

자율주행과 레이더 센서의 이해

■ 김경석 연구위원



- 분야 : 차량통신 (LTE, 5G, BT/WiFi, Radar)
- 학력 : 울산대학교 대학원 전기공학 박사
- 약력 : 현) LG이노텍 연구위원
현) 과기정통부 자율주행분야 기획위원
한국원자력연구소 Post-Doc
울산과학대학교 겸임교수
- 수상 : 2010 CES Innovation Awards
2001 LG Skill Olympic 동상

목 차

M1

자율주행 시장동향

M2

Radar 제품 이해

M3

Radar 제조 공정

미래 모빌리티 메가 트렌드 (CASE) or (ACE) ↳ shared

1 Autonomous driving



운전자 개입없이 스스로 안전하게
주행이 가능한 자율주행 고도화

2 Connectivity



고도화된 연결형 자율주행을 통한
탑승자의 안전 및 교통관리 효과성 극대화

3 Electrification



높은 에너지 효율성 기반 1회 충전으로
최대 주행거리 확보

자율주행 단계 고도화

A 카메라, 레이더, 초음파

고성능 레이더 개인맞춤형 공간 (운전자 > 승객)

C 5G 채용, V2x case 확대

5G-2x
(응용안전구현)

E 환경 규제, 배터리 ↑

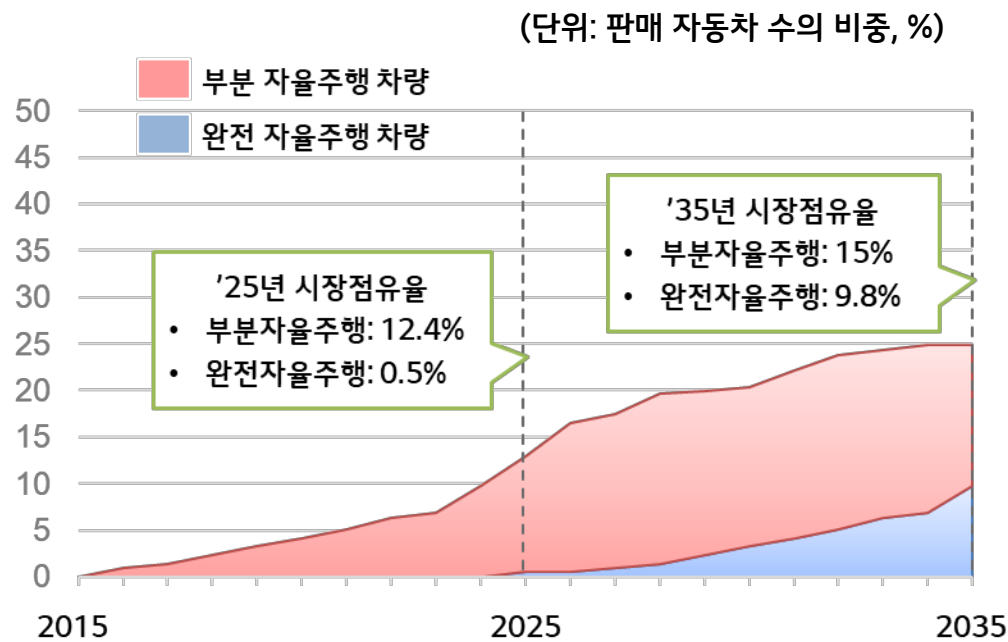


자율주행 단계

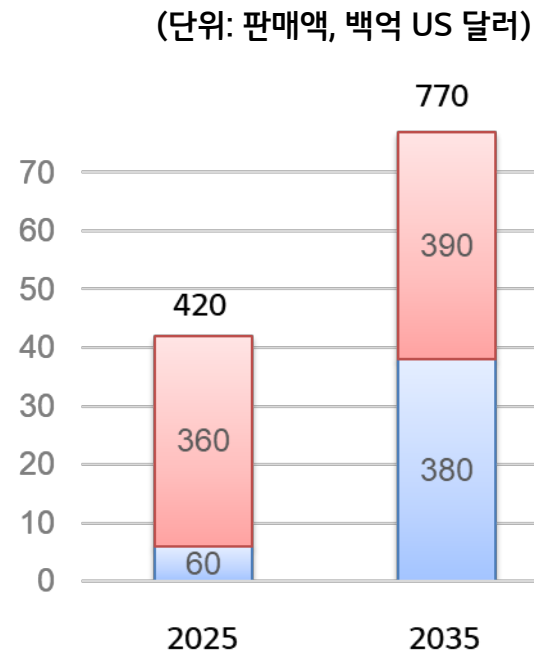


자율주행 자동차 시장 동향

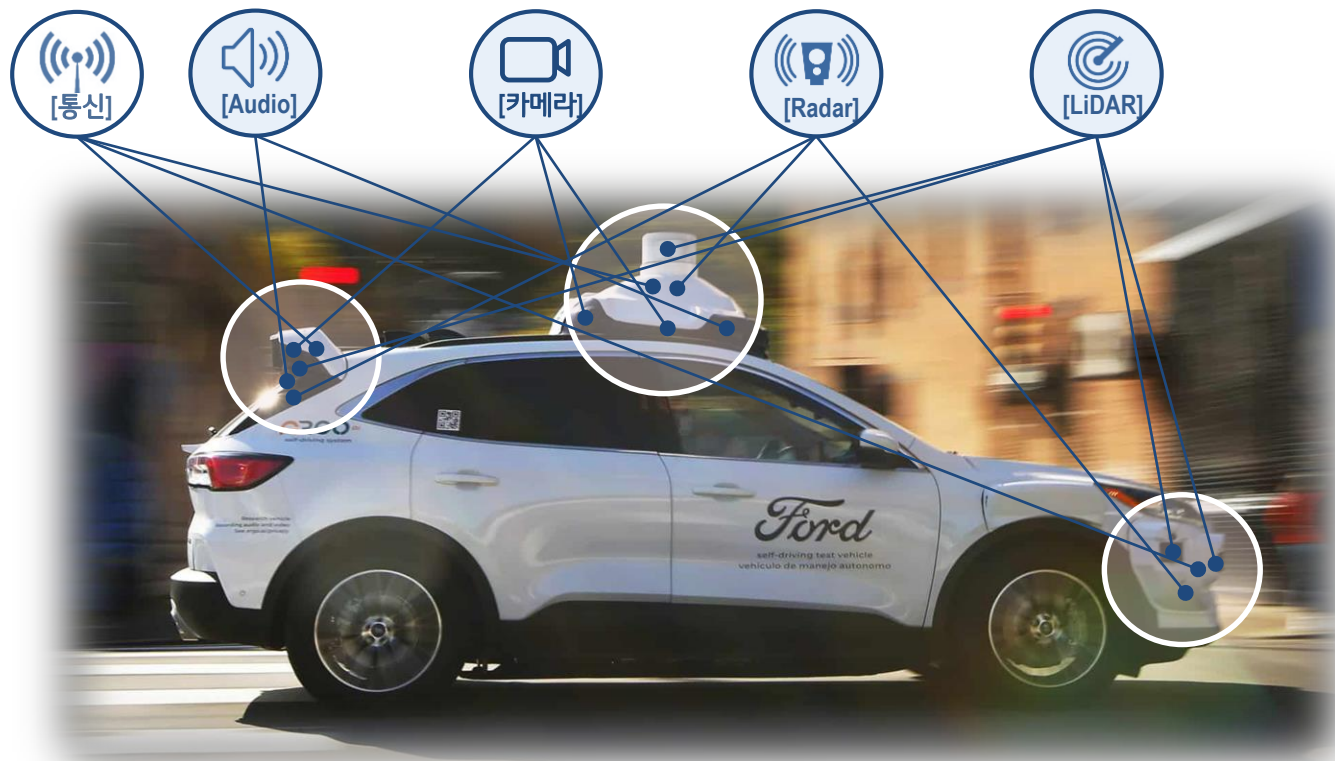
● 판매량 전망



● 시장 규모



자율주행 센서



※ Ford Escape crossover SUVs

1 Camera

- 장거리 및 인식률 개선을 위한 고화소화 / 픽셀 사이즈 소형화 / 저조도 개선
- 고온 동작의 품질 확보를 위한 Lens / Housing 구조 최적화
- 생산에서 Active Alignment와 Calibration 공정 기술 차별화
- 2Mp 상용화 → Lv3) 5Mp ~ 8Mp → Lv4/5) 12Mp ~15Mp

2 Radar

- 고해상도 4D Imaging Radar 구현을 위한 안테나 및 신호처리 S/W 기술 발전
- Perception SW 고도화로 사물의 형상구분 및 상황예측까지 성능 발전
- 생산에서는 평탄도 관리 및 Calibration 및 EOL 공정 기술 고도화
- Lv2/3) ADAS용 3D Radar → Lv4/5) 4D Imaging Radar

3 LiDAR

- ADAS용 LiDAR는 차량신뢰성, 디자인, Cost 우선 순위로 진화
- Lv4/5를 위해 Redundancy를 고려한 Sensor Fusion 핵심부품으로 성장
- M-LiDAR (장거리 200m↑), S-LiDAR (단거리 80m)

자율주행 센서 채용 대수

● LR LiDAR

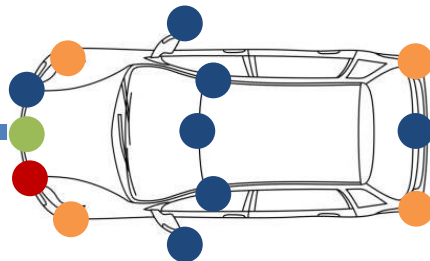
● M / SR LiDAR

● 카메라

● LR-Radar

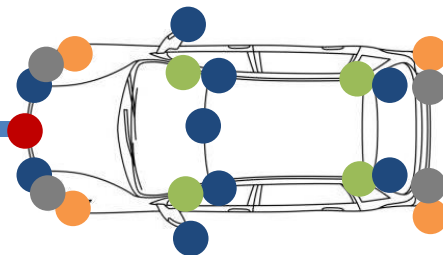
● M / SR Radar

Level 3



- LRL 1ea
- 카메라 7ea
- LRR 1ea
- M / SRR 4ea

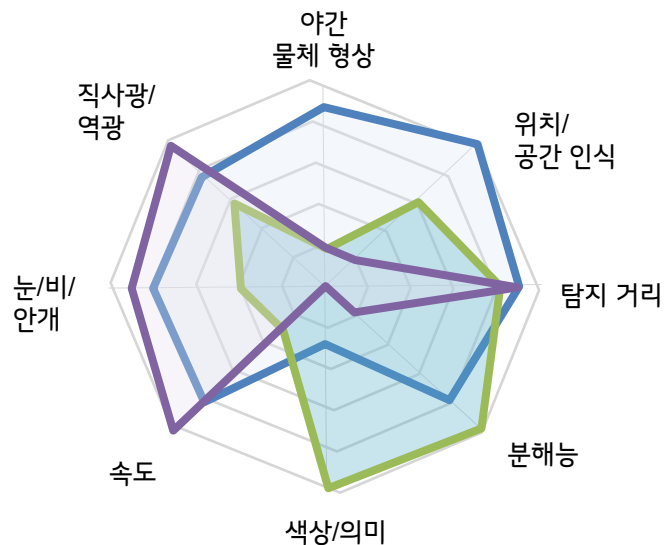
Level 4/5



- LRL 4ea
- M / SRL 4ea
- 카메라 9ea
- LRR 1ea
- M / SRR 4ea

자율주행 센서별 비교

자율주행 Level 2 / 3 기준

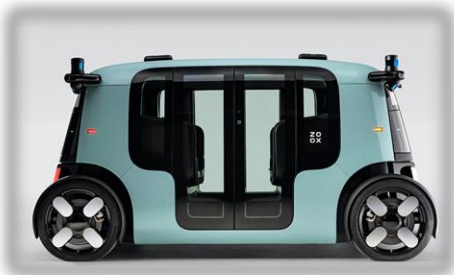


● Radar ● Camera ● LiDAR

구분	감지성능			환경				소비 전력
	탐지 거리	속도	형상 인식	악천 후	야간	색상	공간	
Radar	매우 우수	매우 우수	낮음	매우 우수	매우 우수	취약	취약	우수
카메라	낮음	취약	우수	취약	취약	매우 우수	우수	우수
LiDAR	우수	우수	매우 우수	취약	우수	취약	매우 우수	취약

자율주행 플랫폼 동향

【Zoox】



【Waymo】



【Cruise】



자율주행 레벨	Level 5	Level 3~4 (군집 주행)	Level 5
평균 속도	-	50km/h ↓	-
최고 속도	120km/h ↓	120km/h ↓	50km/h ↓ (운행시간 제한)
센서구성	LiDAR + Radar + Camera + (열영상 카메라)	LiDAR + Radar + Camera + Audio	LiDAR + Radar + Camera

1 Tesla

- 카메라 2D 이미지만으로 실시간 3D 이미지 합성하는 기술
- Edge Case 중심의 서버를 통한 딥러닝과 시뮬레이션으로 정확도 향상
- 카메라(8개)+초음파(12개)

2 엔비디아

- ADAS 시스템(DRIVE AGX Orin)에서 자율주행용 Hyperion 시스템 발전
- 2D 카메라 중심에서 초음파, LiDAR, Radar 병행하는 3D 방식으로 전환
- Hyperion 9 기준 카메라(14개)+초음파(20개)+LiDAR(3개)+Radar(9개)

3 모빌아이

- 자율주행 EyeQ 시리즈 + 인포테인먼트 인텔 Atom C3000 솔루션
- SD맵과 HD맵의 하이브리드 방식인 AV맵(Autonomous Vehicle) 방식
- Level 4 / Level 5 기준 카메라(13개)+Radar(6개)+LiDAR(9개)

- 1 미래 모빌리티 메가 트렌드는 A.C.E 이다
- 2 자율주행단계는 현재 Lv.3, '25년 Lv4, '30년 이후 Lv5 완전자율주행화 예상
- 3 자율주행 완성차는 '35년까지 CAGR 3%, 자율주행 센서는 CAGR 7% 성장 예상
- 4 자율주행 센서는 카메라, 레이더, 라이다, 5G C-V2X 통신, 오디오 등이 필요
- 5 기존 개별 센서 역량의 한계를 극복하기 위해 ^{일체화} 센서 Pod 기술로 발전
- 6 자율주행 솔루션 업체별 Lv4 / Lv5의 상용차 중심의 자율주행을 개발 중

목 차

M1

자율주행 시장동향

M2

Radar 제품 이해

M3

Radar 제조 공정

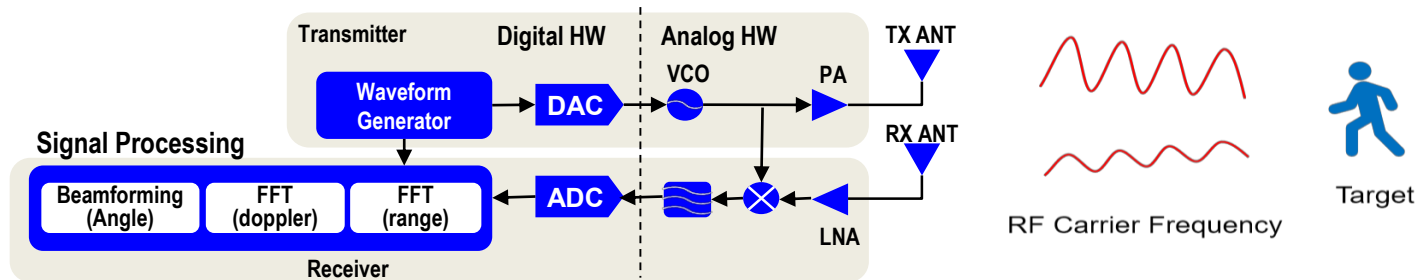
Radar의 이해

cf) 센서 스케어 : 24GB, 60GB

자동차 : 77GB ~ 79GB → ADAS용 레이다 : 차량 앞과 뒤 범퍼에 설치,
차량, 보행자, 도로 인프라를 인식

Radar란?

- Radar는 **R**adio **D**etection **A**nd **R**anging 의 약어이며 Radio Wave를 이용한 사물 감지하는 기술
- 차량 Radar는 차량/보행자/도로 인프라를 인식하여 차량과의 거리, 상대속도, 각도, 높이 등의 정보를 수집



Radar의 이해

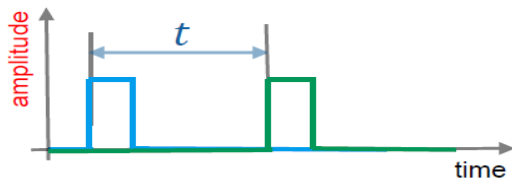
● 거리 측정

Measure the time of flight (ToF) in order to calculate the distance:

$$d = \frac{c_0 t}{2}$$

With c_0 being the speed of light and t the ToF.

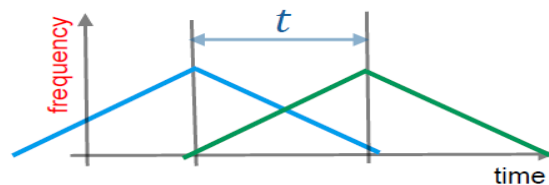
Having a pulsed radar ...



■ Transmitted pulse
■ Received pulse



... and a FMCW radar



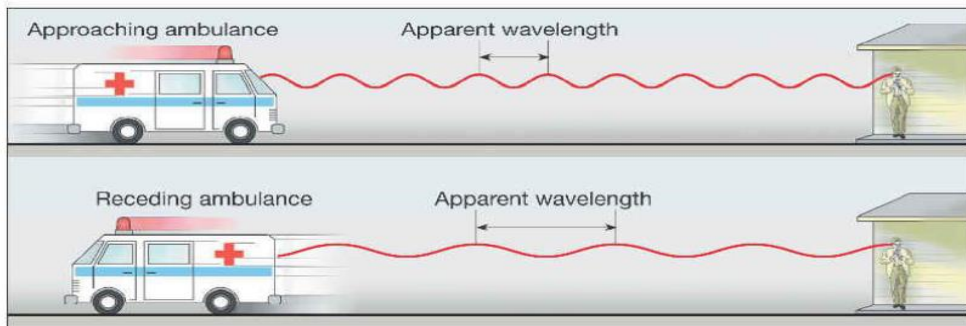
차량용

192개의 신호를 연속적으로 보냄

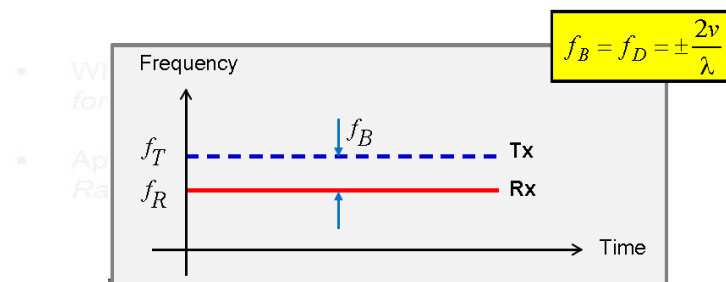
- ① 시간저해 X
- ② 낮은 전력, 복잡성
- ③ 저해

● 속도 측정

Speed – the Doppler Effect



higher frequency



lower frequency

Pulsed Radar – two successive measurements

FMCW Radar – exploit the Doppler shift



$$f_d = \frac{2f_T}{c_0} \cdot v$$

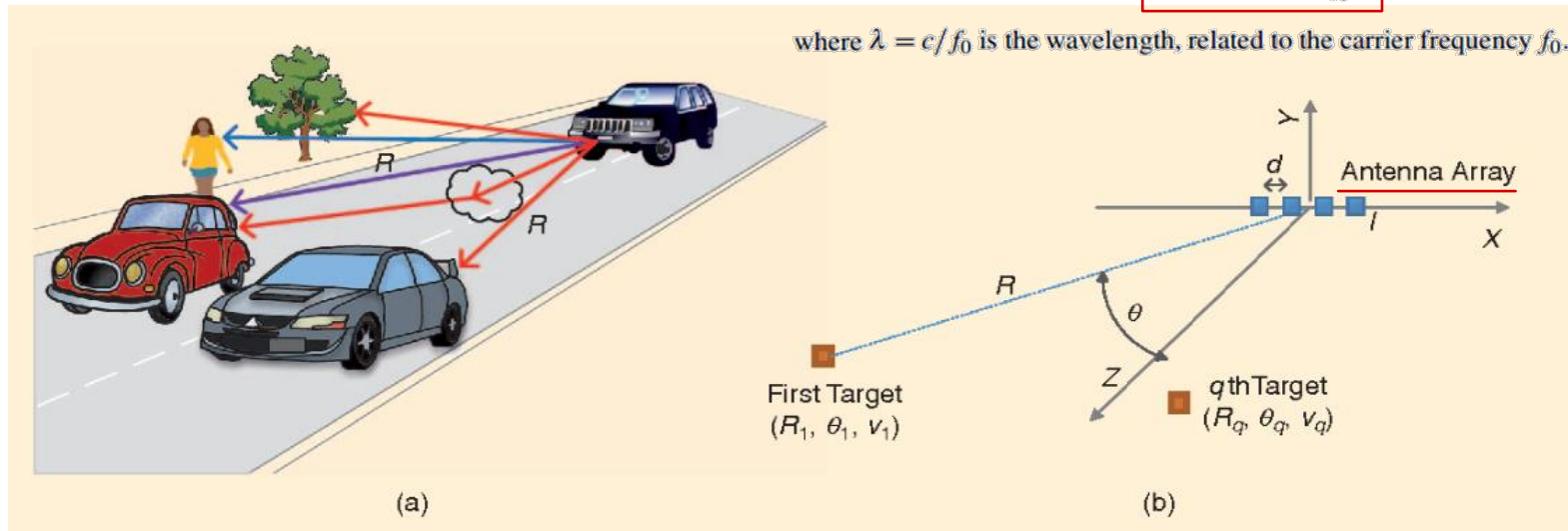
Radar의 이해

cf) main chips의 채널수 = 안테나 Array 수 : ↑ → 각해상도 ↑

각도 측정

$$\Delta\varphi = d \sin(\theta) \frac{2\pi}{\lambda},$$

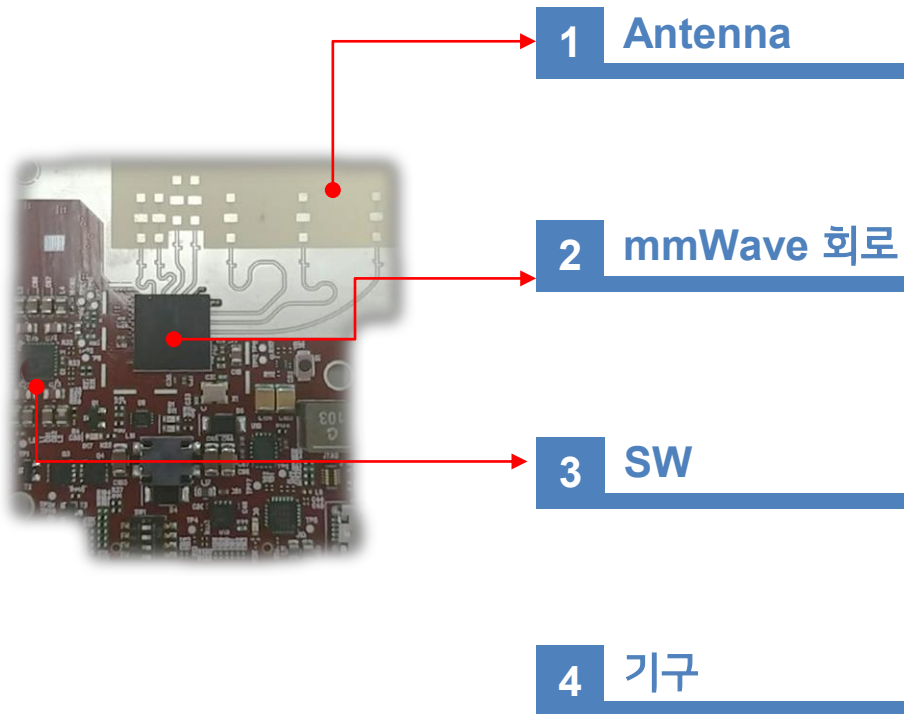
where $\lambda = c/f_0$ is the wavelength, related to the carrier frequency f_0 .



(a) Reflection from different targets

(b) angle estimation from array antenna

Radar 필요 기술



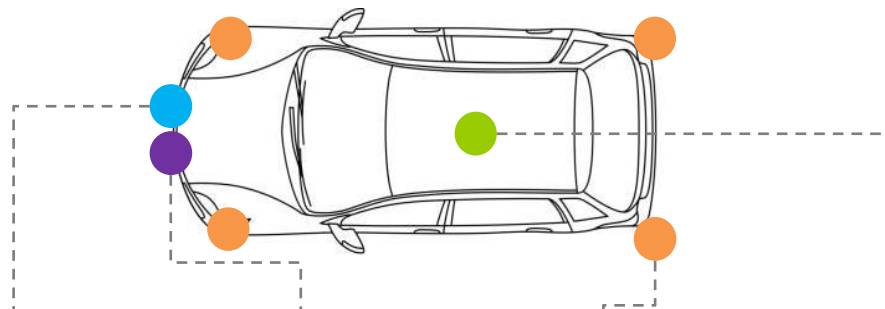
- High Gain / 광각 / 고해상도
- Peak Gain / 방사 패턴 최적화
- Array 안테나 설계

- 저손실 / EMC 최소화 설계
- Main IC 기반 플랫폼 설계
- Transition 최소화 및 RF 매칭

- System SW
- Radar 신호처리 (High SNR / 고해상도)
- Perception 알고리즘

- Radome 전파 투과율 최적화
- 고신뢰성 및 방수/방진/방열 설계
- Simulation (HFSS, ANSYS)

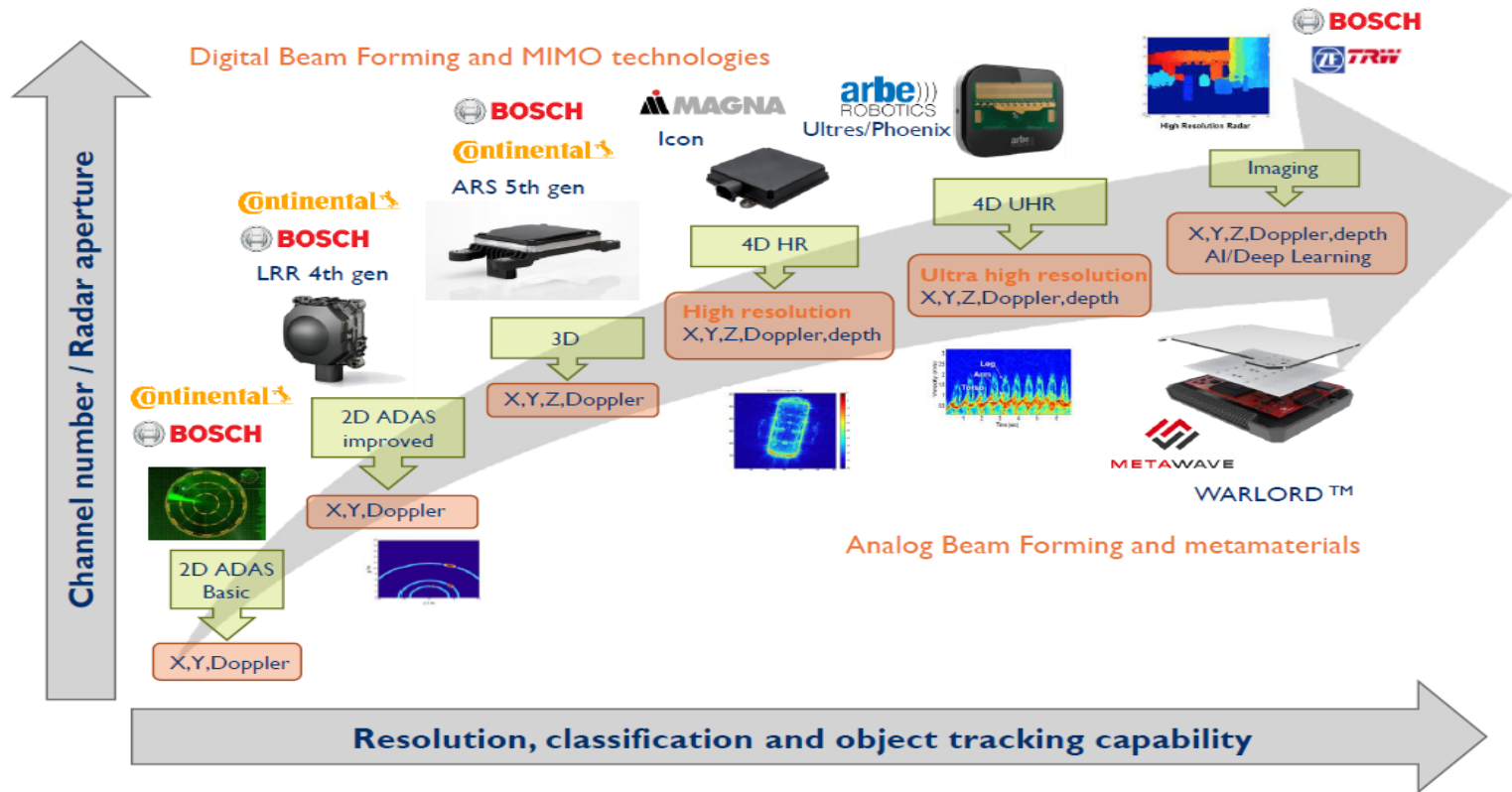
자율주행 Level 2 / 3 기준



Radar 종류	● LRR ¹⁾	● MRR ²⁾	● SRR ³⁾	● In-Cabin
감지거리	250m ~	~ 180m	~ 60m	~ 10m
FOV	20~30°	40~90°	약 150°	약 120°
사용 주파수	77GHz	77GHz	77/79GHz	60GHz
Application	ACC	AEB / PD / FCW	BSD / PA / CTA / TJA	SBR / CPD

1) Long Range Radar 2) Mid Range Radar 3) Short Range Radar

Radar 기술 동향

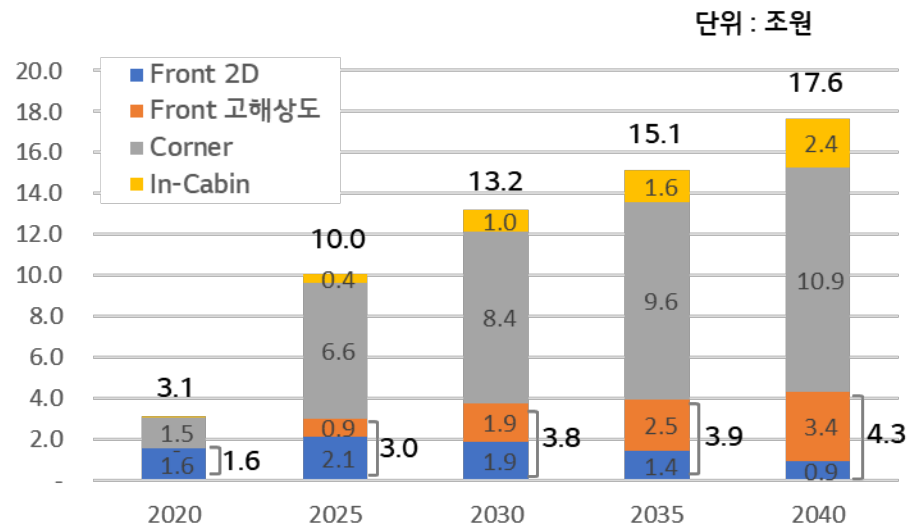


Radar 칩셋

주파수 (GHz)	Chipset Vendor	감지 거리 (m)	B.W	Resolutions		FoV	소모 전력	주요 응용 분야					
				거리	각도			보안	조명	가전	차량	바이오	로봇
UWB (6~8)	 XETHRU <small>BY NOVELDA</small>	10 ~15	2GHz	75 mm	10°	90 ~110°	3~5 W (Module)	○	△	△	-	◎	○
10	-	25 ~30	25Mhz	6m	NA	90 ~110°	5 mW (Module)	◎	◎	△	-	△	△
24	  	10 ~20	250Mhz	1m	NA	110°	155 mW (FEM)	◎	◎	△	◎	○	△
60	      	10 ~15	7GHz	21 mm	10°	80 ~90°	1~5 mW (FEM)	◎	○	◎	◎	○	◎
77	     	150 ~200	1GHz	1 m	±2°	±5°	500 mW (FEM)	-	-	-	◎	-	-
79		30 ~60	4GHz	75 mm	10°	80 ~90°	500 mW (FEM)	-	-	-	◎	-	-
120		~3m	1GHz	150mm	-	-	-	-	-	○	-	◎	△
140		~2m	10GHz	15mm	1.5	-	500mW	-	-	-	○	◎	△

Radar 시장 동향

□ 시장 규모



- 차량 제어를 위해 AEB 기능 채용 확대
 - 일본 `20년 / EU `22년 이후 신차 AEB 의무 장착
 - 북미 `22년 부터 OEM의 신차 AEB 장착 합의
- Front Radar의 고해상도化로 채용률 성장
- Corner Radar의 Low Cost 化
 - 차량당 4개 이상 적용되어 360도 서라운드 센싱
- 안전과 편의 기능으로 강화를 위한 In-Cabin용 신규 Application 개화

Summary

- 1 Radar 이해에서 거리, 속도, 각도 측정 방법
- 2 Radar 필요기술은 안테나, mmWave 회로, SW, 기구, PCB, 공정설계
- 3 Radar 종류는 SRR, MRR, LRR이고 향후 4D Imaging Radar로 고도화
- 4 차량용 Radar는 Infineon, TI, NXP가 주로 사용

목 차

M1

자율주행 시장동향

M2

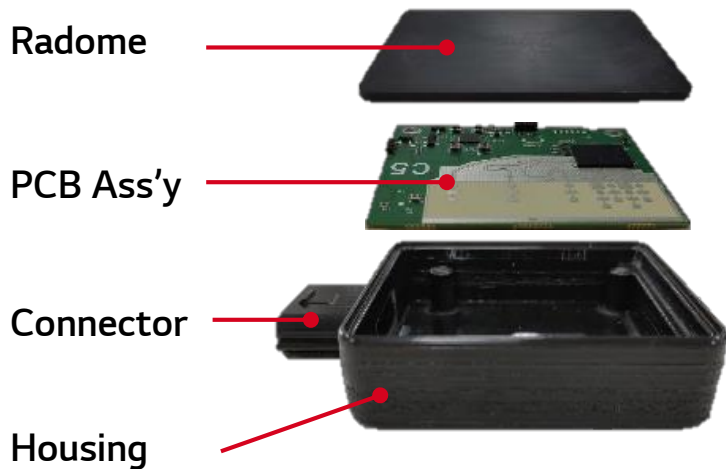
Radar 제품 이해

M3

Radar 제조 공정

Radar 제품 소개

● In-Cabin Radar → RoA : 후석 승객 탑승 확인



Items		LGIT
Operating Frequency		60GHz
Modulation		FMCW
Range		Max. 3m
FOV	Azimuth	104°
	Elevation	41°
Angle Resolution	Azimuth	8.3°
	Elevation	-
Antenna Gain	Single	10.2 dBi
	Array	14.6 dBi
Size		45 x 50mm
Operating Voltage		9V ~ 16V

Radar 제품 소개

In-Cabin Radar

ROA (Rear Occupant Alert)

NO Infant Occupied

SBR (Seat Belt Reminder)

SBR mode

Radar 제품 소개

MRR30 Radar

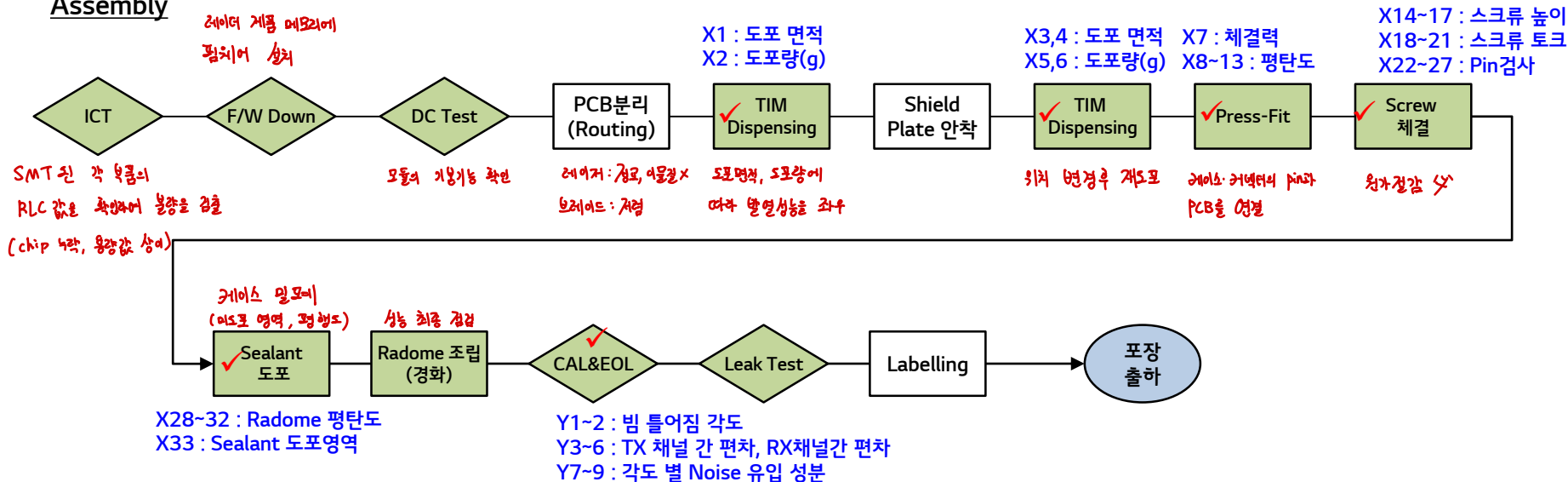


Items		LGIT
Operating Frequency		77GHz
Modulation		FMCW
Range		Max. 180m
Range Resolution		5m
FOV	Azimuth	20°
	Elevation	-
Angle Resolution	Azimuth	7°
	Elevation	-
Speed		~ 180 kph
Speed Resolution		5 kph
Size		72 x 82mm

Process Flow

✓ 가인자 공정

Assembly



TIM DISPENSING . 열분산 → 열

• 전알를 → 가격

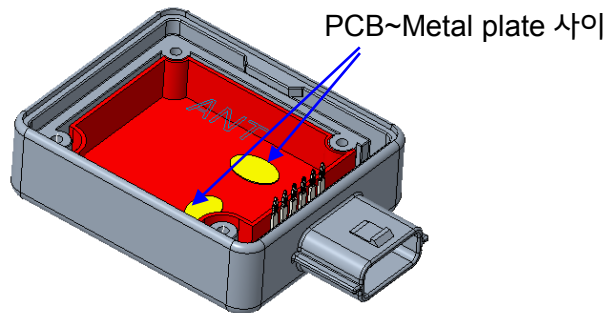
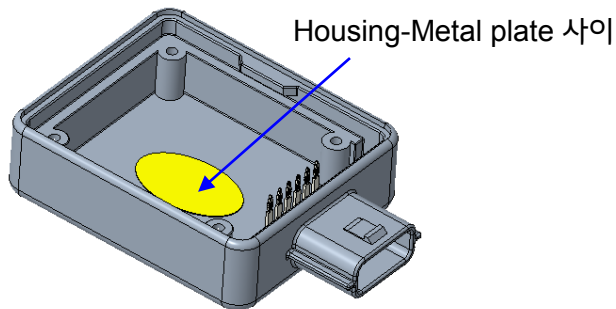
항목	관리 항목	관리 방안
Pin 검사	• 수평/수직 높이 측정(mm)	• Pin 휨 상태 확인 안착 (Error proof)
도포량	• Housing-Metal plate 사이 도포량 (g) • PCB~Metal plate 사이 도포량 (g)	• 도포 형상 OK/NG SPL 일상점검 + 넓이
기타	• Main Air 압력 / 노즐 및 이물 점검 • Base plate 안착 (Error proof) • 도포 형상 및 넓이 확인 (Vision)	• TIM Lot 변경 시 설비 교체 또는 세척

도포 : 제품높이

분포 : 평탄도

기화 : PCB 오염

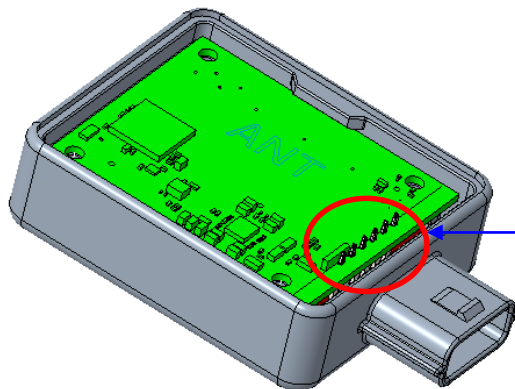
형상



PRESS FIT

항목	관리규격	관리방안
압입력	• PCB 체결시 하중 압력 (Kgf)	• PCB Hole Min./Max. 고려한 공차 적용
PIN 높이	• 수직 높이 측정 (mm)	• 3D Laser 변위센서로 단자 높이 검사
기타	• Servo Press 거리	• 거리 구간별 압입력 관리 (Graph)

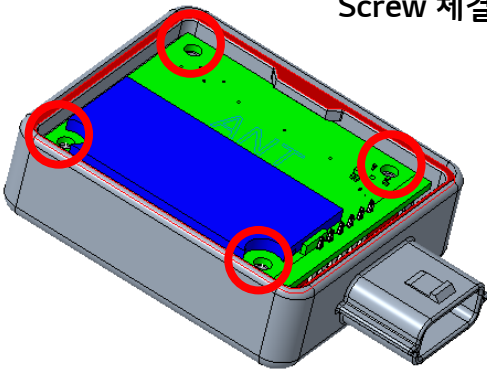
형상



PRESS FIT

• 평행X → 휨 → 평탄도

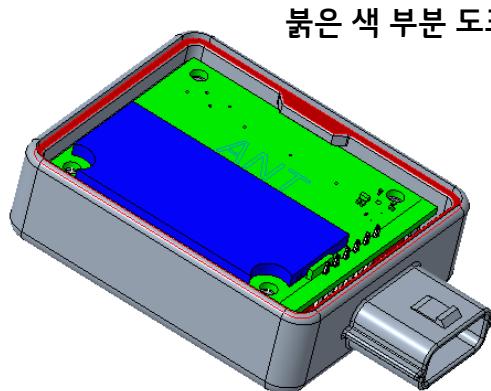
Screw 체결

항목	관리규격	관리방안
Torque	• Screw 체결 Torque (kgf.cm)	• Torque Tester로 주기적 확인 일정한 압력
Screw 높이	• 수직 높이 측정 (mm)	• LVDT 이용 Screw 높이 검사 동시 진행 4각 높이 곡률변위를 감지하여 평판
PCB 평탄도	• PCB 높이 측정	• 3D Laser scan (5 점 Max.-Min. 값)
형상	<p>Screw 체결 후 PCB 평탄도 측정</p> 	

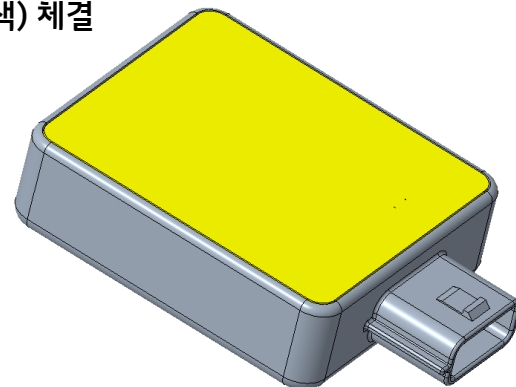
Radome Assembly

항목	관리규격	관리방안
도포량	• 실란트 도포량 (g)	• 무게 검증 일상점검 공급 확인
압착시간	• Radome 접합 시간(sec)	• 커버 안착 시 누름
* 평행도	• Radome 높이 측정 (mm)	• Vision 검사 (<u>4점</u> 높이 Max.-Min.)

형상



붉은 색 부분 도포 후 Radome cover(노란색) 체결



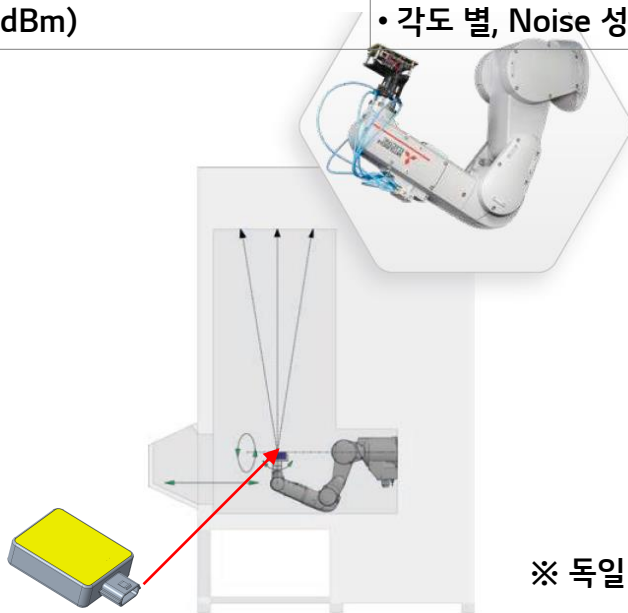
Calibration & Test : RF 성능 편차 보정 → 시험 → 저장

불량 → 포기

신호코기, 방사 패턴, 국가 규제

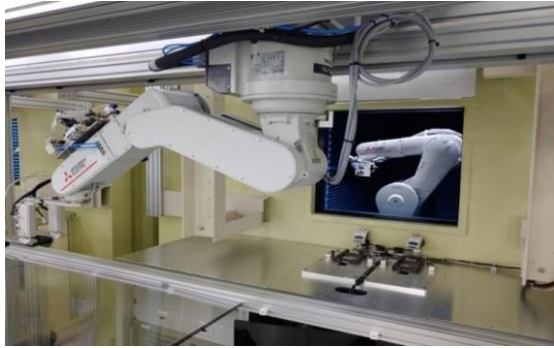
항목	관리규격	관리방안
안테나 패턴	• Squint Angle (degree)	• 각 안테나 별 수평/수직 패턴 틀어짐
TX Gain	• Tx 1 / 2 / 3 Gain (dB)	• 동작 범위 내에서 각도 별, TX 안테나 별 편차 보정
RX Gain	• Rx 1 / 2 / 3 / 4 Gain (dB)	• 동작 범위 내에서 각도 별, RX 안테나 별 편차 보정
Noise	• Noise Level (dBm)	• 각도 별, Noise 성분 확인

형상



※ 독일 Noffz 사의 무반사 챔버 예시

Calibration & Test



- Load Sample to Radar Test process
- Calibrate Radar module in **Calibration Chamber**
- Write Calibration Value into the Module
- Measure Radar Signal in **Active Test Chamber**
 - Test system check if radar signal is detected by each distance and angle.
- Unload Sample to Outside Chamber

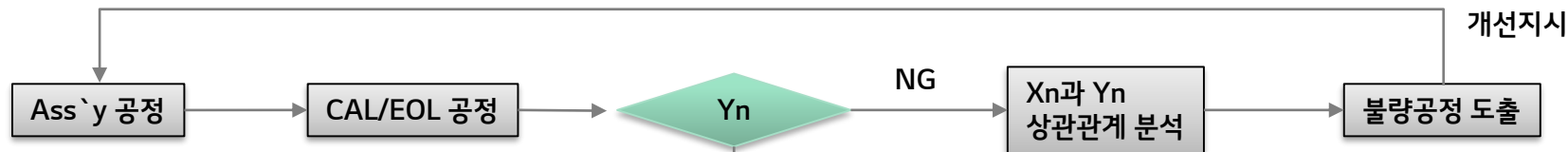
Cal 공정 불량 자동분석 시스템

- X와 Y의 관계
 - 서로의 불량·이상시 원인이 되는 공정을 개선
- 최 작업 시간 단축, 최 불량을 관리. 대처

Data수집 단계

수출 모니터링 단계

불량 분석 단계



Xn (18 공정)

Yn (1727 항목)

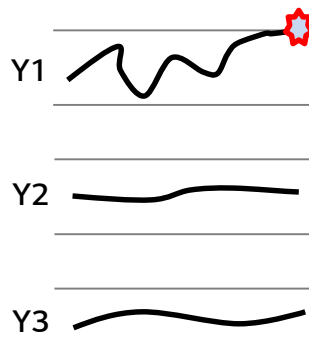
양품

$$Y_n = aX_b + cX_d.$$

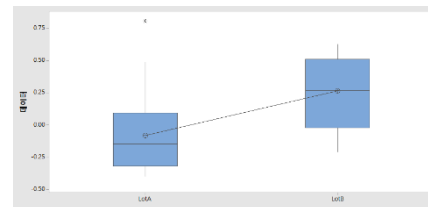
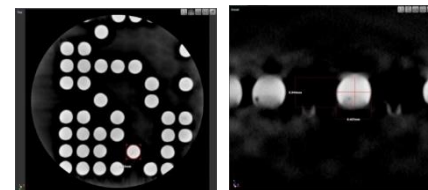
X1 : PCB 평탄도 점검
X2 : Solder Volume 점검

X1 : PCB 평탄도
X2 : Solder Volume
X3 : Press Fit 압력
X4 : Screw 체결 Torque
X5 : Sealant 도포 영역
X6 : Radome 평탄도
X7 : TIM 도포량

Y1 : Tx Ch. 편차
Y2 : Rx Ch. 편차
Y3 : Squint Angle
Y4 : Tx Power
Y5 : Ch. Noise
Y6 : Tre Spec
Y7 : 수평도 보정 오차

 X_n
$$Y_n$$


Inno DW
MES 시스템



Summary

- 1 LG이노텍 Radar 제품 소개
- 2 Radar 수율에 영향을 미치 가인자 공정
- 3 Cal 공정 불량 자동분석 시스템 이해 (헤커톤 과제 연계)

감사합니다