

# 학습하는 수소 센서

TEAM: H

조우진, 전유형, 김태하, 최정근, 정규민

Department of Electric Engineering, Gangneung-Wonju National University,

Gangneung, 25457, South Korea

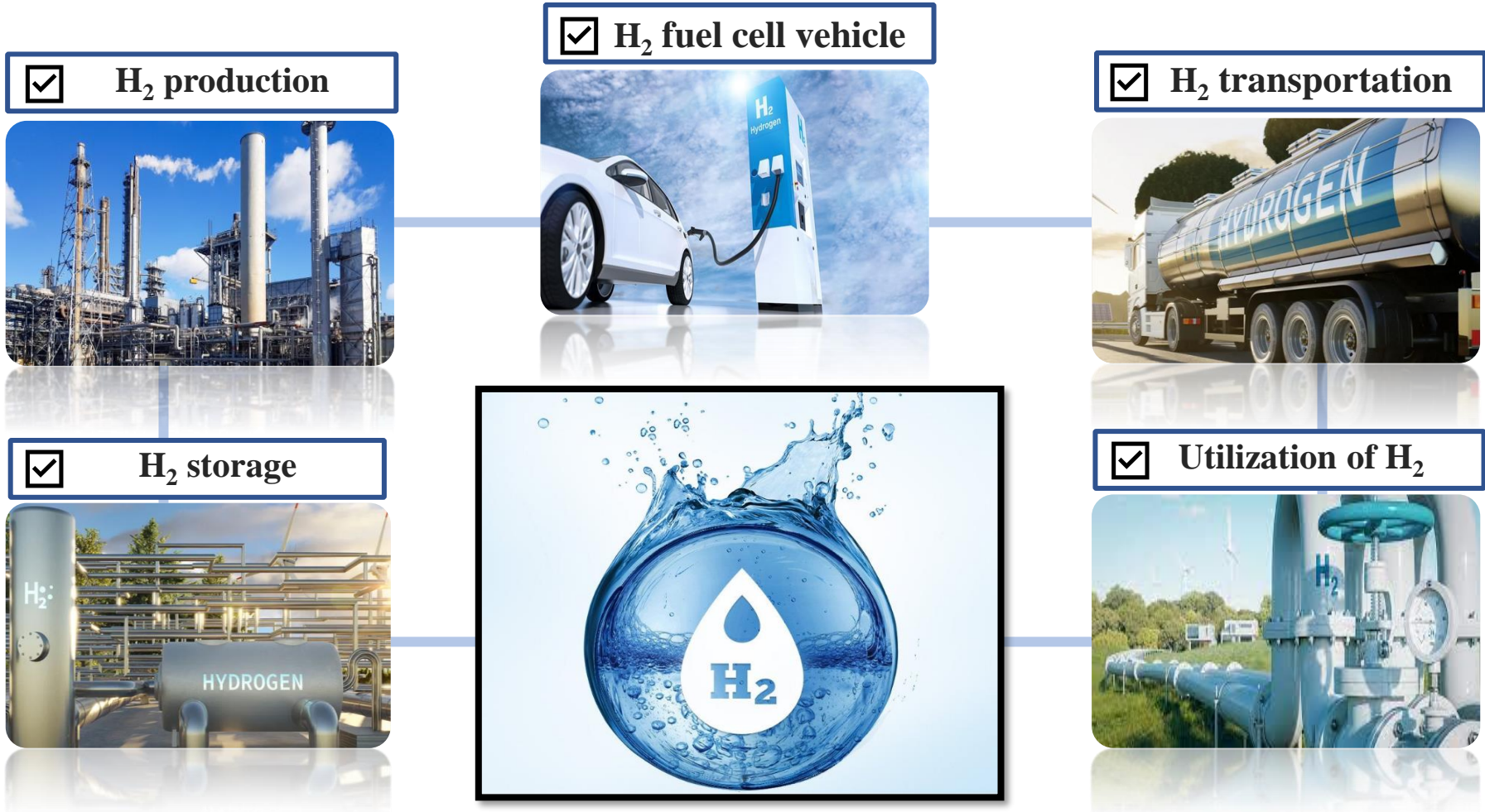
Tel +82-(0)10-6852-0818

Email: [wojin20188@gmail.com](mailto:wojin20188@gmail.com)



# Clean energy source 'Hydrogen(H<sub>2</sub>)'

- Global warming & energy shortage
- Hydrogen has been researched in various industries.



The development of highly sensitive, low temp sensing and accurate gas detection technology.

# Necessity of H<sub>2</sub> gas sensors

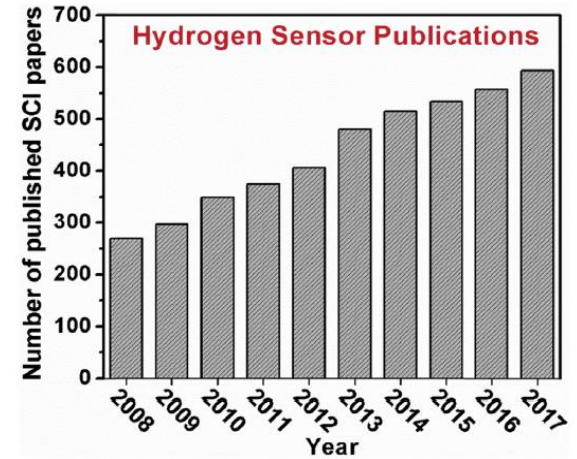
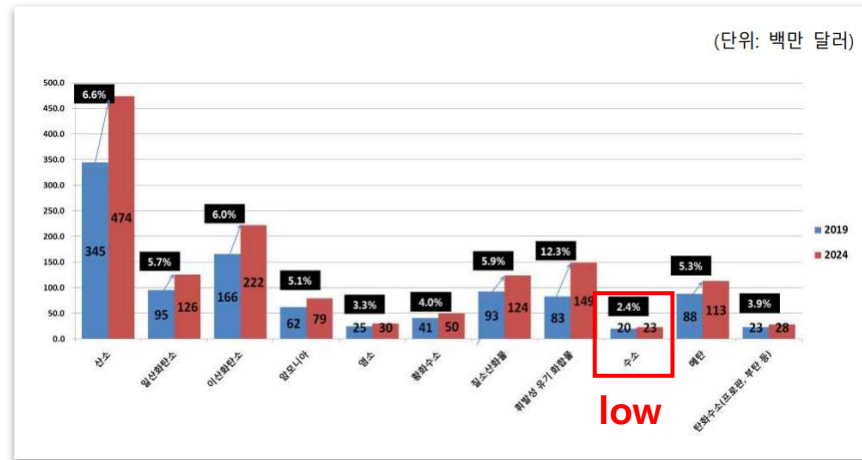
## Hydrogen Explosion



➤ H<sub>2</sub> Explodes (2019. 05. 23. gangneung)

## Low research and development

➤ Various gas sensors development indicator (2019 vs. 2024)



## The properties of H<sub>2</sub>



- Dangerous explosive (4-75%)
- Hydrogen embrittlement
- Wide flammability range, lighter than air
- Colorless, odorless
- Smallest molecule in the universe

## Objects

- ▣ Development of real-time & room temperature detection sensors
- ▣ Research and development of poor global 'hydrogen gas sensors'

# 현재 수소 센서 현황

## EU "현대차 넥쏘 수소 화재 위험 리콜" ... 수소 센서 오작동 위험

신예나 기자 | 기사승인 2023.03.14 14:26 | 댓글 0 | 더보기



▲ 현대자동차의 수소차 넥쏘가 수소 센서 오작동으로 EU 리콜 목록에 올랐다. © 현대차

현대자동차가 독일과 네덜란드 등 유럽연합(EU)의 2개국에서 수소연료전지차 넥쏘(NEXO)에 대한 리콜에 들어간다.

14일 EU 집행위원회에 따르면 2017년 12월 18일부터 2021년 10월 5일까지 제조된 넥쏘 차량이 화재 위험으로 EU의 소비자 안전 경보시스템 세이프티 게이트(Safety Gate)의 목록에 올랐다.

집행위는 독일과 네덜란드에서 해당 기간 생산된 넥쏘 차량의 수소 센서가 오작동을 일으킬 위험이 있다고

### 인기뉴스

- 1 대방건설 송도 신축 (
- 2 [속보] "쿠팡CLS, 구
- 3 '타일 평평 터지는' 초
- 4 [속보] 쿠팡 키플렉스
- 5 해성디에스 창원 신리
- 6 현대 수소차 넥쏘, 무
- 7 게임홍보 영상에 '남·
- 8 '블랙프라이데이'에



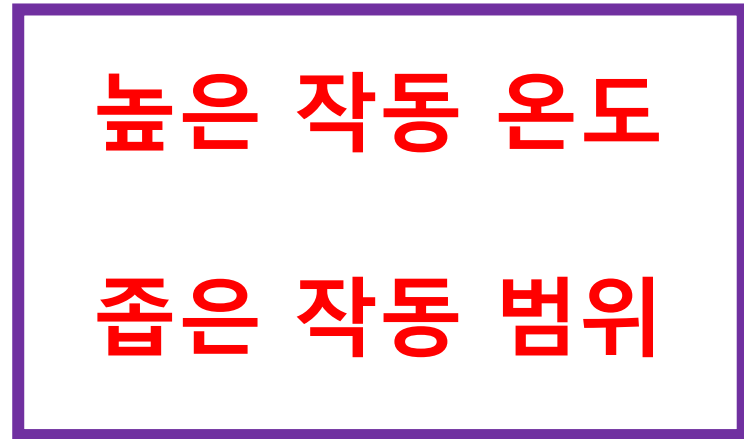
### 최신기사



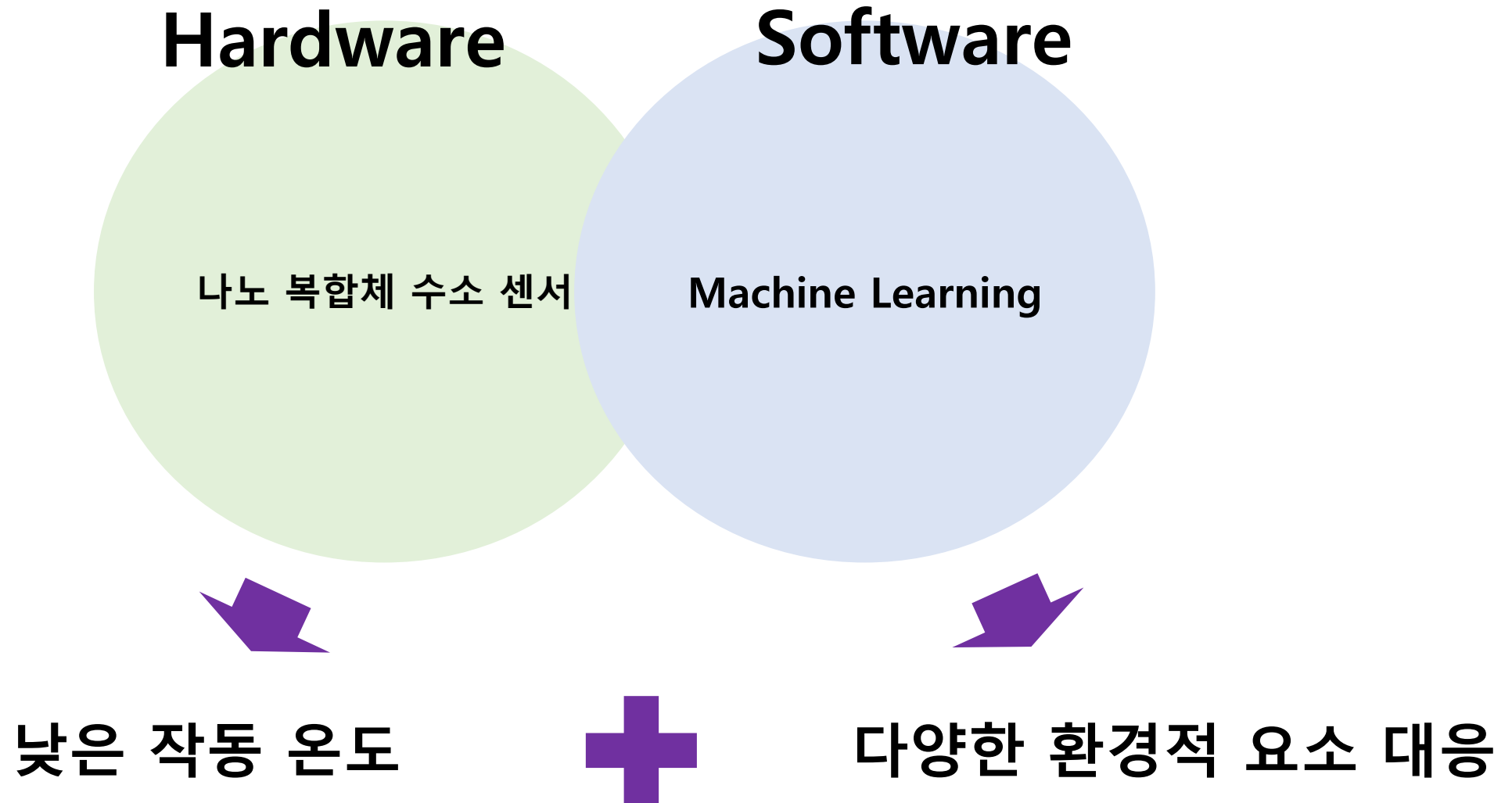
## 문제점

높은 작동 온도

좁은 작동 범위

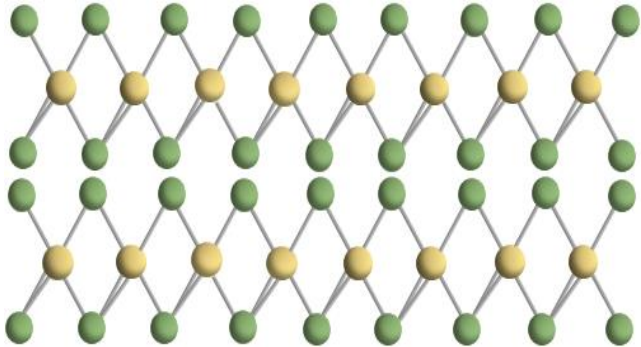


# 제안한 아이디어

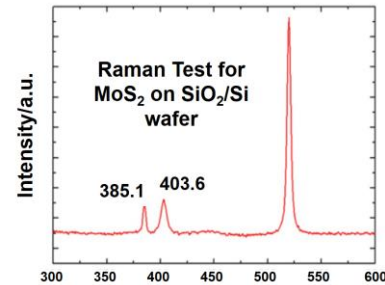


# Nano Materials : $\text{MoS}_2$ , Palladium

## ✓ Molybdenum disulfide ( $\text{MoS}_2$ )

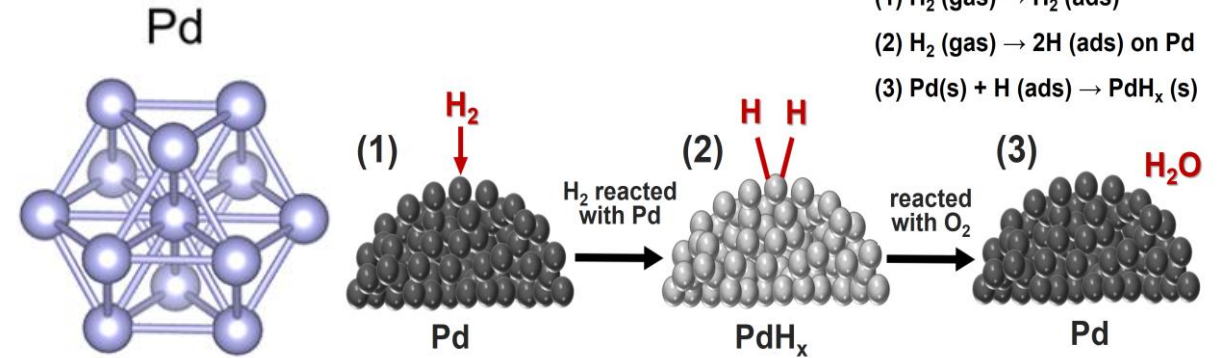


● Mo  
● S



- Flexibility and High electron mobility [ $200\sim 300\text{cm}^2/\text{Vs}$ ]
- Direct/indirect bandgap (Depending on the number of layers)
- High sensitivity to toxic gases and high surface area-to-volume

## ✓ Palladium (Pd)



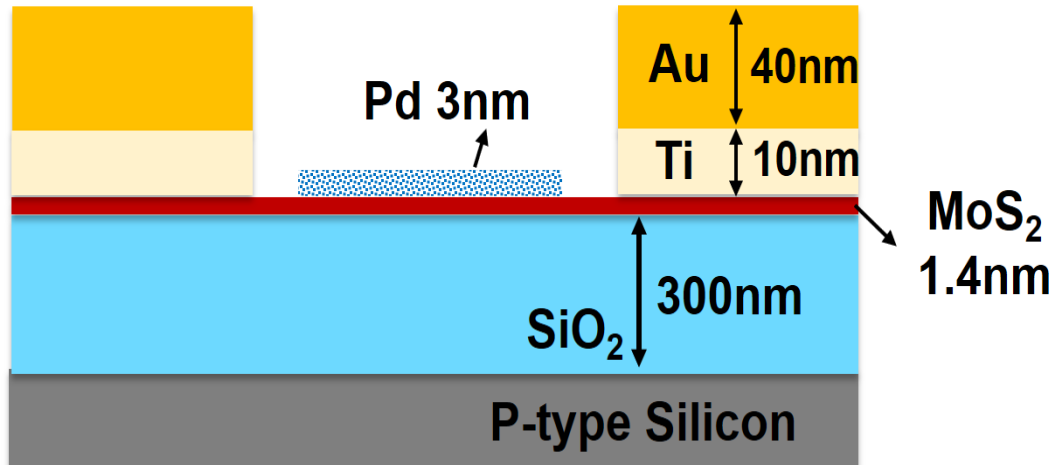
- Simple mechanism of operation [Resistance transition]
- High selectivity detection ( $\text{H}_2$ ) at room temperature
- Humidity stability [due to  $\text{H}_2$  reaction]
- Low volume expansion and high strength
- Low temperature detection possibility

The development of highly sensitive and accurate gas detection sensors

The development of low temp sensing and simple structure sensors

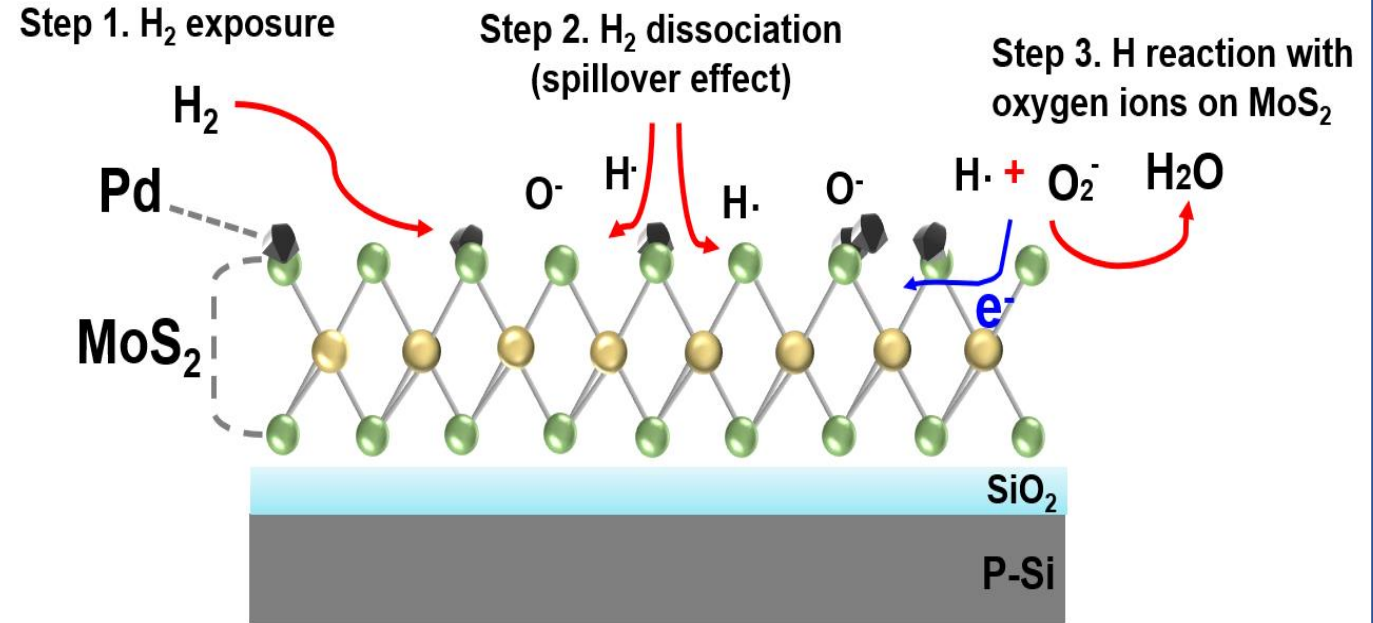
# Nanocomposites based H<sub>2</sub> Gas Sensors

## Proposed H<sub>2</sub> Gas Sensor structure



- Pd decorated MoS<sub>2</sub> channel

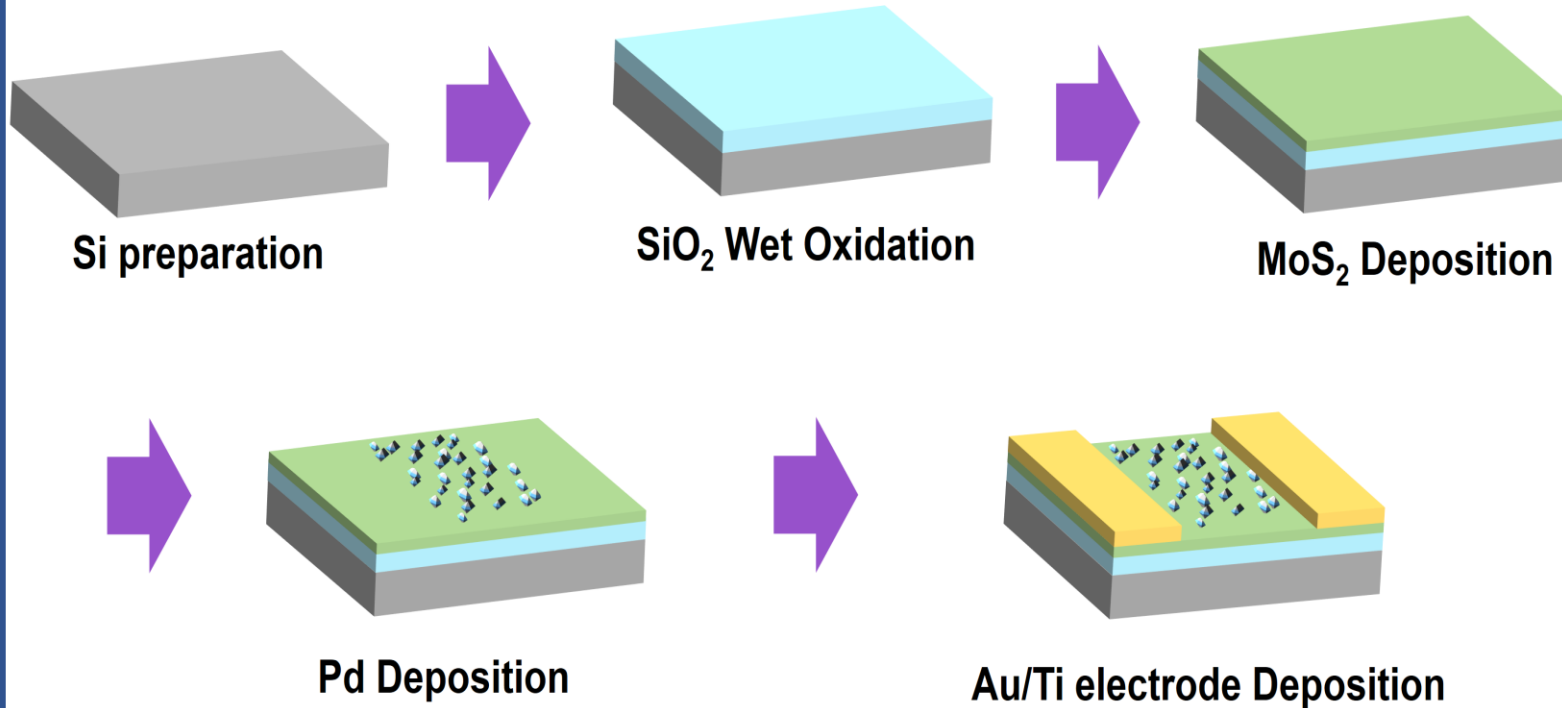
## H<sub>2</sub> sensing mechanism of Pd decorated MoS<sub>2</sub>



- Step 2. forming reactive H (atom) and spreading to near MoS<sub>2</sub>
- Step 3.  $\text{H} + \text{O}_2^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{e}^-$  combine electron
- **Electrons increase current in the MoS<sub>2</sub> channel when exposed to H<sub>2</sub>.**

# The fabrication process of the Pd decorated MoS<sub>2</sub> sensor

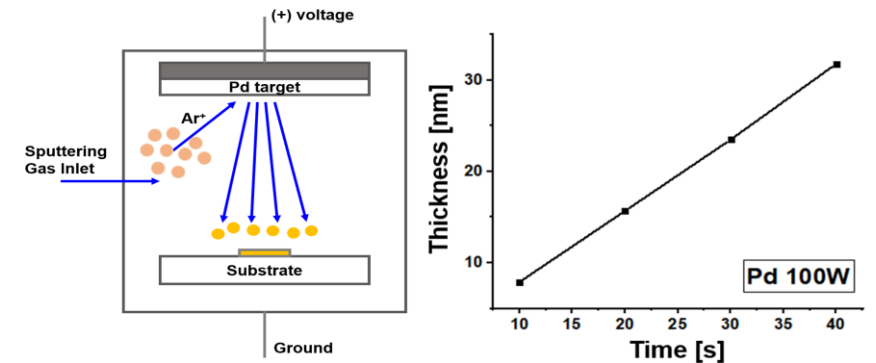
## ☑ The fabrication process



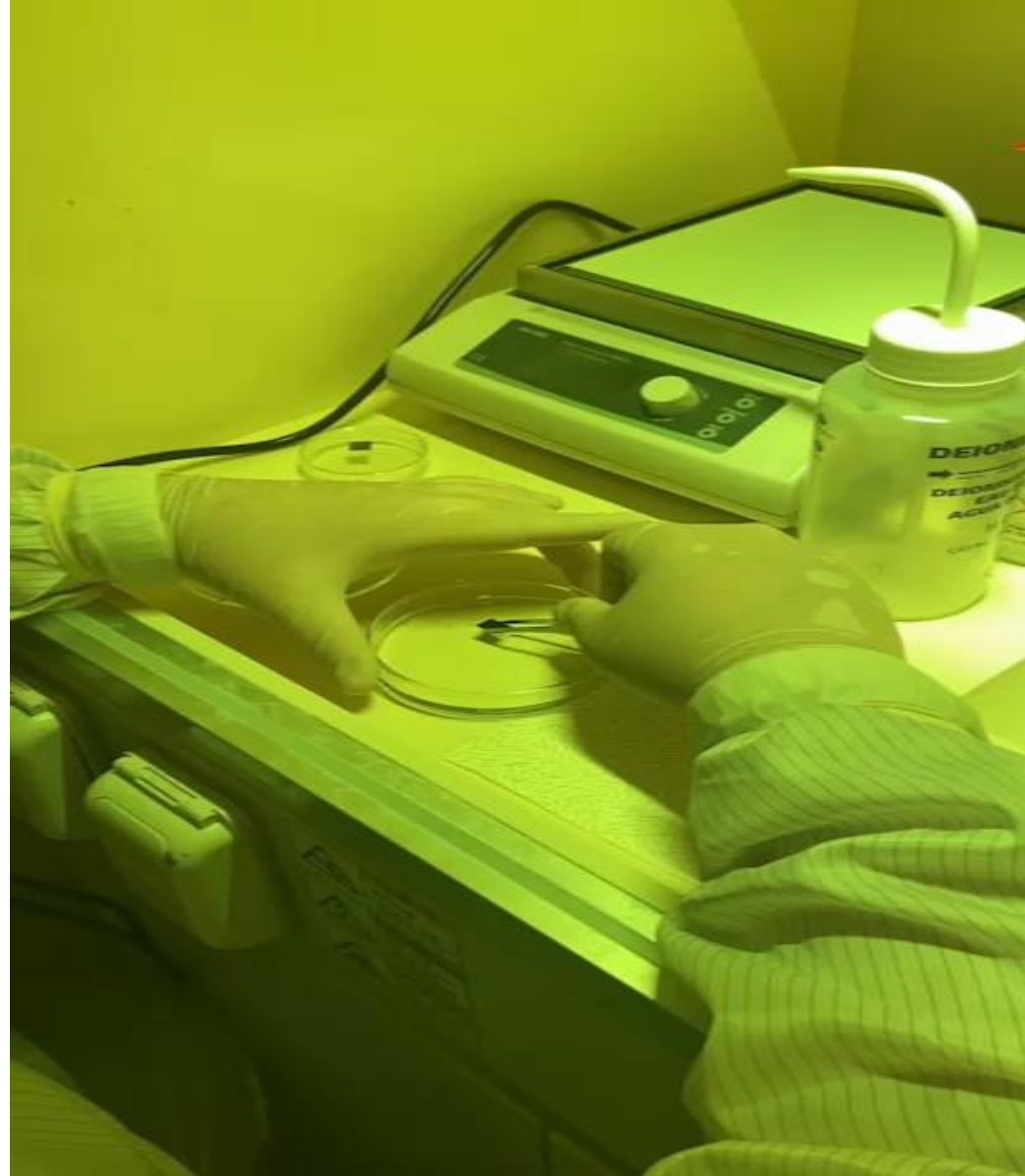
## ➤ Process flows

- P-type wafer preparation & cleaning
- SiO<sub>2</sub> Wet oxidation
- MoS<sub>2</sub> CVD synthetic
- Pd decorated by DC sputtering
- Metal electrode (Au/40nm, Ti/10nm)

## ➤ Pd deposited by DC sputtering

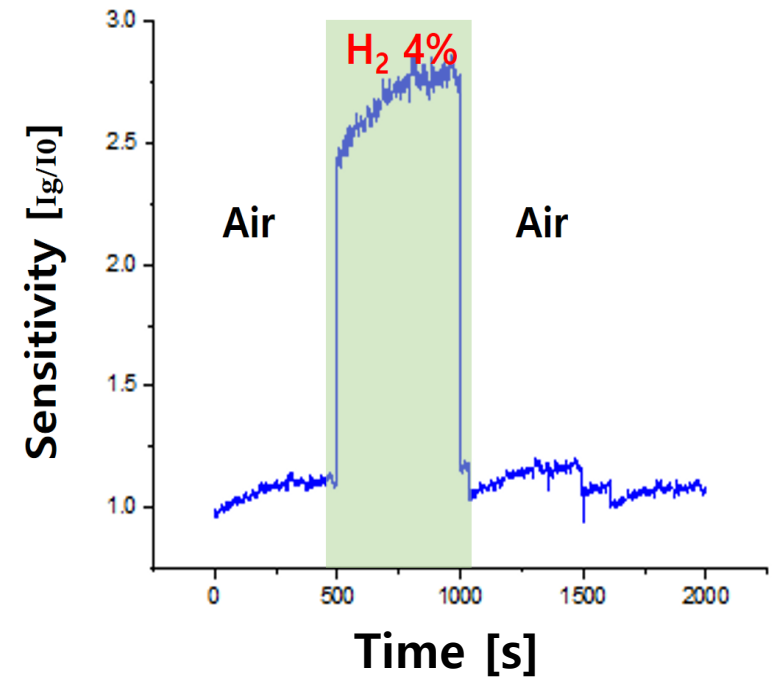
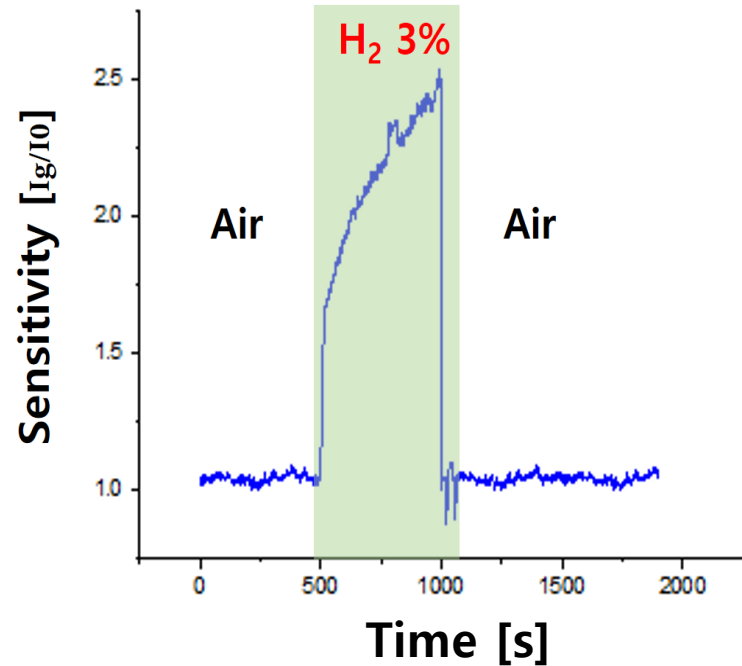
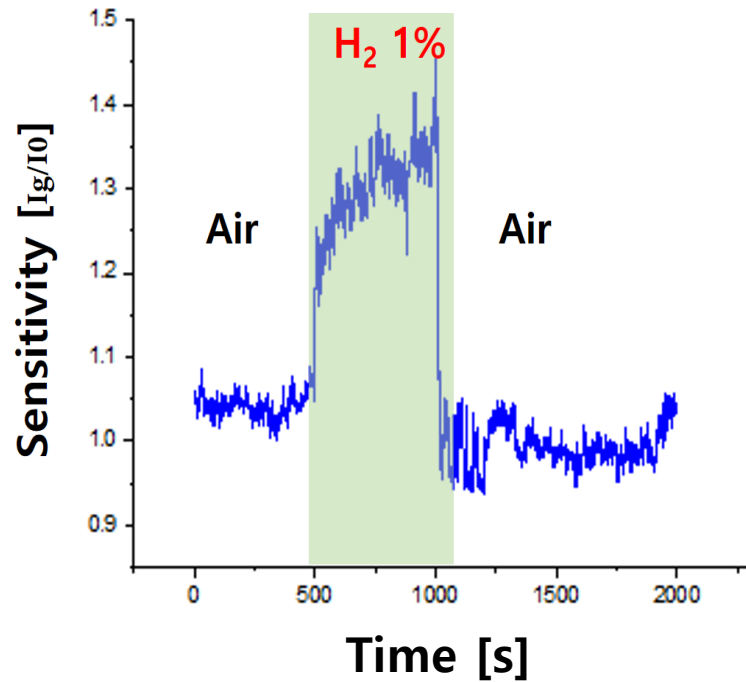


# Fabrication process 영상



# Measurement Result [H<sub>2</sub> sensing]

Pd 3nm decorated MoS<sub>2</sub> H<sub>2</sub> Sensor



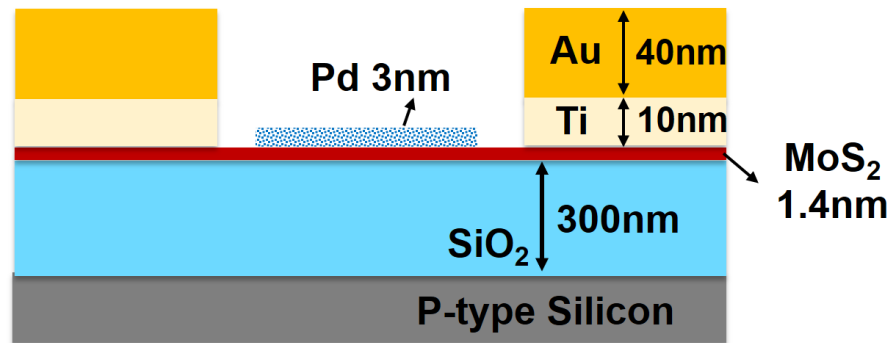
Increase in surface area due to Pd thickness optimization

➔ **Fast response time and room temperature operation**

# H<sub>2</sub> Sensor Table

Materials	Definition of Sensitivity	Concentration (ppm)	Temperature (°C)	Sensitivity	Response Time (s)	Reference
Pd/MoS <sub>2</sub>	$(R_g - R_a) / R_a \times 100\%$	50,000	RT	1000	40	[2]
Pt/TiO <sub>2</sub> /MoS <sub>2</sub>	$(R_g - R_a) / R_a$	2000	100	0.749	150	[14]
MoS <sub>2</sub> /ZnO	$R_g / R_a \times 100\%$	500	RT	51.5	14	[15]
Pd/MoS <sub>2</sub>	$(R_g - R_a) / R_a \times 100\%$	500	RT	33.7	16	[8]
Pd/MoS <sub>2</sub>	$(R_g - R_a) / R_a \times 100\%$	10,000	RT	35.3	786	[7]
Pd/MoS <sub>2</sub>	$I_g / I_0$	40,000	RT	2.77	4~5	This work

## ➤ Schematic of H<sub>2</sub> gas sensor

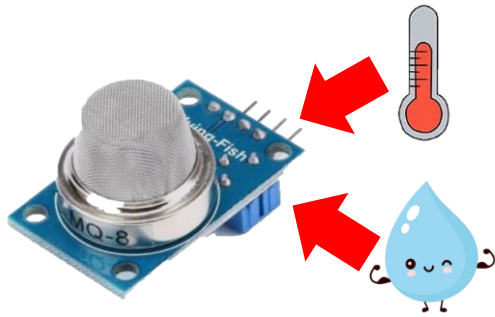


## ➤ Measurement Result

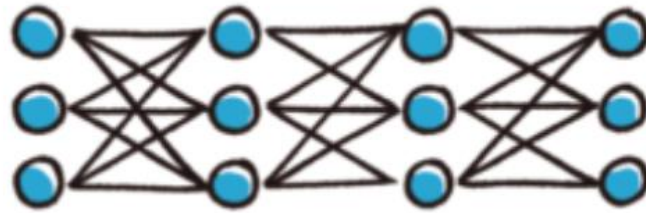
- Response time (s) : 4~5
- Sensitivity( $I_{H_2}/I_{Air}$ ) : 2.77

# Machine Learning

학습하는 수소 센서!



1. 다양한 환경에서 측정



2. 측정한 데이터로 머신러닝 학습



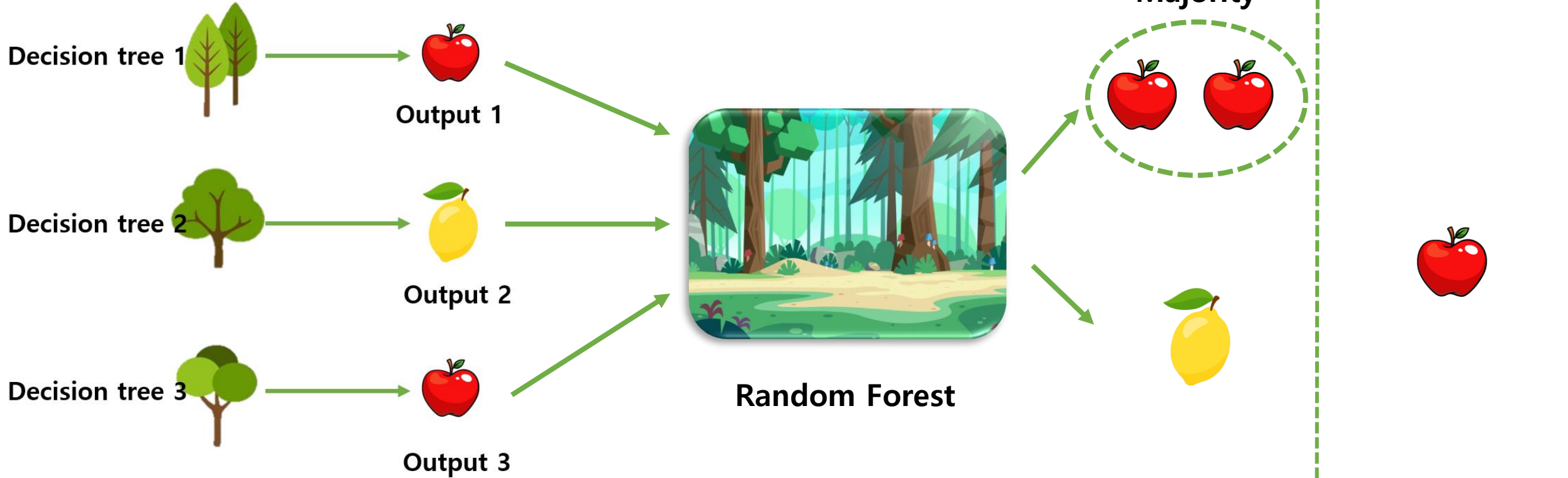
3. 라즈베리 파이에 적용



다양한 환경 요인에 따른 조기 감지 및 경향성 예측

# Machine Learning Model

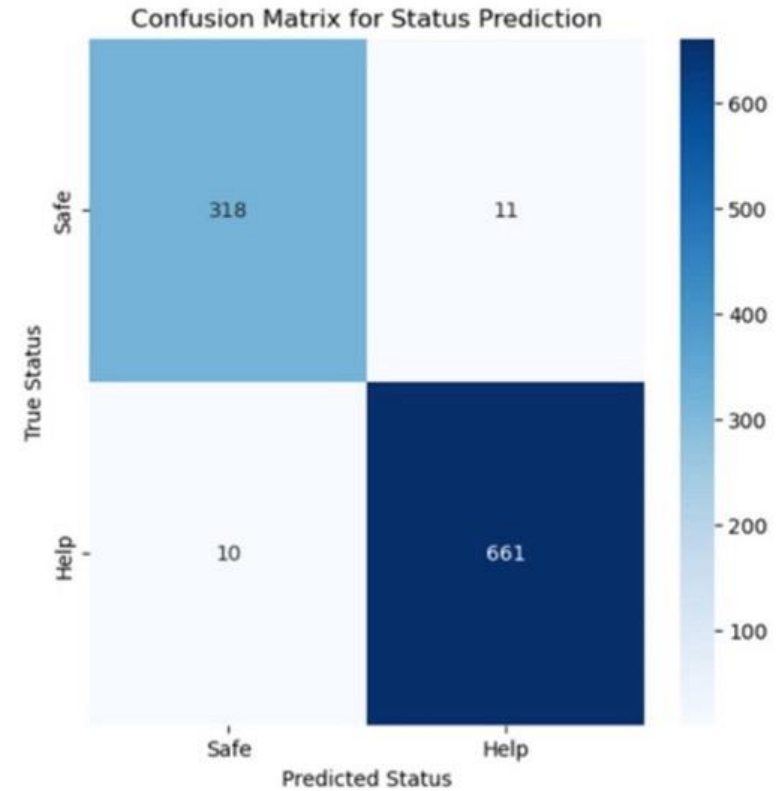
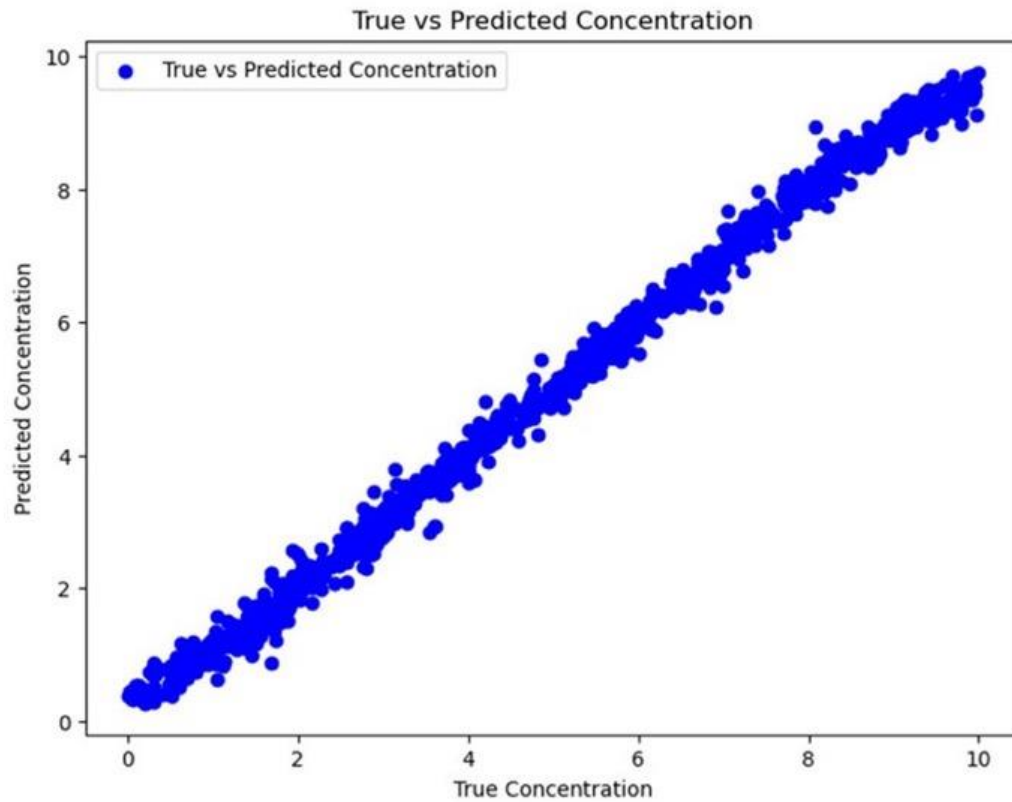
## <Random Forest Model>



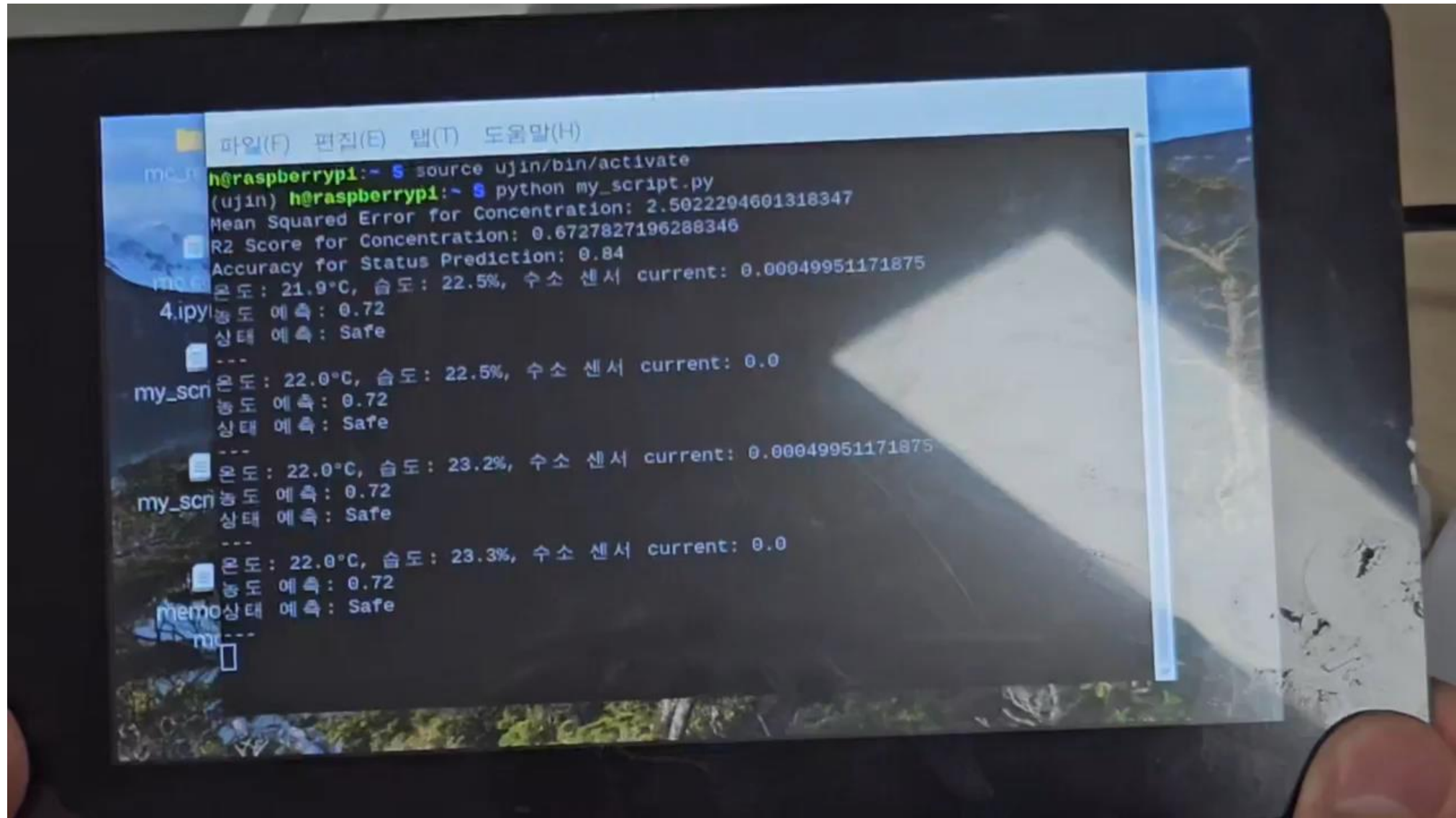
예측 불가능한 노이즈에 대한 대응이 우수함

# Model Accuracy

Mean Squared Error for Concentration: 0.05061985920695702  
R2 Score for Concentration: 0.9940572980984339  
Accuracy for Status Prediction: 0.979



# 시연 영상



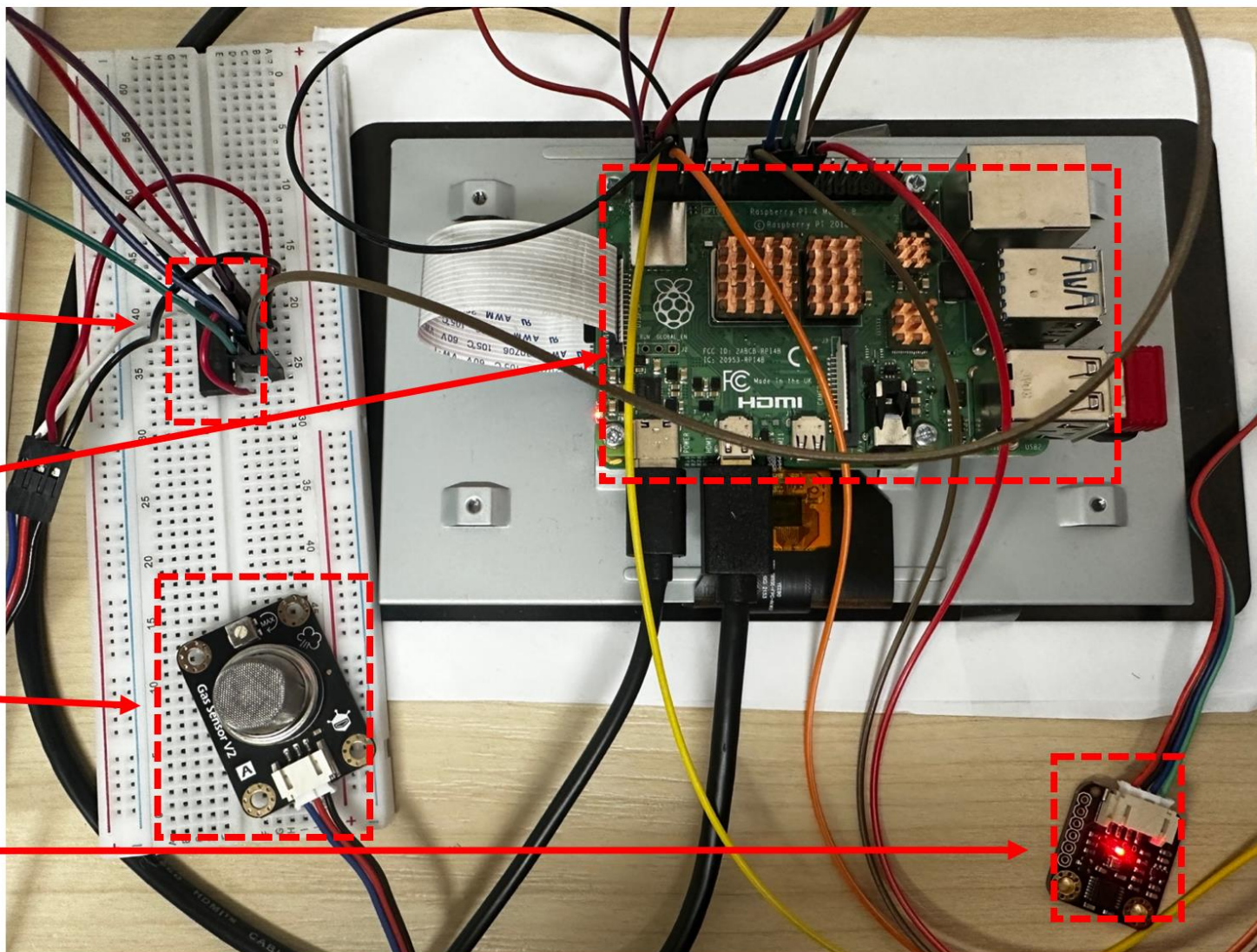
# 회로 구조

ADC : 수소 센서의 아날로그 출력  
디지털 신호로 변환

라즈베리 파이 : 아날로그 입력은  
호환 안됨

수소 센서 : 아날로그 출력

온습도 센서 : 디지털 출력



# Conclusion

1. 신소재 물질과 물질 두께 최적화로 인해

→ 낮은 작동 온도와 빠른 응답속도

2. 다양한 환경에서 측정된 데이터를 통한 학습으로 인해

→ 넓은 작동 범위와 다양한 환경적 요소에 대응



Thank you



*Q&A*

[1] Gu, Haoshuang, Zhao Wang, and Yongming Hu. "Hydrogen gas sensors based on semiconductor oxide nanostructures." *Sensors* 12.5 (2012): 5517-5550.

[2] Lee, Jun Seop, et al. "Porous palladium coated conducting polymer nanoparticles for ultrasensitive hydrogen sensors." *Nanoscale* 7.48 (2015): 20665-20673.

[3] Li, Zhong, et al. "Resistive-type hydrogen gas sensor based on TiO<sub>2</sub>: A review." *International Journal of Hydrogen Energy* 43.45 (2018): 21114-21132.

[4] Cheng, I-Kai, Chun-Yu Lin, and Fu-Ming Pan. "Gas sensing behavior of ZnO toward H<sub>2</sub> at temperatures below 300° C and its dependence on humidity and Pt-decoration." *Applied Surface Science* 541 (2021): 148551.

[5] Xiao, Mengmeng, et al. "Batch fabrication of ultrasensitive carbon nanotube hydrogen sensors with sub-ppm detection limit." *ACS sensors* 3.4 (2018): 749-756.

# WideRange SolarAI

## Solar C

허정녕, 차현진, 유창현  
국립강릉원주대학교 전자공학과



국립강릉원주대학교  
GANGNEUNG-WONJU NATIONAL UNIVERSITY



2023.12.08 금

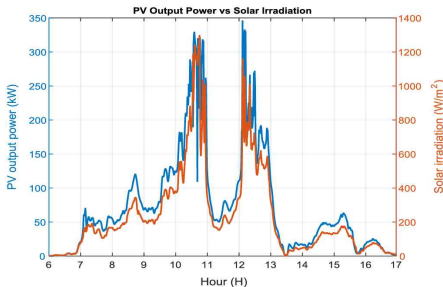
일사량을 사용하지 않고도 태양광 발전량 예측이 가능하며  
학습 지역이 아닌 곳에서도 예측 값을 제공하는  
태양광 발전량 예측 모델을 개발

태양광 발전과 관련된 기관이나 사업자들은

1. 일사량을 사용하지 않고
2. 태양광 발전량 예측 모델이 학습된 지역 외에도  
태양광 발전량을 예측해주길 바람

## 태양광 발전량 예측 모델이 일사량에 의존적인 이유

태양광 발전량과 일사량의 상관관계가 매우 크기 때문



시간에 따른 태양광 발전량과 일사량 그래프

Raza, M. Q., Nadarajah, M., & Ekanayake, C. (2016). On recent advances in PV output power forecast. *Solar Energy*, 136, 125-144.

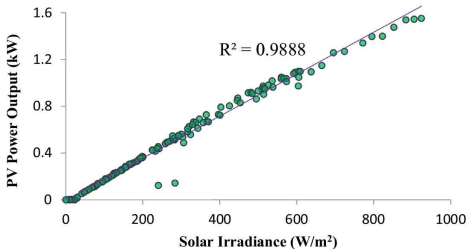


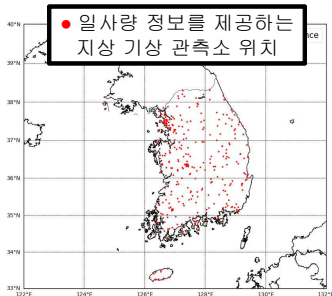
Fig. 3. Correlation between solar irradiance and PV power output.

일사량에 따른 태양광 발전량 그래프

Das UK, et al. Forecasting of photovoltaic power generation and model optimization: a review (in English) *Renew Sustain Energy Rev* Jan 2018;81: 912-28. Review

## 1. 일사량 없이도 태양광 발전량 예측이 가능해야 하는 이유

일사량을 사용하지 않고 예측이 가능하면  
모델 활용도를 3.3배 높일 수 있기 때문



전국 지상 기상 관측소 1364개 중 319개만이  
일사량 정보를 제공함 (23.3 %)

## 2. 태양광 발전량 예측 모델이 학습 외 지역에서도 예측이 가능해야 하는 이유

태양광 발전량 예측 모델의 학습과 테스트 지역이 같으면

학습 외 지역에서의 일반화 성능을 확인하지 못함

## 연구 목표

1. 일사량을 사용하지 않고도 태양광 발전량 예측이 가능
2. 모델의 학습 외 지역에서도 태양광 발전량 예측 값을 제공

### 목표 달성을 위해 해결해야 했던 문제 상황

제안하는 모델의 비교 군이 될

‘일사량 기반의 태양광 발전량 예측 모델’이

정해지지 않은 상황이었음

## 기상청의 태양광 발전량 예측 모델을 분석함 (1)



### 1. 일사량에 의존하는 태양광 발전량 산정식(NREL)

$$\begin{aligned} \text{태양광 발전량} &= \text{설비 용량} \\ &\times \text{경사 일사량} \\ &\times [1 + \text{출력온도계수} \times (\text{모듈표면온도} - 25)] \end{aligned}$$

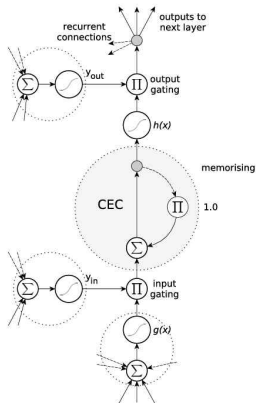
## 기상청의 태양광 발전량 예측 모델을 분석함 (2)



2. 한국 전력 거래소에 등록된 태양광 발전 설비 지역 (학습 지역)에서만 (테스트) 예측 값을 제공함

## 시계열 데이터 학습에 효과적인 딥러닝 모델 조사

## Long short-term memory (LSTM)



딥러닝 모델인 LSTM은

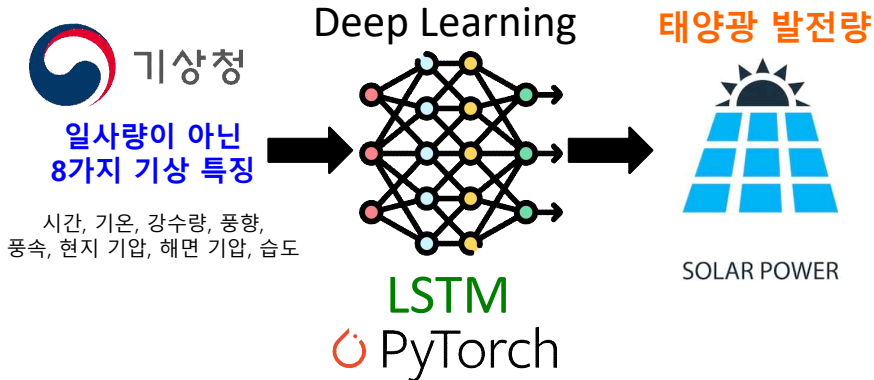
과거 데이터를 현재의 출력에 반영하여

시간에 따라 연속적으로 변하는 데이터 패턴을

효과적으로 학습함

Staudemeyer, R. C., & Morris, E. R. (2019). Understanding LSTM--a tutorial into long short-term memory recurrent neural networks. *arXiv preprint arXiv:1909.09586*.

## 일사량 없이도 태양광 발전량 예측 가능한 딥러닝 모델 구현



# IV. 문제의 해결점을 찾아나간 과정 (2)

모델의 학습 지역(강릉)이 아닌 지역(삼척)을 테스트에 포함함

**Dataset**

**Training** **Testing**

**Training** **Validation** **Testing**

강릉

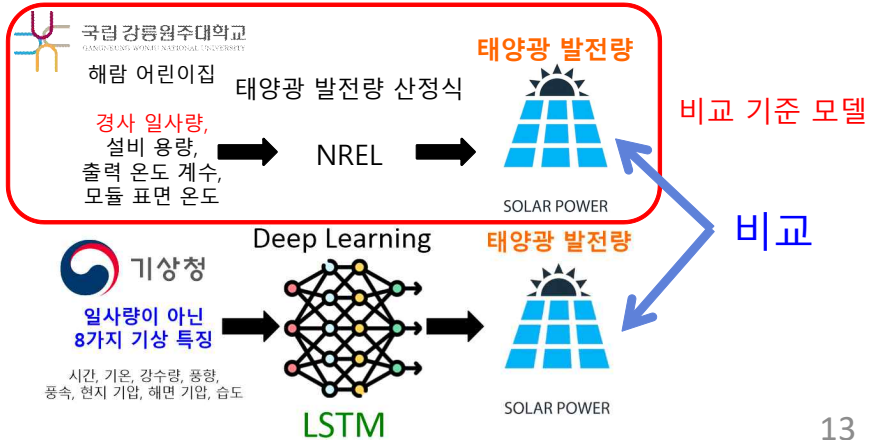
강릉 강릉, 삼척

	기상청 자료개방포털	시간당 태양광 발전량	시간당 경사 일사량
학습 (Training)	강원 강릉	GWNU (강릉), 건물 C9	GWNU (강릉), 해람 어린이집
검증 (Validation)	강원 강릉	GWNU (강릉), 해람 어린이집	GWNU (강릉), 해람 어린이집
테스트1 (Test 1)	강원 강릉	GWNU (강릉), 건물 C3	GWNU (강릉), 해람 어린이집
테스트2 (Test 2)	강원 동해	<b>강원대 삼척캠</b>	데이터 없음

삼척의 기상 데이터가 없어서  
동해의 기상 데이터로 대체함

# IV. 문제의 해결점을 찾아나간 과정 (3)

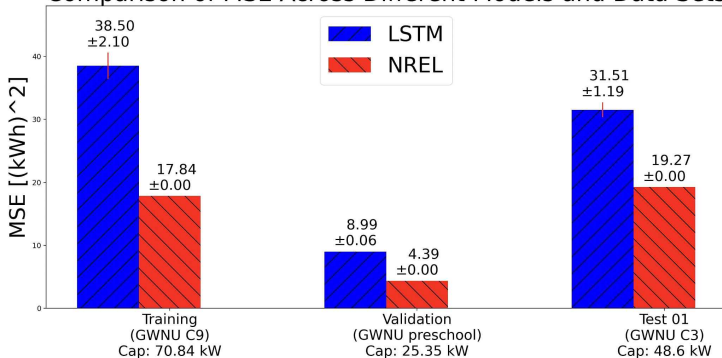
기상청의 태양광 발전량 산정식으로 일사량 기반의 예측 모델을 구현하여 비교 기준으로 삼음



일사량 기반 모델과 비교하여, 일사량 없이 발전량을 예측한 경우

학습, 검증, 테스트에서 각각 평균 제곱 오차가 2.0, 2.1, 1.6 배 높았음

Comparison of MSE Across Different Models and Data Sets

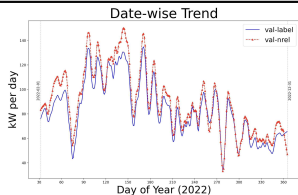


일사량 기반 모델과 비교하여, 일사량 없이 발전량을 예측한 경우

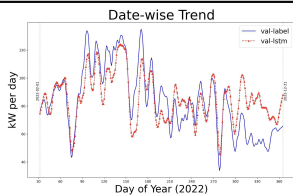
오차는 상대적으로 더 크지만 일사량 없이 예측은 가능함을 확인

학습 결과

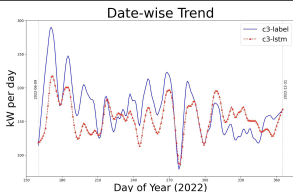
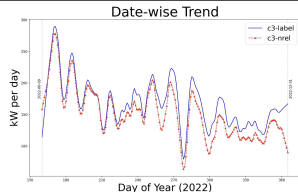
일사량 기반 모델 (발전량 산정식)

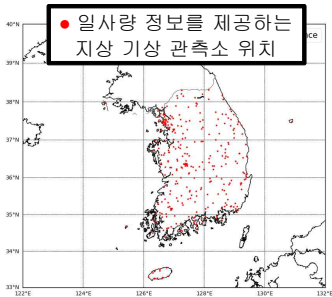


일사량 없이 딥러닝 기반 모델



검증 결과



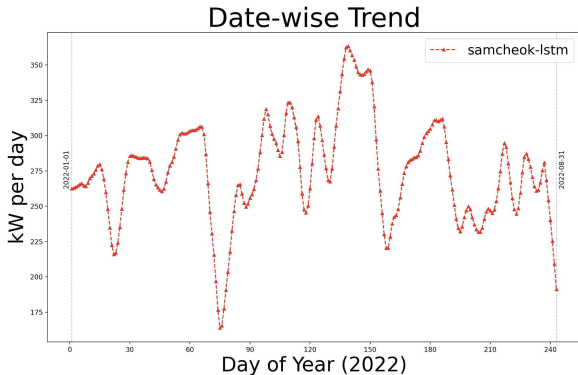


일사량을 사용하지 않고 태양광 발전량을 예측하면  
기존 319개 지점뿐 아니라 나머지 1045개 지점의  
기상 정보를 활용하여 예측할 수 있음  
**예측 모델의 활용도 3.3 배 향상**

전국 기상 관측소 1364개 중 319개만이  
일사량 정보를 제공함 (23.3 %)

## V. 실험결과와 결과의 의미 (2)

모델의 학습(강릉) 외 지역(삼척)에서도 태양광 발전량을 예측하는 TestBed를 구축함  
모델의 학습 외 지역에서도 태양광 발전량 예측 모델을 활용할 수 있을 것으로 기대됨



일사량을 사용하지 않고도 태양광 발전량 예측이 가능하며  
학습 지역이 아닌 곳에서도 예측 값을 제공하는  
태양광 발전량 예측 모델을 개발

# Q&A