

---

MLP 2022-2 by Y. K. Kim

2022.07.28

# Analysis of LiDAR Characteristics for Human Detection in Robot Process

한동대학교 기계제어공학부

21600502 SungJoo Lee

21700421 ChangMin An

# Contents

1. Introduction
2. Specification
3. Simulation Environment
4. Numerical Analysis
5. Discussion
6. Conclusion
7. Reference

## ■ Problem

- 공정 자동화 중 사람이 있는 경우 안전사고 발생
- 공장 입구에 사람 인식 센서가 있지만, 초기화 하는 경우  
공장 내부 사람 유무 파악 어려움

## ■ Purpose

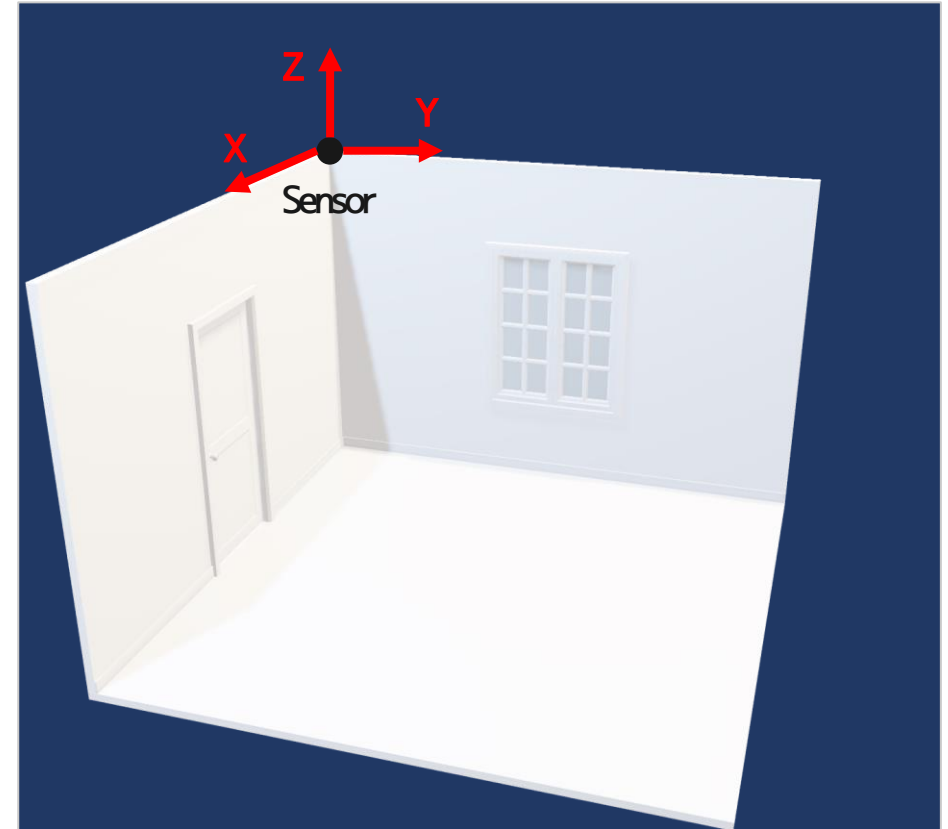
- HESAI Pandar XT32 & QT64 비교를 통해 이 시스템에 필요한 LiDAR의  
주요 사양 분석
- 공장 내부에 사람을 인지하는 데에 필요한 LiDAR 센서 선택 기준 마련

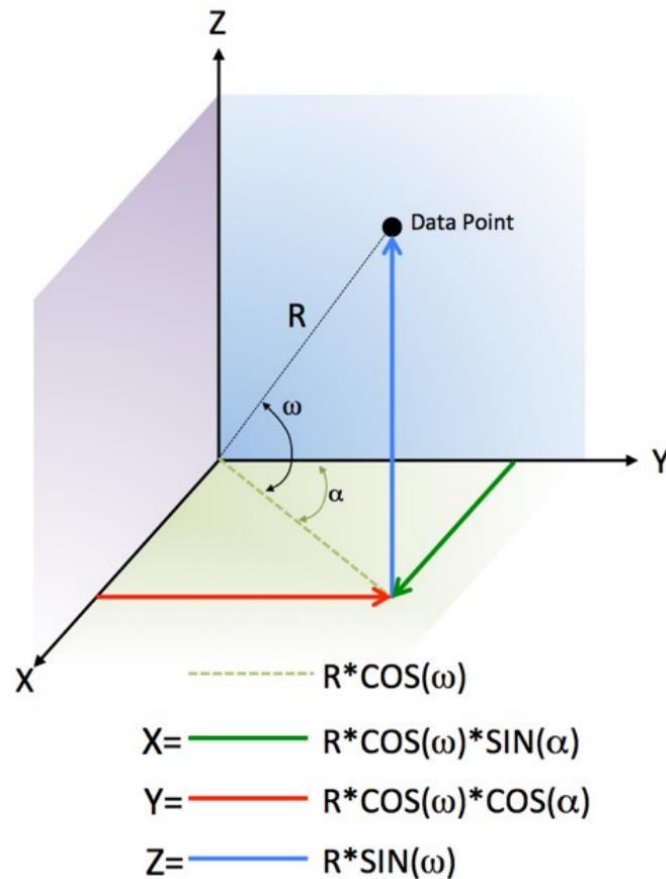
| Pandarr XT32               |  |
|----------------------------|--|
| Channel                    | 32                                       |
| Range Capability           | 80m(9~24ch)<br>50m(1~8, 25~32ch)         |
| Range Accuracy             | ±1cm                                     |
| FOV<br>(Horizontal)        | 360°                                     |
| Resolution<br>(Horizontal) | 0.09°(5Hz)<br>0.18°(10Hz)<br>0.36°(20Hz) |
| FOV<br>(Vertical)          | 31°(-16° to +15°)                        |
| Resolution<br>(Vertical)   | 1°                                       |
| Data Point                 | 640,000 points/sec                       |
| Data Rate                  | 22.44 Mbps                               |

| Pandarr QT64               |                          |
|----------------------------|--------------------------|
| Channel                    | 64                       |
| Range Capability           | 0.1 to 20m               |
| Range Accuracy             | ±3cm                     |
| FOV<br>(Horizontal)        | 360°                     |
| Resolution<br>(Horizontal) | 0.6°                     |
| FOV<br>(Vertical)          | 104.2°(-52.1° to +52.1°) |
| Resolution<br>(Vertical)   | 1.45°                    |
| Data Point                 | 384,000 points/sec       |
| Data Rate                  | 13.37 Mbps               |

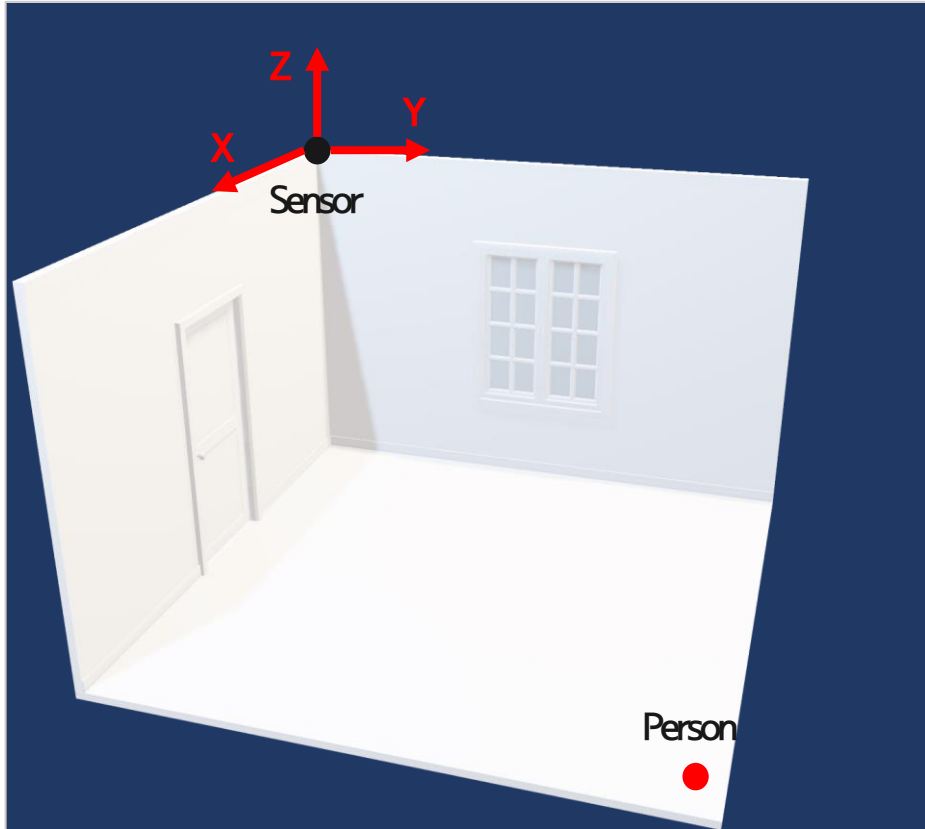
## ■ Assumption

- 주어진 Specification을 만족하는 정상적인 라이다
- 라이다와 공장의 바닥이 평행
- 라이다를 설치할 수 있는 최대 높이 2m
- 라이다가 사람의 측면을 인식
- 로봇, 그림자 등 사람을 가릴 수 있는 수단 제외
- 사람의 키: 1.7m, 사람의 측면길이: 0.4m
- 라이다 센서의 중앙이 원점
- 건물길이  $(X, Y, Z) = (4.0[m], 7.0[m], 2.0[m])$
- XT32의 경우 Horizontal Resolution을  $0.18^\circ$ 로 가정





- $\omega$  : Vertical Angle [ $^\circ$ ]
- $\alpha$  : Horizontal Angle [ $^\circ$ ]
- $R$  : Distance [m]



## Case 1. 끝점

좌표: (4, 7, -0.3), (4, 7, -2), (3.6, 7, -0.3), (3.6, 7, -2)

수식:  $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ ,  $\omega = \sin^{-1}\left(\frac{Z}{R}\right)$ ,  $\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{Y}{R\cos\omega}\right)$

$$R_1 = 8.07[\text{m}] \quad \omega_{13} = -2.13^\circ \quad \alpha_{12} = 29.77^\circ$$

$$R_2 = 8.31[\text{m}] \quad \omega_{24} = -13.93^\circ \quad \alpha_{12} = 29.77^\circ$$

$$R_3 = 7.88[\text{m}] \quad \omega_{13} = -2.13^\circ \quad \alpha_{34} = 27.26^\circ$$

$$R_4 = 8.12[\text{m}] \quad \omega_{24} = -13.93^\circ \quad \alpha_{34} = 27.26^\circ$$

범위:  $\omega = (-13.93, -2.13) [^\circ]$ ,  $\alpha = (27.26, 29.77) [^\circ]$

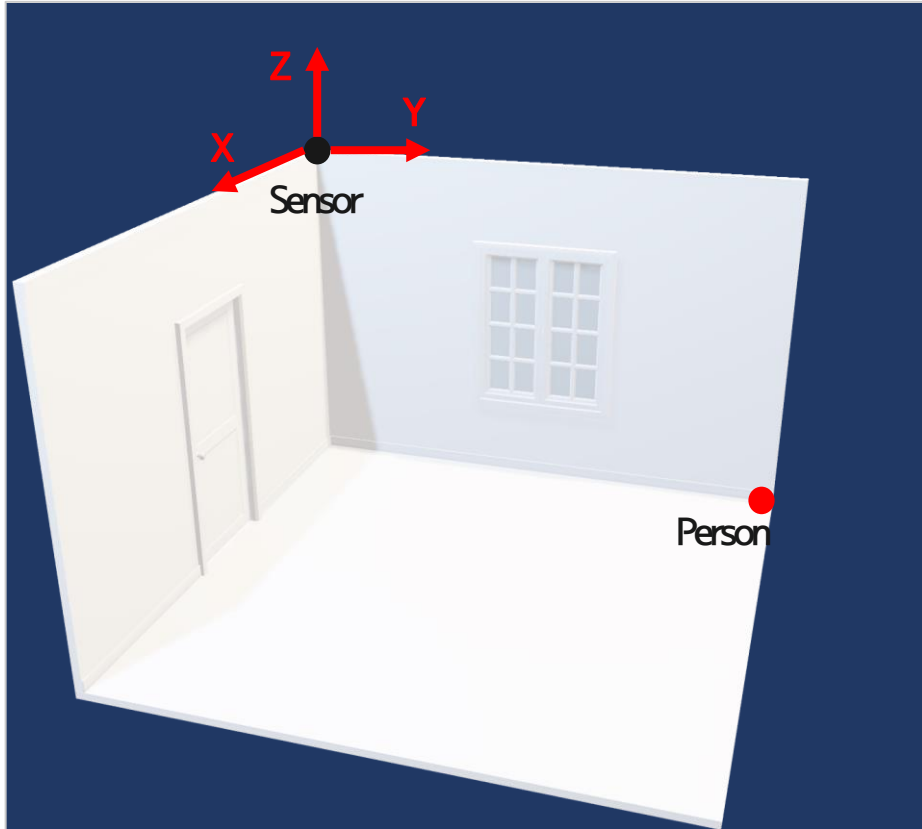
LiDAR 최대 기울기:

- XT-32: 17.13°
- QT-64: 54.23°

FOV에 따른 Point 개수(Horizontal X Vertical):

- XT-32: (14 X 11) = 154개
- QT-64: (4 X 9) = 36개





## Case 2. 입구 끝점

좌표: (0, 7, -0.3), (0, 7, -2), (0.4, 7, -0.3), (0.4, 7, -2)

수식:  $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ ,  $\omega = \sin^{-1}\left(\frac{Z}{R}\right)$ ,  $\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{Y}{R\cos\omega}\right)$

$$R_1 = 7.01[\text{m}] \quad \omega_{13} = -2.45^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

$$R_2 = 7.28[\text{m}] \quad \omega_{24} = -15.95^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

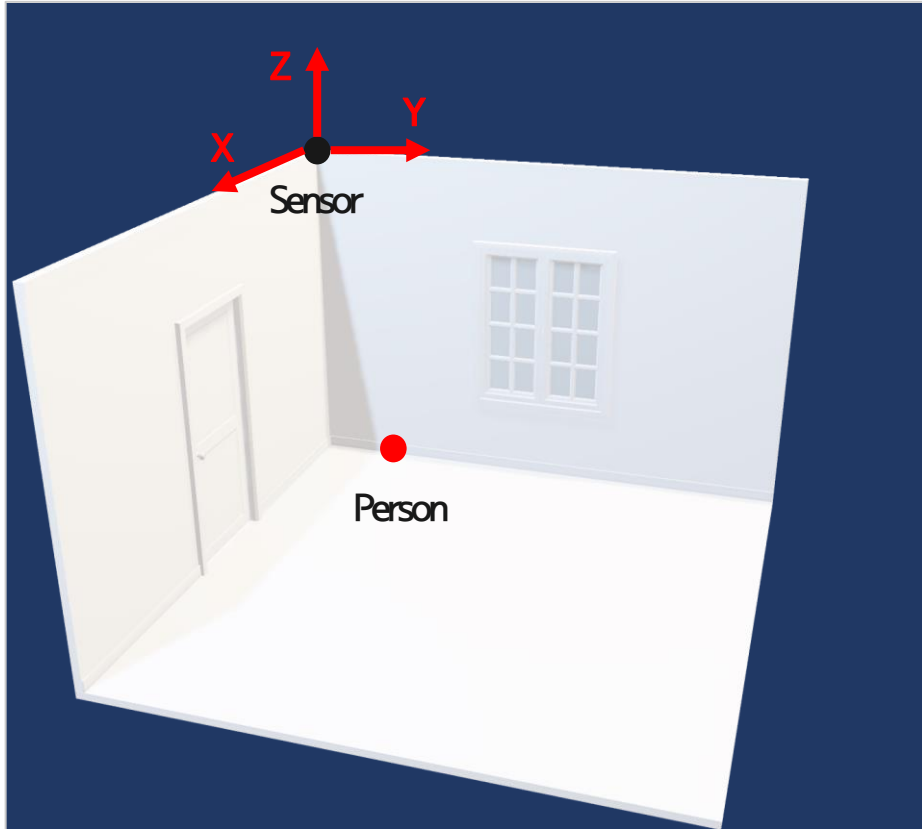
$$R_3 = 7.02[\text{m}] \quad \omega_{13} = -2.45^\circ \quad \alpha_{34} = 3.57^\circ$$

$$R_4 = 7.29[\text{m}] \quad \omega_{24} = -15.95^\circ \quad \alpha_{34} = 3.57^\circ$$

범위:  $\omega = (-15.95, -2.45) [^\circ]$ ,  $\alpha = (0, 3.57) [^\circ]$

FOV에 따른 Point 개수(Horizontal X Vertical):

- XT-32: (13 X 20) = 260개
- QT-64: (6 X 9) = 54개



## Case 3. LiDAR와 가까이 있는 경우(0.5m)

좌표: (0, 0.5, -0.3), (0, 0.5, -2), (0.4, 0.5, -0.3), (0.4, 0.5, -2)

수식:  $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ ,  $\omega = \sin^{-1}\left(\frac{Z}{R}\right)$ ,  $\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{Y}{R\cos\omega}\right)$

$$R_1 = 0.58[\text{m}] \quad \omega_{13} = -31.15^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

$$R_2 = 2.06[\text{m}] \quad \omega_{24} = -76.14^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

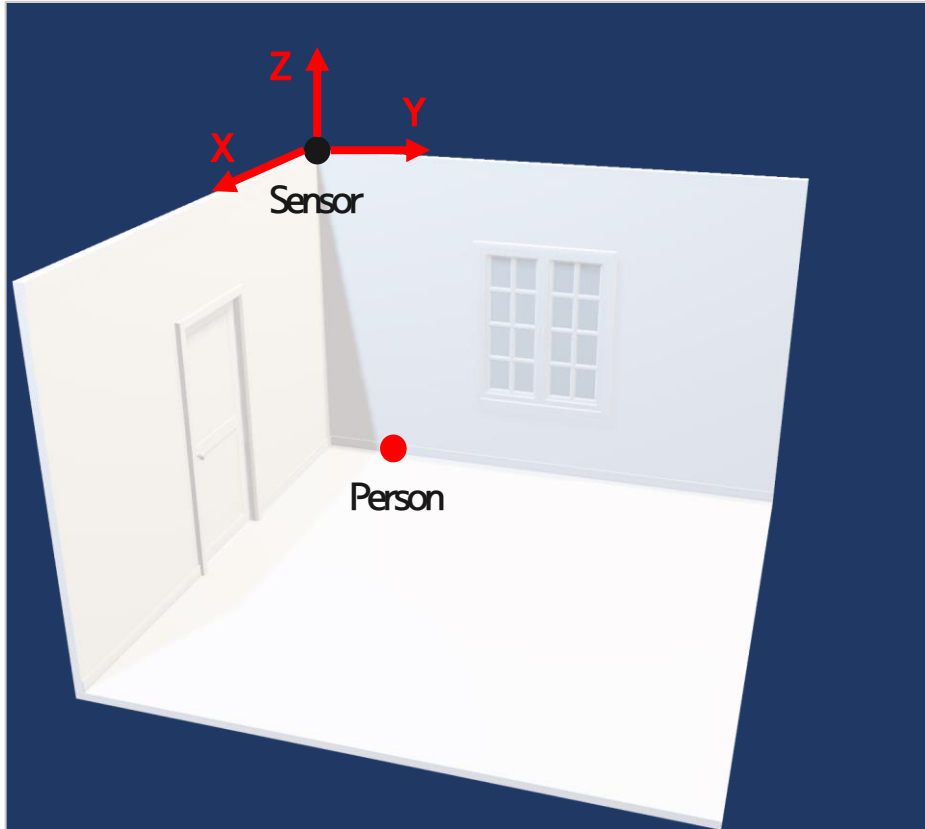
$$R_3 = 0.71[\text{m}] \quad \omega_{13} = -31.15^\circ \quad \alpha_{34} = 34.63^\circ$$

$$R_4 = 2.10[\text{m}] \quad \omega_{24} = -76.14^\circ \quad \alpha_{34} = 34.63^\circ$$

범위:  $\omega = (-76.14, -31.15) [^\circ]$ ,  $\alpha = (0, 34.63) [^\circ]$

FOV에 따른 Point 개수(Horizontal X Vertical):

- XT-32: (0 X 192) = 0개
- QT-64: (11 X 57) = 627개



## Case 4. LiDAR의 각도를 조절했을 때

좌표: (0, 0.5, -0.3), (0, 0.5, -2), (0.4, 0.5, -0.3), (0.4, 0.5, -2)

수식:  $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ ,  $\omega = \sin^{-1}\left(\frac{Z}{R}\right)$ ,  $\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{Y}{R\cos\omega}\right)$

$$R_1 = 0.58[\text{m}] \quad \omega_{13} = -31.15^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

$$R_2 = 2.06[\text{m}] \quad \omega_{24} = -76.14^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

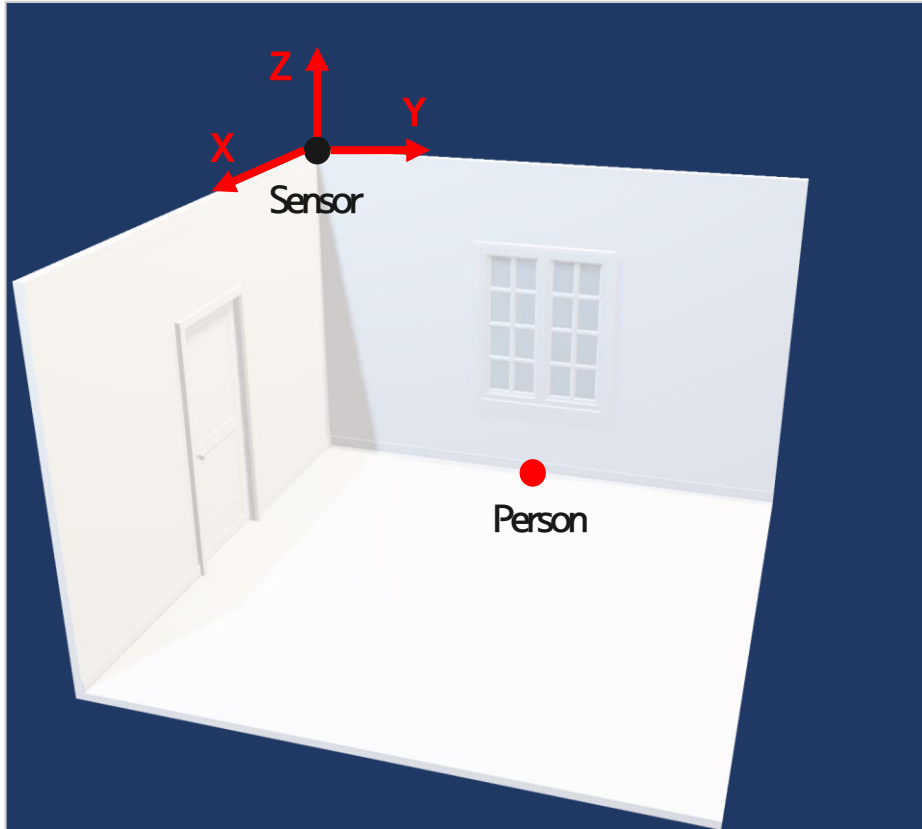
$$R_3 = 0.71[\text{m}] \quad \omega_{13} = -31.15^\circ \quad \alpha_{34} = 34.63^\circ$$

$$R_4 = 2.10[\text{m}] \quad \omega_{24} = -76.14^\circ \quad \alpha_{34} = 34.63^\circ$$

범위:  $\omega' = (-59.14, -14.15) [^\circ]$ ,  $\alpha = (0, 34.63) [^\circ]$

FOV에 따른 Point 개수(Horizontal X Vertical):

- XT-32: (3 X 192) = 576개 (주로 머리부분)
- QT-64: (22 X 57) = 1254개 (머리부터 몸통)



## Case 5. 주 통행로 (3.5m)

좌표: (0, 3.5, -0.3), (0, 3.5, -2), (0.4, 3.5, -0.3), (0.4, 3.5, -2)

수식:  $R = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$ ,  $\omega = \sin^{-1}\left(\frac{Z}{R}\right)$ ,  $\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{Y}{R\cos\omega}\right)$

$$R_1 = 3.51[\text{m}] \quad \omega_{13} = -4.90^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

$$R_2 = 4.03[\text{m}] \quad \omega_{24} = -29.75^\circ \quad \alpha_{12} = 0^\circ$$

$$R_3 = 3.54[\text{m}] \quad \omega_{13} = -4.90^\circ \quad \alpha_{34} = 7.10^\circ$$

$$R_4 = 4.05[\text{m}] \quad \omega_{24} = -29.75^\circ \quad \alpha_{34} = 7.10^\circ$$

범위:  $\omega = (-29.75, -4.90) [^\circ]$ ,  $\alpha = (0, 7.10) [^\circ]$

FOV에 따른 Point 개수(Horizontal X Vertical):

- XT-32: (39 X 12) = 468개 (머리에서 허리)
- QT-64: (11 X 17) = 187개 (사람 전체)

- Horizontal Resolution
- Vertical FOV  $\leftrightarrow$  Distance
- Sensor Height  $\leftrightarrow$  Sensor Incline

- FOV와 Resolution에 따라 센서 선정 기준을 마련할 수 있다.
- 최소 거리에서 사람을 인식할 수 있는지에 대한 분석이 가능하다.
- 센서와 거리가 먼 사람 인식을 중요시 할 지, 가까운 사람 인식을 중요시 할 지에 대한 분석이 필요하다.

- HESAI Pandar XT32

<https://www.hesaitech.com/en/xt32>

- HESAI Pandar QT64

<https://www.hesaitech.com/en/qt64>