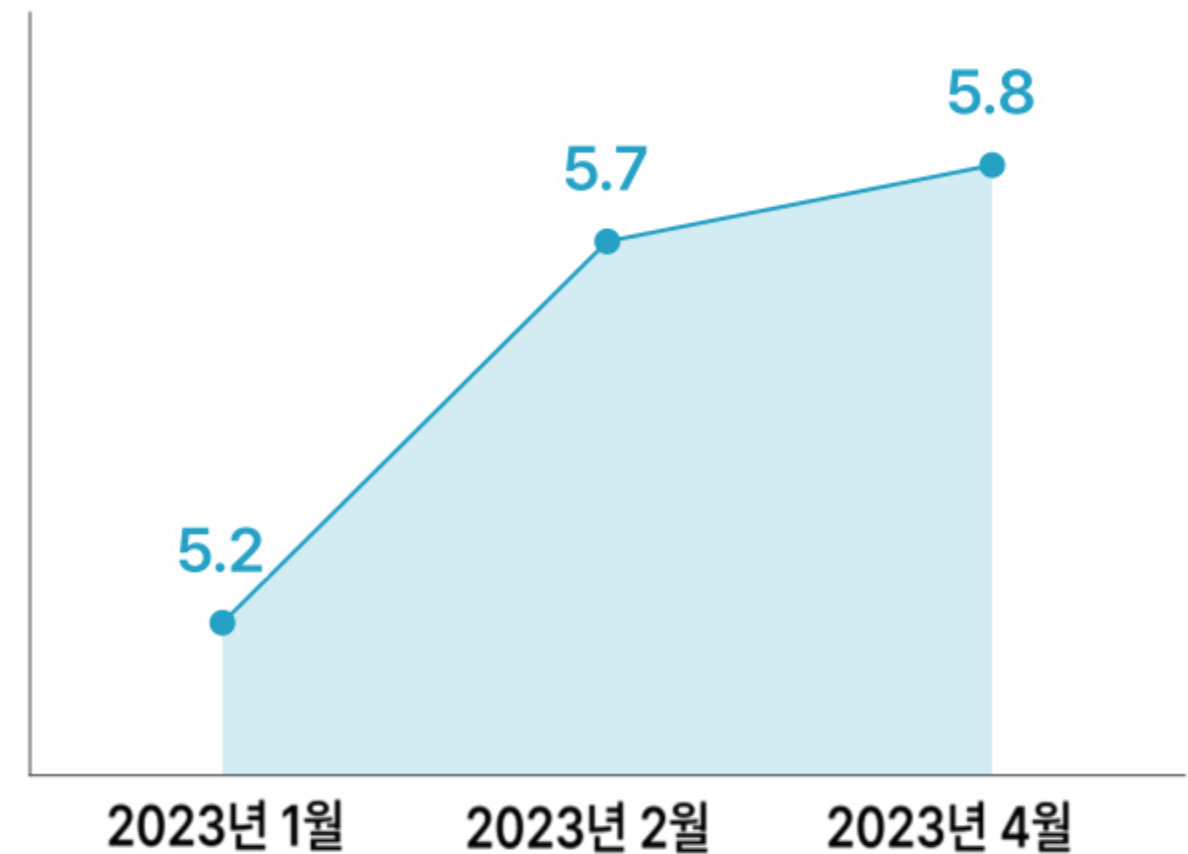
## 03 현황

국내 수출품목 중 반도체가 가장 높은 비율을 차지함에 따라  
당사의 불량률을 줄이고 안정적 공급을 위해 **수율 향상**이 필요

국내 주요 산업의 수출 품목 비중(%)



당사의 불량률 현황(%)



\*출처 : 수출통관자료

# 04 분석계획

## 과제수행목표

측정지표(KPI)	현수준	목표수준		
		'24년	'25년	'26년
불량률(%)	5.12	4.3	3.5	2.7

Pilot test 적용결과 0.8% 감소 예상



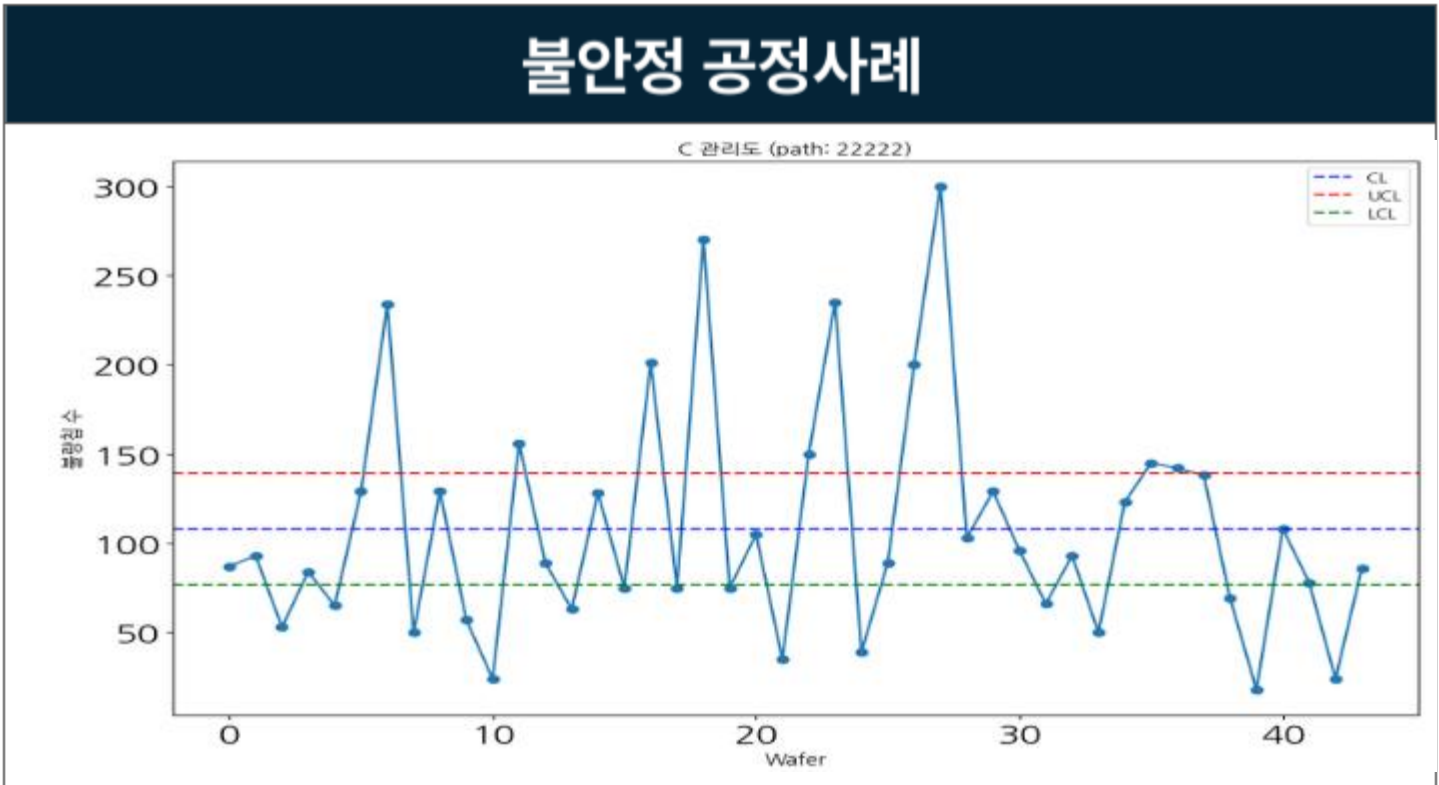
## 04 분석계획

목적	분석방법	주요내용
프로세스 안정성 확인	c관리도	공정 흐름별 프로세스의 안정성 확인
	카이제곱	공정 안정화에 따른 불량률 차이 확인
생산부하별 불량률 차이 확인	카이 제곱	생산 부하에 따른 불량률 차이 확인
공정 운전 조건 최적화	box plot Mann-Whitney U test	불량에 영향을 미치는 운전인자를 선별 box plot을 통해서 최적조건을 도출
최적경로 추천 시스템	-	공정실적데이터를 통해 최대의 효율을 낼 수 있는 경로 추천
불량률 예측 모델	회귀 의사결정나무 다중회귀분석 랜덤포레스트 xgboost	불량률에 영향을 미치는 인자 확인 공정데이터를 통해 반도체 공정 불량률 예측 모델링 평가 지표를 종합적으로 고려하여 가장 높은 모형 선정

# 05 분석결과

프로세스 안정성 확인

불안정 공정의 불량률이 높게 나타남에 따라 **공정의 안정화** 필요



	5.2%	5.4%
구분	안정 공정	불안정 공정
양품 수(개)	261863	378442
불량품 수(개)	14137	21558

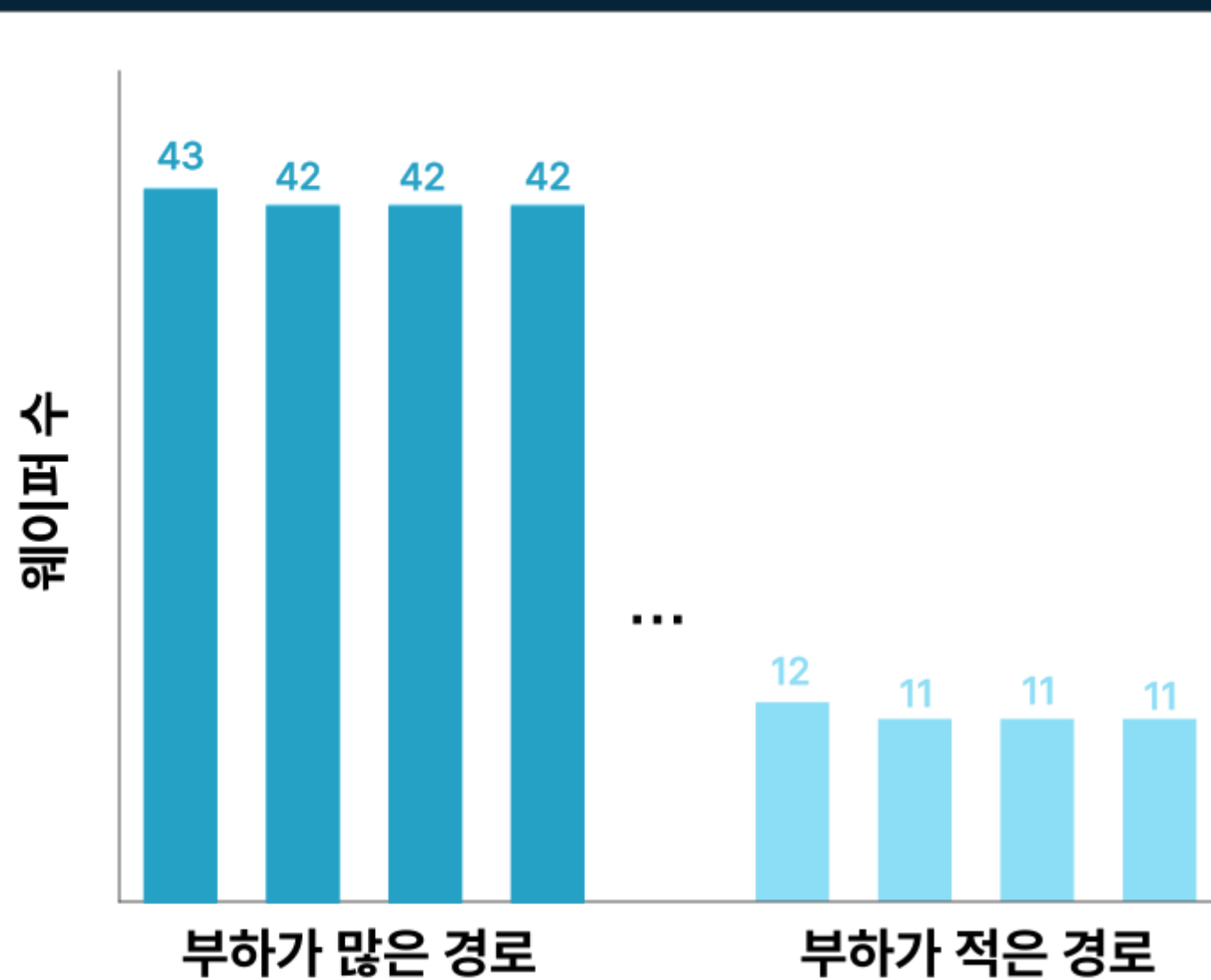
χ <sup>2</sup> 검정결과	
귀무가설 : 공정 안정화에 따른 불량률에 차이가 없다. 대립가설 : 공정 안정화에 따른 불량률에 차이가 있다.	
검정통계량	p_value
23.294	1.390e-06

## 05 분석결과

생산부하별 불량률 차이 확인

생산 부하간에 불량률의 차이에 따라 **적절한 부하 조절** 필요

경로별 웨이퍼 수



공정의 산출

	4.3%	4.1%
구분	부하多	부하少
양품 수(개)	407462	86235
불량품 수(개)	18538	3765

### $\chi^2$ 검정결과

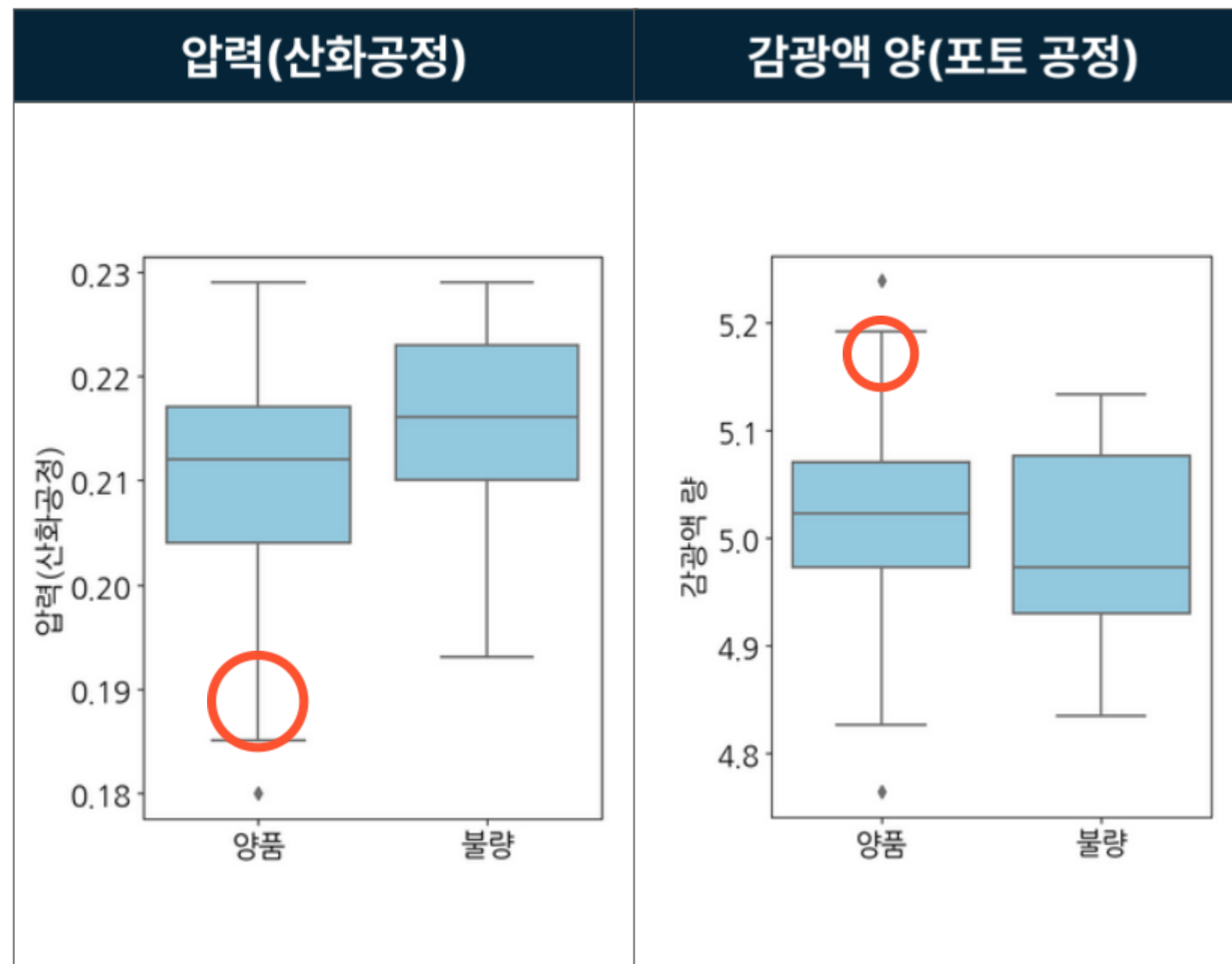
귀무가설 : 생산 부하간의 불량률에 차이가 없다.  
대립가설 : 생산 부하간의 불량률에 차이가 있다.

검정통계량	p_value
5.049	0.024

# 05 분석결과

## 공정 운전 조건 최적화

불량과 양품의 구간에서 유의미한 차이를 보이는 운전인자의  
최적 운전 조건 도출을 통한 공정 안정화 필요



### 맨-휘트니 검정 결과

변수	p_value	변수	p_value
산화공정시 압력	1.508e-06	감광액량	6.436e-05
산화공정시 챔버 내 평균온도	5.570e-06	식각공정시 온도	2.298e-04
softbake시 온도	8.915e-06	이온주입시 챔버 내 온도	5.062e-04
⋮			

### 최적 구간을 선택한 운전인자

- 첫 번째 회전 스피ن 수
- 세 번째 회전 스피ن 수
- 건식식각시 가해지는 에너지
- N2\_산화물 흡착 시 온도
- 산화공정시 합성물의 량
- 열처리작업 시 챔버 내 온도
- 산화공정시 압력
- 산화공정시 챔버 내 평균온도
- softbake시 온도
- 감광액량
- 식각공정시 온도
- 이온주입시 챔버 내 온도



## 05 분석결과

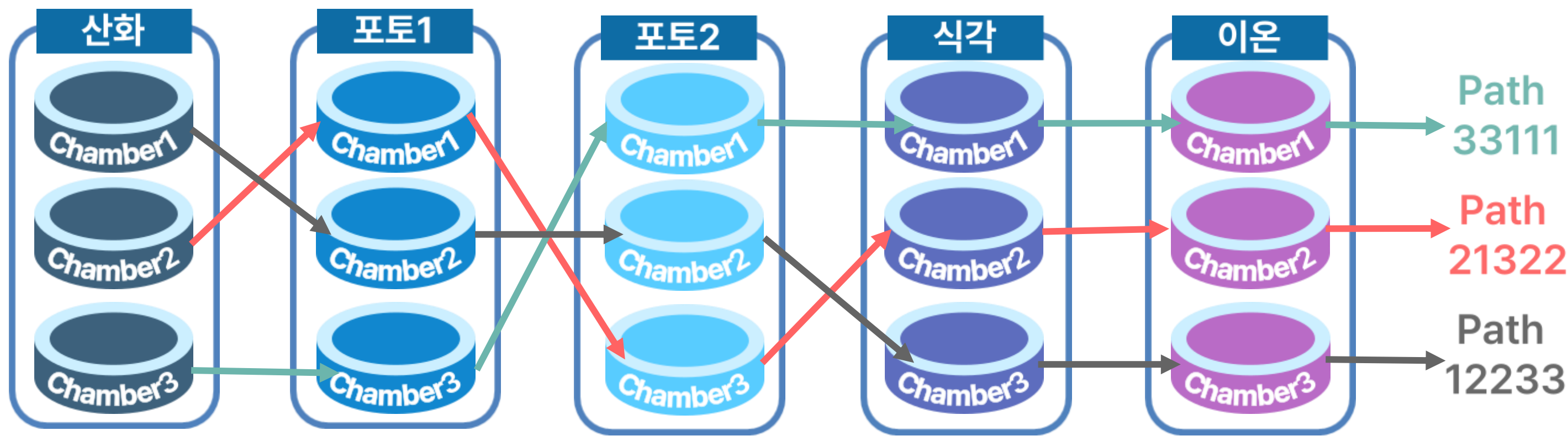
### 최적운전조건 도출 결과

변수명	기존조건	최적조건	변수명	기존조건	최적조건
산화공정시 압력	0.18~0.23	0.18~0.19	첫 번째 회전 스피ن 수	492.20~509.06	492.20~494.00
산화공정시 챔버 내 평균온도	862.01~1348.47	1294.58~ 1348.47	세 번째 회전 스피ن 수	4814.62~5194.13	5172.10~5194.13
Softbake시 온도	86.50~96.65	95.28 ~ 96.65	건식식각시 가해지는 에너지	49.34~53.27	49.34~49.98
감광액량량	4.77~5.24	5.14 ~ 5.24	N2_산화물 흡착시 온도	191.21~209.52	205.30~209.50
식각공정시 온도	68.15~73.08	68.15 ~ 68.92	산화공정시 합성물의 량	21.07~49.91	45.89~49.91
이온주입시 챔버 내 온도	97.74~107.38	97.74 ~ 100.25	급속열처리 작업 시 챔버 내 온도	148.00~162.00	148.00~149.00

# 05 분석결과

## 최적경로 추천 시스템

공정흐름별 불량률의 차이가 발생됨에 따라  
공정 작업 실적을 반영한 최적경로 추천 시스템 운영 필요



구분	동시 투입경로			평균불량
1	12233	21322	33111	0.039
2	11122	23311	32233	0.043
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
216	13322	22133	31211	0.215

# 05 분석결과

## 불량률 예측 모델

최적화 후 20일 동안 감소한 불량칩 27554개  
매년 495972개 X 50,000 = 약 250억원 → 매출 향상을 통해 기업의 이익을 증대

불량률 사전 예측 모델

0.927

0.935

0.327

0.943

0.408

0.974

0.817

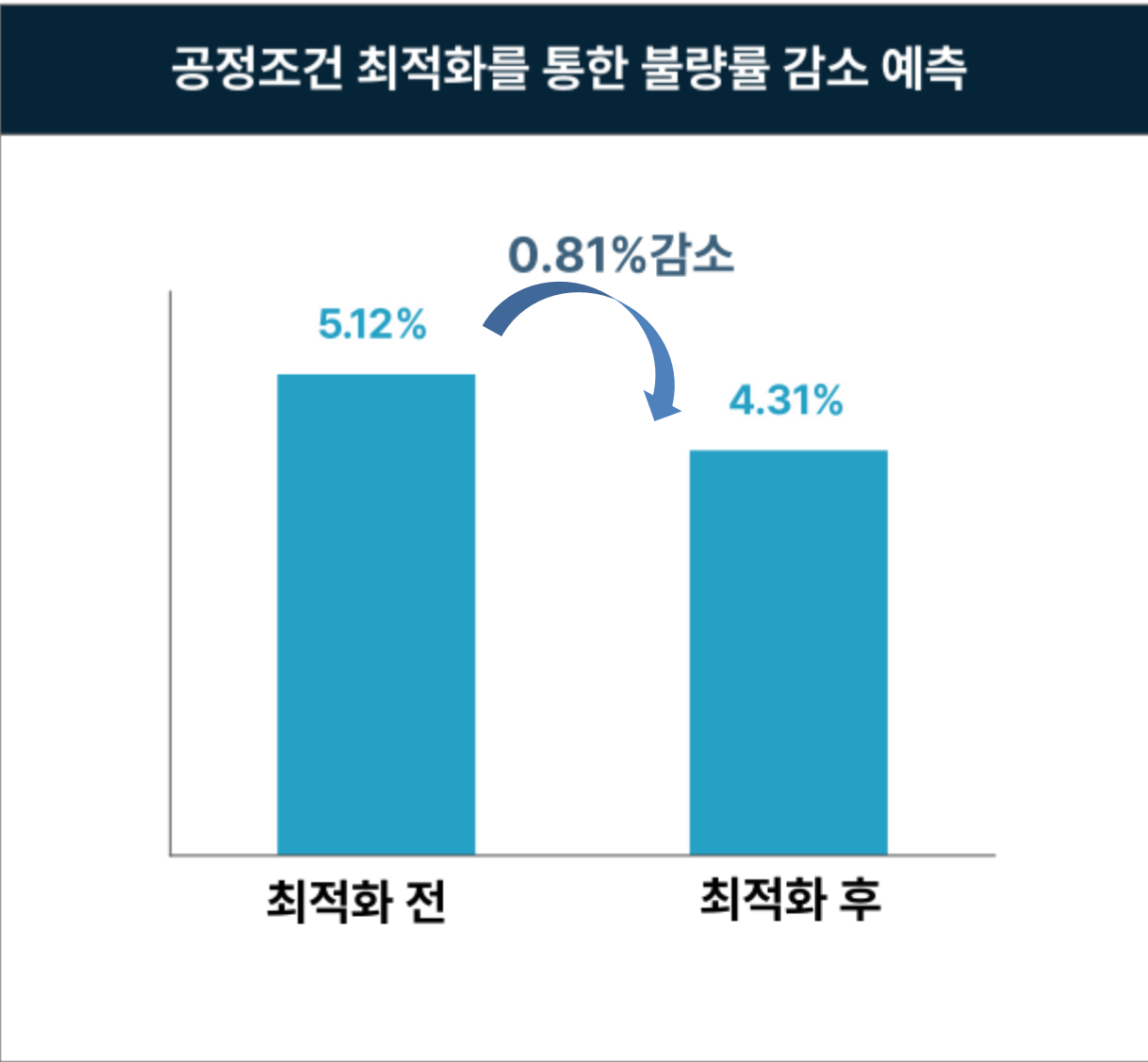
0.967

0.712

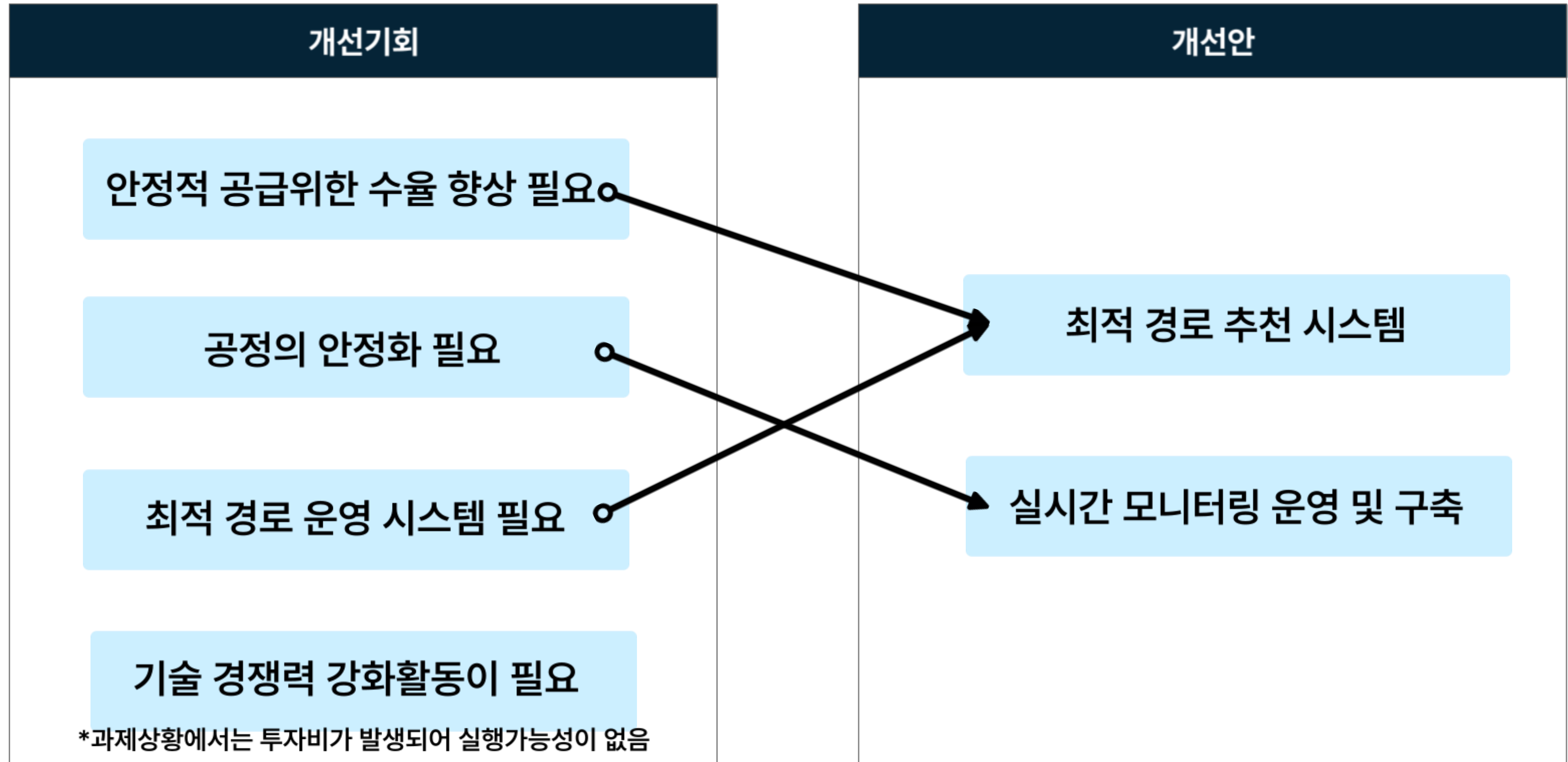
0.97

0.78

구분	로지스틱	DT	RF	GB	XGB	LGB
정확도	0.927	0.935	0.943	0.974	0.967	0.97
F1 Score	0.0	0.327	0.408	0.817	0.712	0.78
정밀도	0.0	0.615	0.769	0.829	0.913	0.82
재현율	0.0	0.222	0.278	0.806	0.583	0.75



## 06 개선안





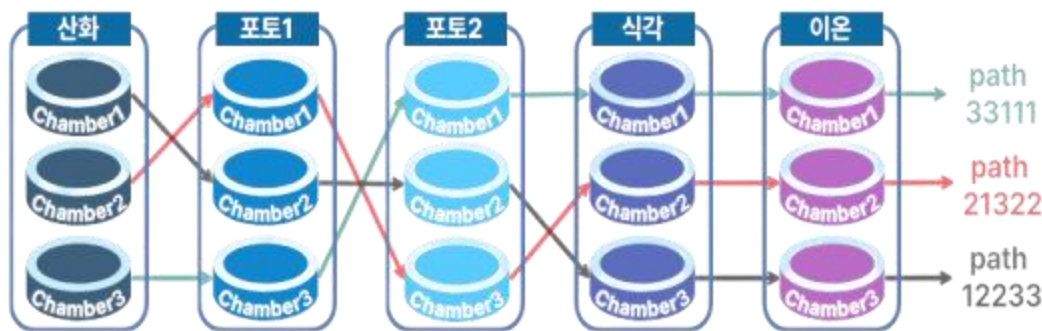
# 06 개선안

## 공정 최적 경로 추천 시스템 구축 및 운영

한 사이클 공정 운전 후, 실적 데이터를 활용하여 최적 경로를 계산하여 다음 사이클 생산 스케줄 추천

### 공정 최적 경로 추천 시스템

#### 1. 공정 데이터 발생



#### 2. 공정 데이터 수집

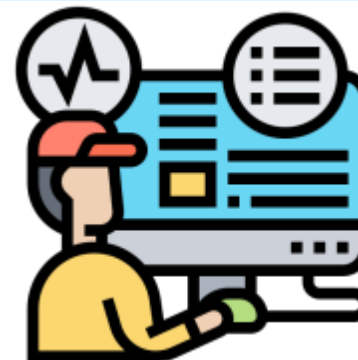


데이터 베이스

#### 3. 평균 불량률 계산

	동시 투입 경로			불량률
1	12233	21322	33111	0.0388
2	11122	23311	32233	0.0434
...	...	...	...	...
215	12322	23111	31233	0.2091
216	13322	22133	31211	0.2146

#### 4. 최적 경로 확인



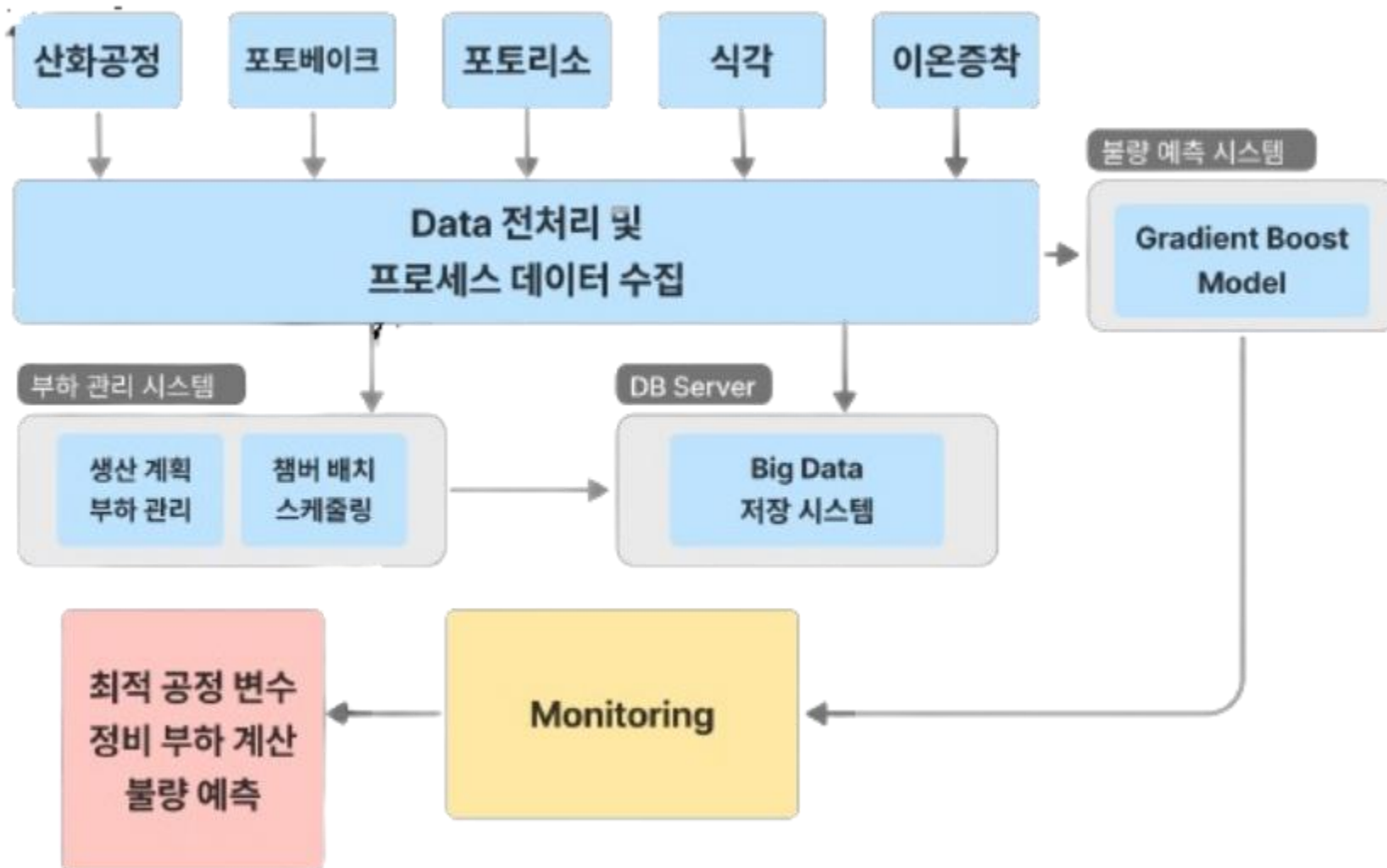
#### 5. 생산 스케줄 반영

	동시 투입 경로			불량률
1	12233	21322	33111	0.0388

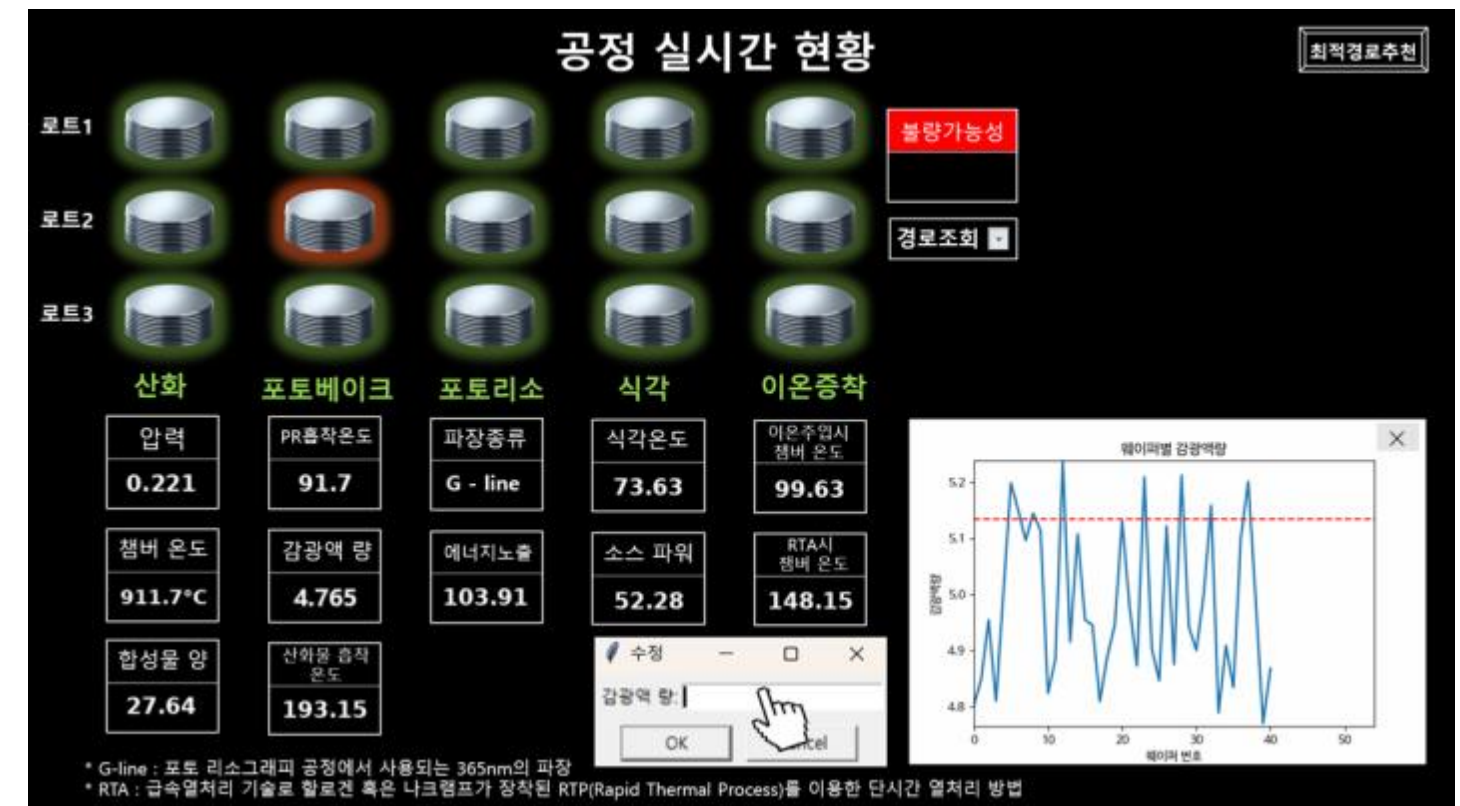
# 06 개선안

## 실시간 모니터링을 통해 공정 운전 조건 확인 및 조절을 통한 공정 운전 최적화

### 실시간 모니터링 시스템 구조도



### 실시간 모니터링 시스템



실시간 측정 센서 활용  
작업 현황 파악



불량 예측 시스템 활용  
지속적인 데이터 업데이트



# 공정 실시간 현황

최적경로추천



불량가능성  
0.5

안정성확인 ☐

산화

포토베이크

포토리소

식각

이온증착

압력

0.19

PR흡착온도

88.92

파장종류

G - line

식각온도

69.09

이온주입시  
챔버 온도

103.1

챔버 온도

992.3°C

감광액 량

4.765

에너지노출

112.24

소스 파워

51.4

RTA시  
챔버 온도

158.74

합성물 양

35.87

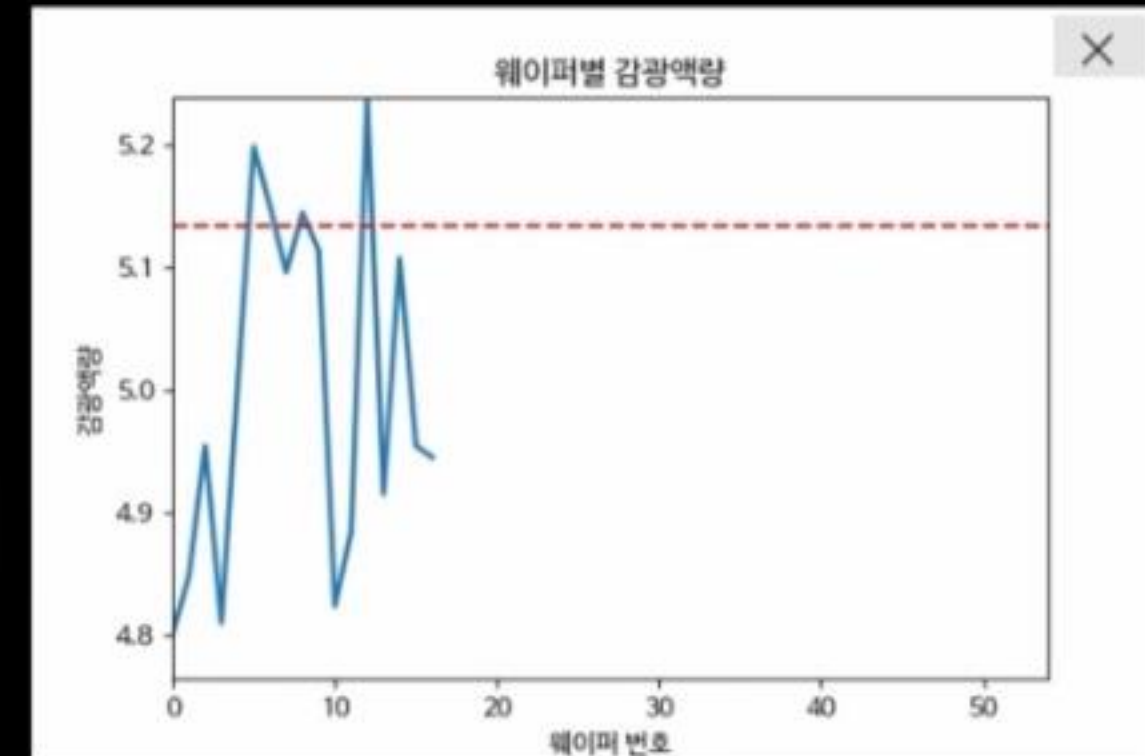
산화물 흡착  
온도

207.18

수정 ☐ ☐ ☐

감광액 량: 5.135

OK Cancel



\* G-line : 포토 리소그래피 공정에서 사용되는 365nm의 파장

\* RTA : 급속열처리 기술로 할로겐 혹은 나크램프가 장착된 RTP(Rapid Thermal Process)를 이용한 단시간 열처리 방법

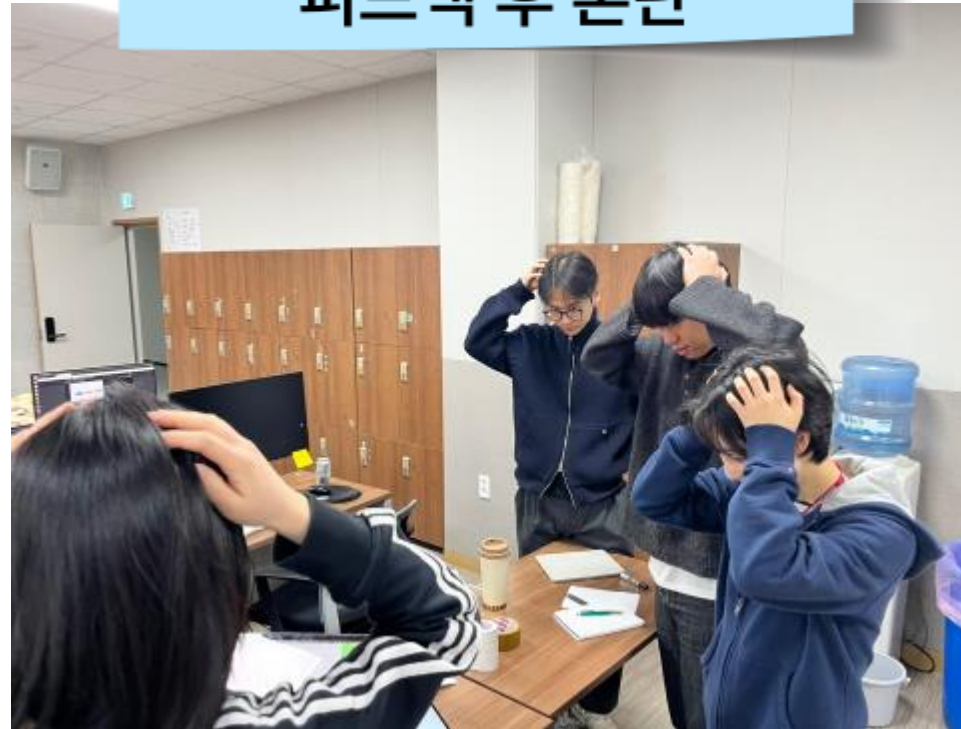


## 07 과제수행모습

갈등발생



피드백 후 혼란



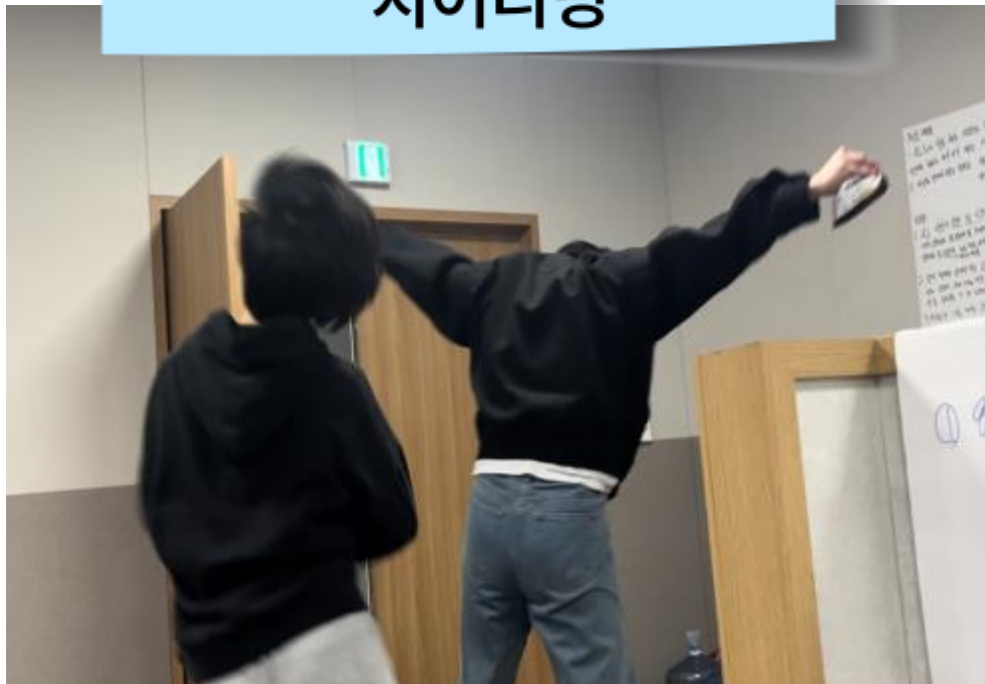
쪽잠



쉬는시간



치어리딩



야식



산책



토론





## 08 소감



조한철

안녕하세요.  
힘이 든 순간이  
많았지만  
당신들과 함께 한  
모든 순간이  
찬란했습니다.



임수환

좋은 팀원들  
덕분에 성공할 수 있었습니  
다. 앞으로도 화이팅!



이광진

팀원들과 진행하는 첫 프  
로젝트 경험이라 걱정이  
많았지만 다들 열심히 참  
여해줘서 좋았습니다.



배소현

매일 밤낮없이 조원들과  
함께 프로젝트를 준비하  
며 가까워지고 좋은 성  
과를 낼 수 있었던 것 같  
아요. B1사랑해♡



정유림

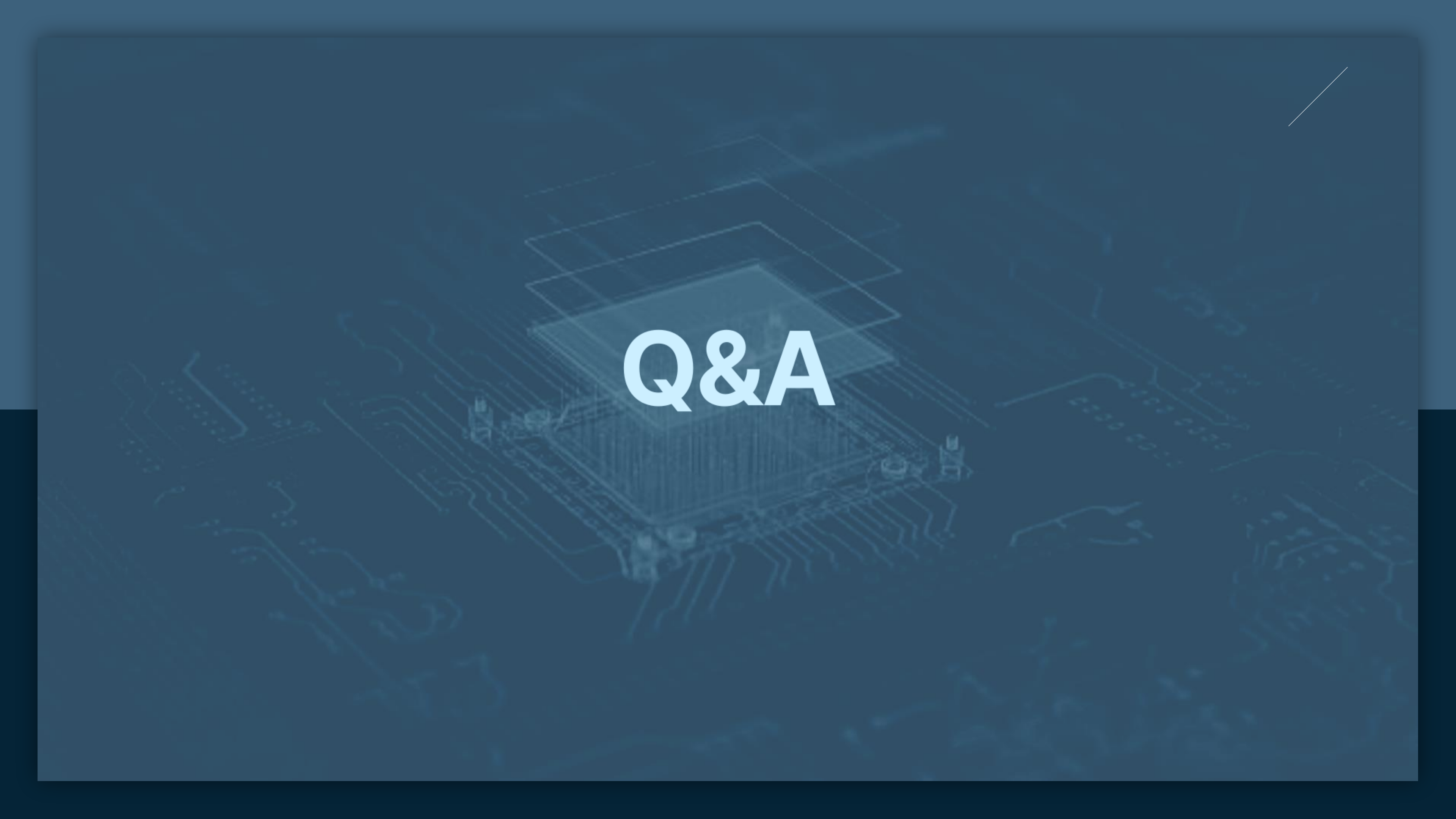
반도체라 도메인 이해가  
어려웠지만 잘맞는 팀원  
들 덕분에 끝까지 해낼  
수 있었던것 같습니다.



권보민

잠이 오는 날들이  
계속되었지만 팀원들과  
늦게까지 프로젝트를 하며  
야식을 먹었던 기억은  
오래 남을 것 같습니다.

~^^~



**Q&A**



감사합니다