

A study on the design of ground motion database and processing for input seismic evaluation and nuclear power plant safety

2023.5.18 (Thu.)

Jin Koo Lee*, JeongBeom Seo, Sung Young Whang
KIT Valley co., Ltd.

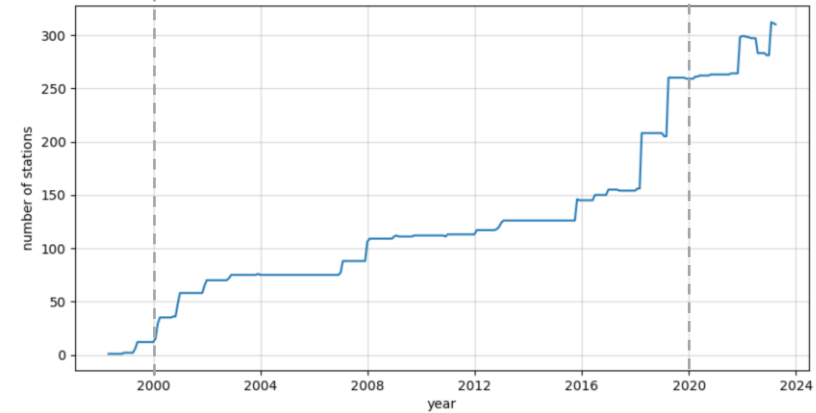
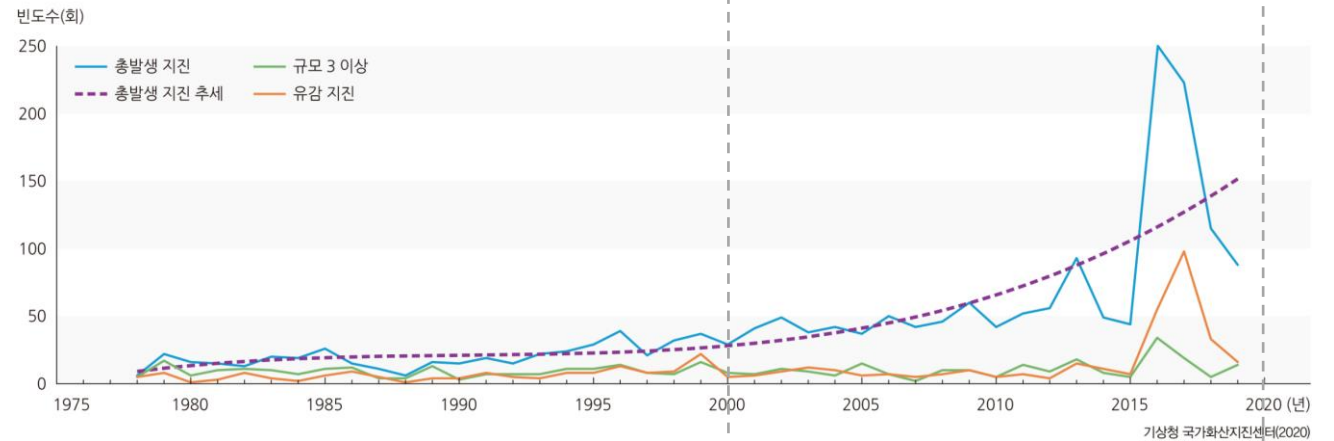
- Background and Objective
- Ground motion processing and Database schema
- Implements
- Summary and Reference

BACKGROUND AND OBJECTIVE

■ 연간 지진 발생 빈도 및 지진 관측소 현황

- 연간 지진 발생 빈도는 증가 추세
- 2023년 기준 300여개 이상의 지진관측소 운용(기상청), 60여개 지진관측소 운용(지질자원연구소)
- 한국원자력안전기술원은 2022년 9월부터 220대 규모의 원전부지 지진관측망 운용(김민욱 외, 2022)

연간 지진 발생 빈도



[연간 지진관측소 수(기상청 NECIS)]

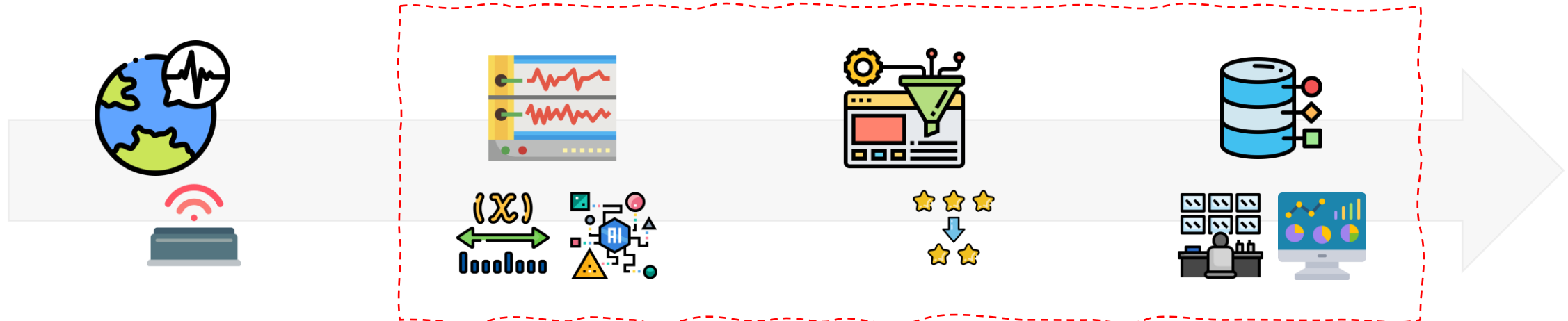


■ 원전 지진안전성 평가를 위한 지진 빅데이터 구축

- 지진 데이터, 관측소 메타데이터 수집 및 처리
- 가공된 데이터에 대한 조회 및 제공

■ 지진 시간 이력에 대한 처리 과정 도출과 스키마 설계

- 지진 데이터의 처리 과정 도출
- (과거의) 많은 자료와 (스마트센서로부터의) 실시간 자료의 자동화 처리
- 가공된 데이터의 자료저장을 위한 지진 데이터베이스 스키마



GROUND MOTION PROCESSING AND DATABASE SCHEMA

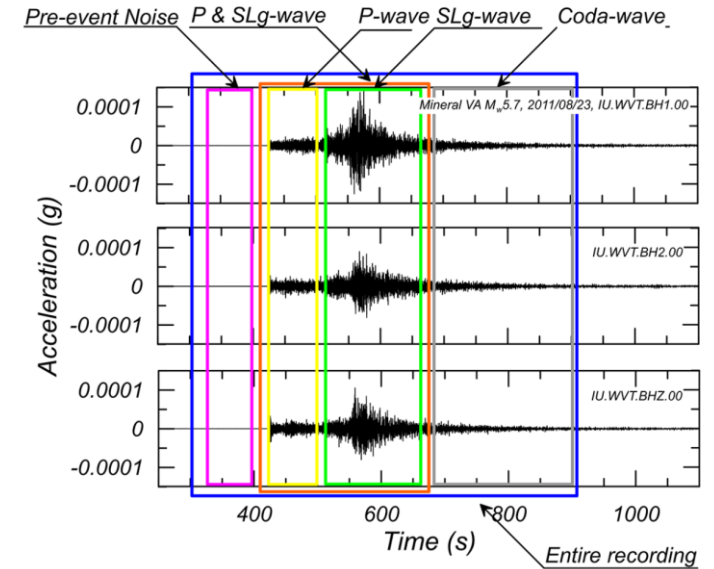
데이터 구간의 선택

- 연속파형으로부터 데이터 가공에 필요한 구간을 선택

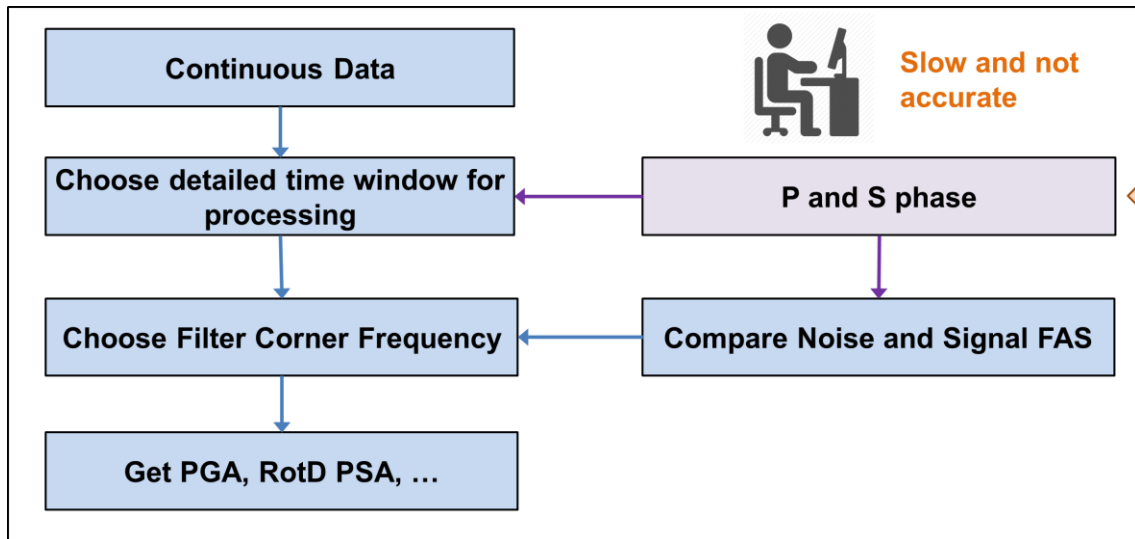
- ✓ $t_{noise-start} = t_{p-arrival} - 2 - (t_{s-arrival} - t_{coda})$
- ✓ $t_{coda-end} = t_{coda} + 2 * (t_{sarrival} - t_{coda})$
- ✓ $t_{coda} = t_0 + \frac{R_h}{3.53} + 17.4 + 0.052R_h + 1; mag \leq 5$

- P, S파의 도달시간

- ✓ 딥러닝 위상검출 모델을 이용



[데이터 가공 구간(Goulet et al., 2014)]

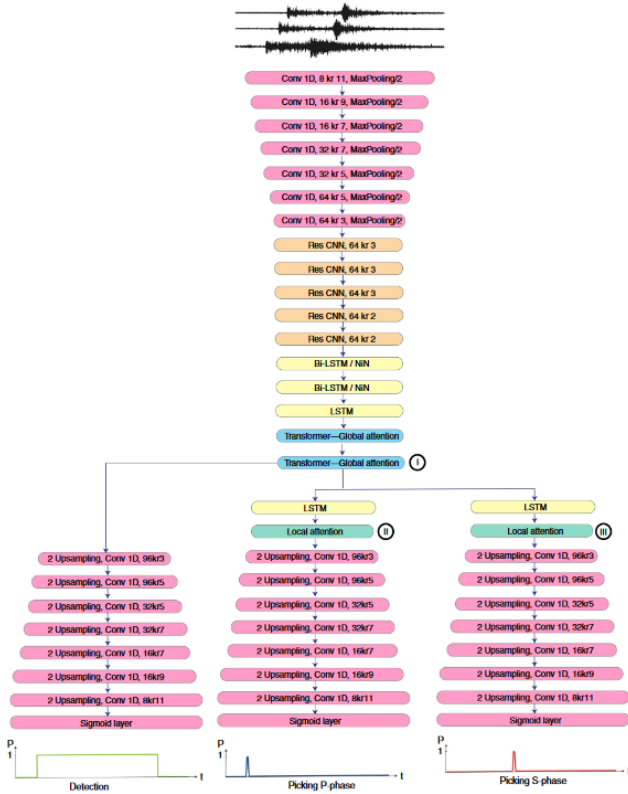


[데이터 처리 과정(J. K. Lee & J. Seo, 2023)]

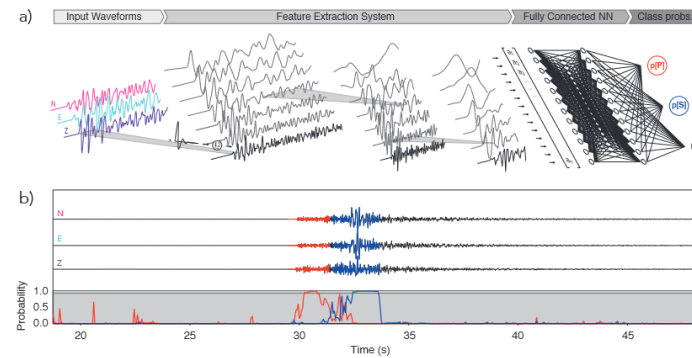
We need to adapt the Deep learning model

■ 딥러닝 위상검출 모델

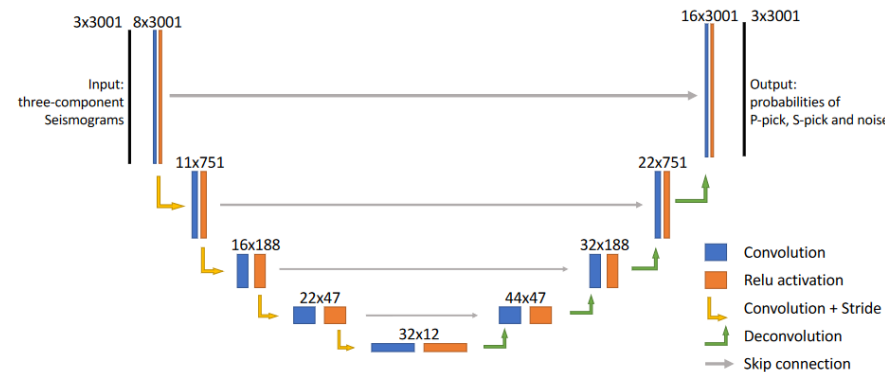
● EQTransformer, GPD, PhaseNet



[EQTransformer(Mousavi et al., 2020)]



[GPD(Ross et al., 2018)]



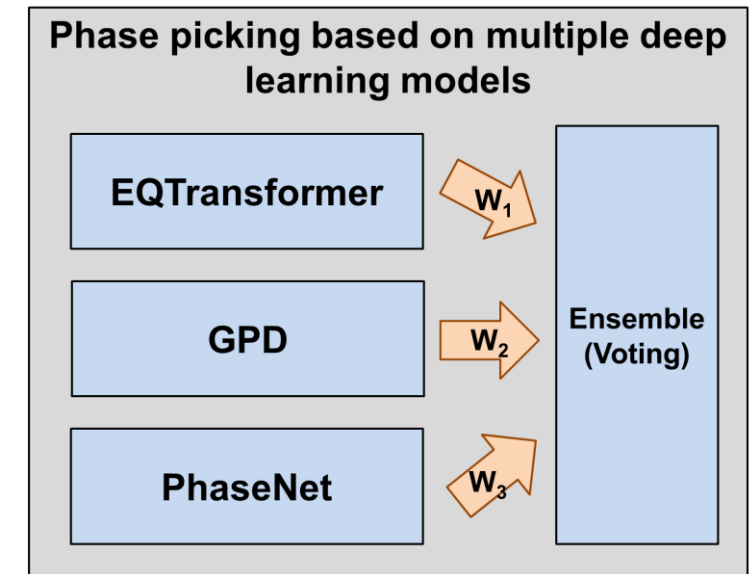
[PhaseNet(Zhu and Beroza, 2019)]

항목	EQTransformer	GPD	PhaseNet
파라미터의 수	376,935	1,741,003	23,305
모델 구성	CNN-RNN-Attention	CNN	U-Net
데이터셋	STEAD	S. California	N. California
데이터 크기	1,100,000	3,375,000	623,000
입력	3축, 100샘플링, 60초 길이	3축, 100샘플링, 4초 길이	3축, 100샘플링, 30초 길이
출력	Detection, 각 Phase의 Onset 및 확률	P, S, Noise의 확률	P, S, Noise의 확률

[모델별 특성]

■ 딥러닝 위상검출 모델

- EQTransformer, GPD, PhaseNet
 - ✓ EarthQuake Transformer(Mousavi et al., 2020): Attention, Transformer
 - ✓ Generalized Seismic Phase Detection(Ross et al., 2018): CNN
 - ✓ PhaseNet(Zhu and Beroza, 2019): U-Net
- Ensemble(Voting)
 - ✓ Soft Voting



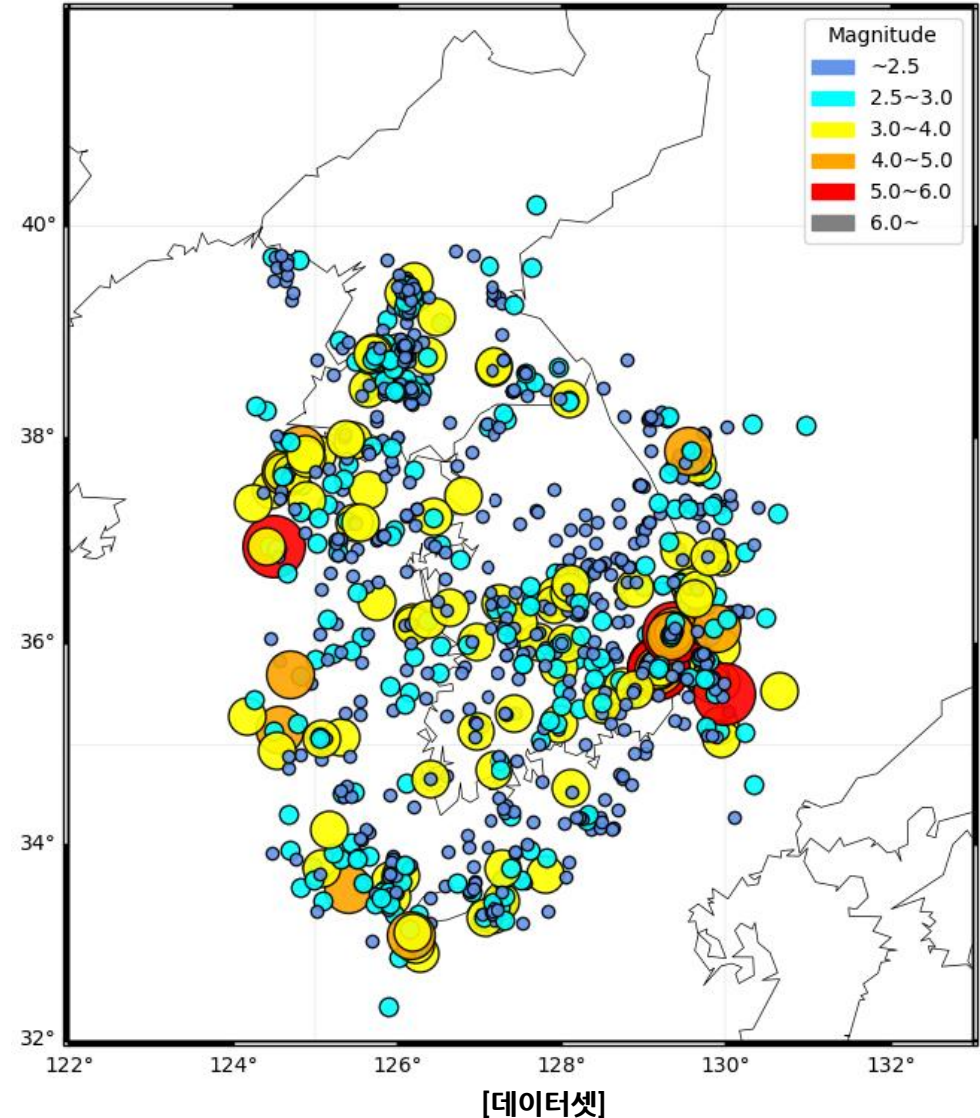
[Ensemble(Voting) (J. K. Lee & J. Seo, 2023)]

■ 딥러닝 위상검출 모델의 성능평가

- 데이터셋
 - ✓ 12년간 국내에서 발생한 규모 2.0 이상 약 1,300여개의 지진 대상
- 성능평가 task(Münchmeyer et al., 2022)
 - ✓ task1: 주어진 파형에서 이벤트/노이즈 여부 식별
 - ✓ task2: P, S 파에 대한 구분 식별
 - ✓ task3: Onset time

task	task1		task2, 3	
	지진파형	노이즈	P파	S파
국내지진 데이터셋	90,133	90,884	89,410	89,271

[task별 데이터셋]

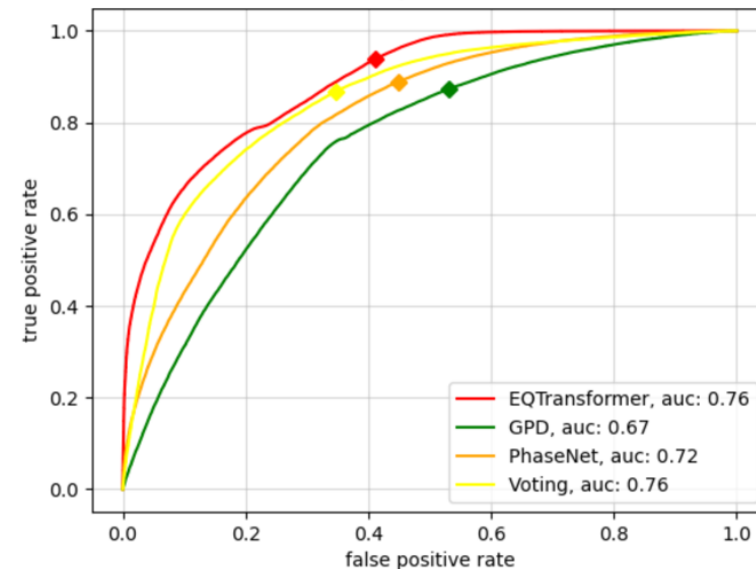
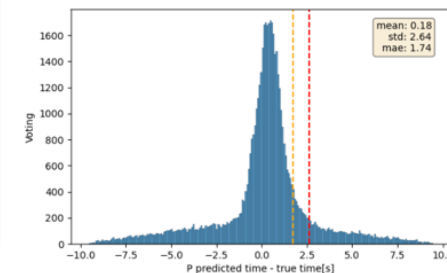
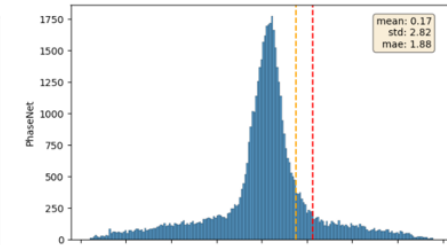
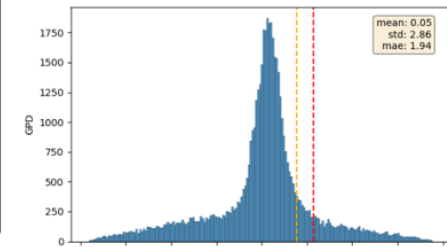
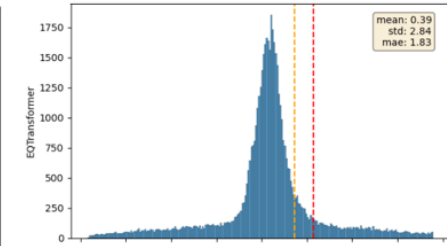
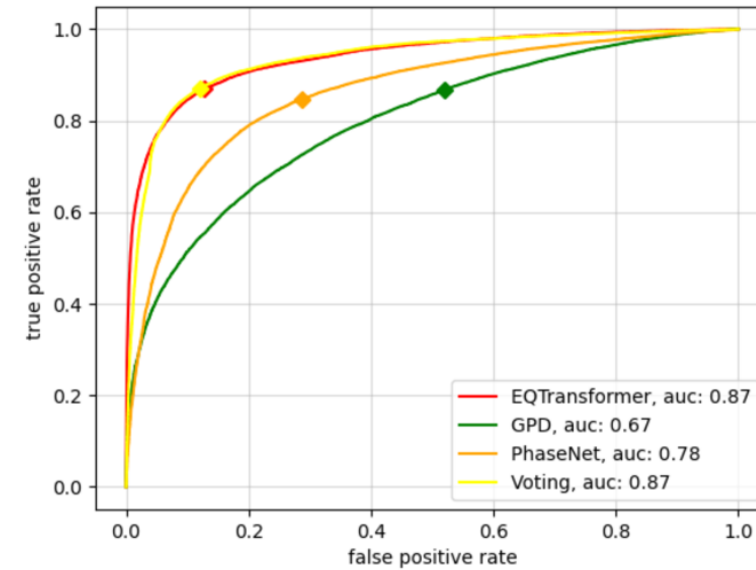


■ 딥러닝 위상검출 모델의 성능평가

● 성능평가 결과

- ✓ task1: EQTransformer(AUC 0.87), Voting(AUC 0.87)
- ✓ task2: EQTransformer(AUC 0.76), Voting(AUC 0.76)
- ✓ task3: Voting(MAE 1.74), EQTransformer(1.83)

※ AUC: Area Under the receiver operating Characteristic,
MAE: Mean Absolute Error



[성능평가 결과(좌상: task1, 좌하: task2, 우: task3)]

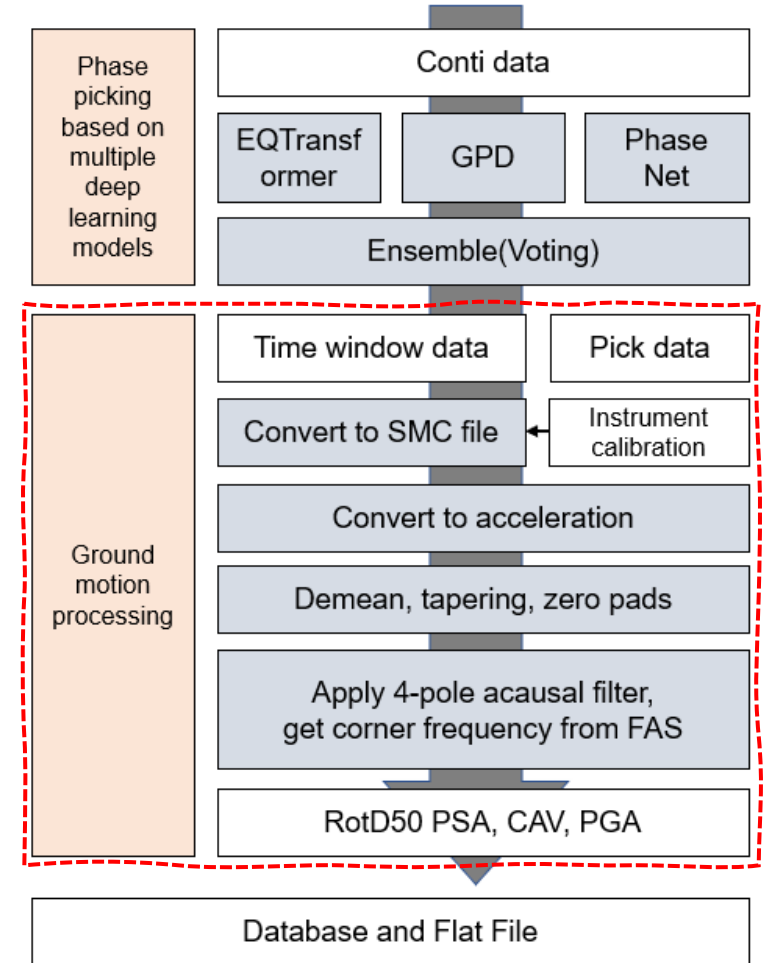
지진 데이터에 대한 처리 과정 도출과 저장

- Peer NGA-East database(Goulet et al., 2014)
- TSPP(A Collection of FORTRAN Programs for Processing and Manipulating Time Series)
- 지진 데이터 처리 과정
 - ✓ 분석구간에 대한 포맷(SMC)변환 및 계기보정
 - ✓ 가속도값으로 통일
 - ✓ 기본선 보정 및 전처리
 - ✓ FAS를 통한 corner frequency 선택 및 필터링
 - ✓ PSA, CAV등의 값을 계산

```

Acceleration File
) UNKNOWN
.
.
.
pk mtn = 9.408E+0
.
.
.
.
.
-32768 2017 90 4 46 9 -32768 -32768
-32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 40
14114 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768
-32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768
-32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768 -32768
-32768 -32768 -32768 -32768 -32768 8 -32768
0.1700000E+39 0.1000000E+03 0.1700000E+39 0.1700000E+39 0.1700000E+39
0.1700000E+39 0.1700000E+39 0.1700000E+39 0.1700000E+39 0.1700000E+39
    
```

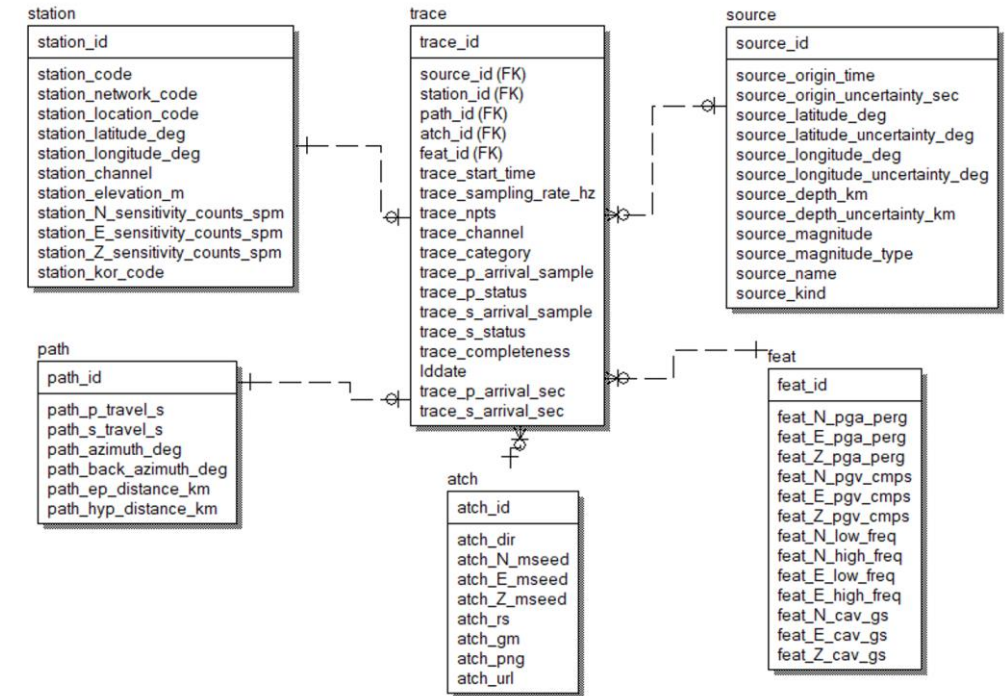
[SMC파일]



[데이터 처리 과정]

네이밍 및 데이터베이스 구조

- Naming rule(Woollam et al., 2022): **CATEGORY_PARAMETER_UNIT**
 - ✓ Category: parameter를 대표(trace, source, station, path)
 - ✓ Parameter: 세부적인 데이터의 특성(latitude, longitude, depth)
 - ✓ Unit: 특성이 가지는 물리적인 값(m, cm, counts, samples)
- Tables: station, trace, source, path, atch, feat
- 1차원 데이터는 테이블(feats)의 구조를 활용하되 2차원 이상의 데이터는 Flat파일의 형태로써 테이블(atch)로 저장



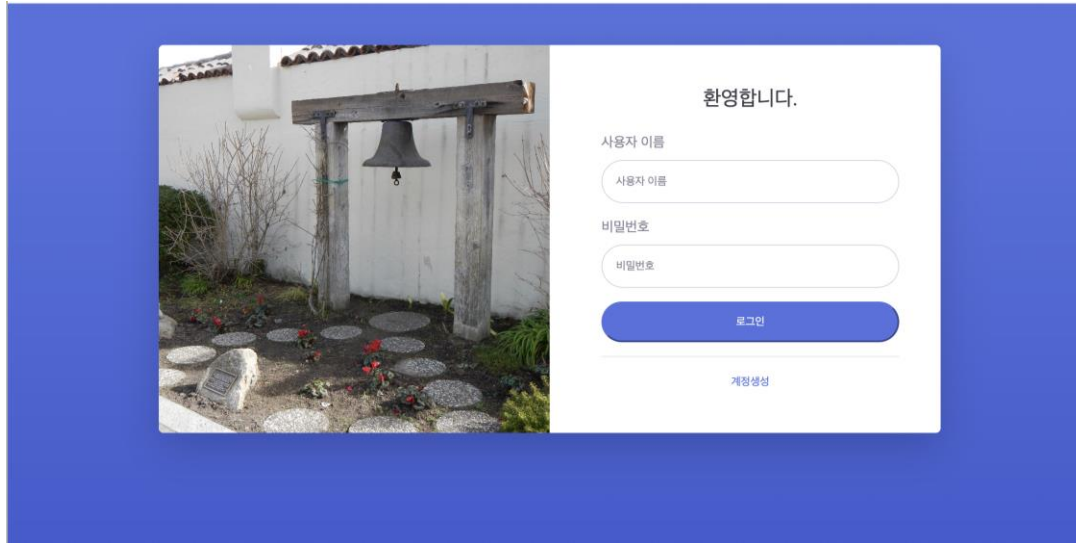
The table shows a flatfile structure with columns for station_id, trace_id, source_id, path_id, atch_id, and various parameters. An orange arrow points from the 'atch' table in the schema above to this table, indicating that 2D data is stored in flatfiles.

[Database Schema and Flat파일]

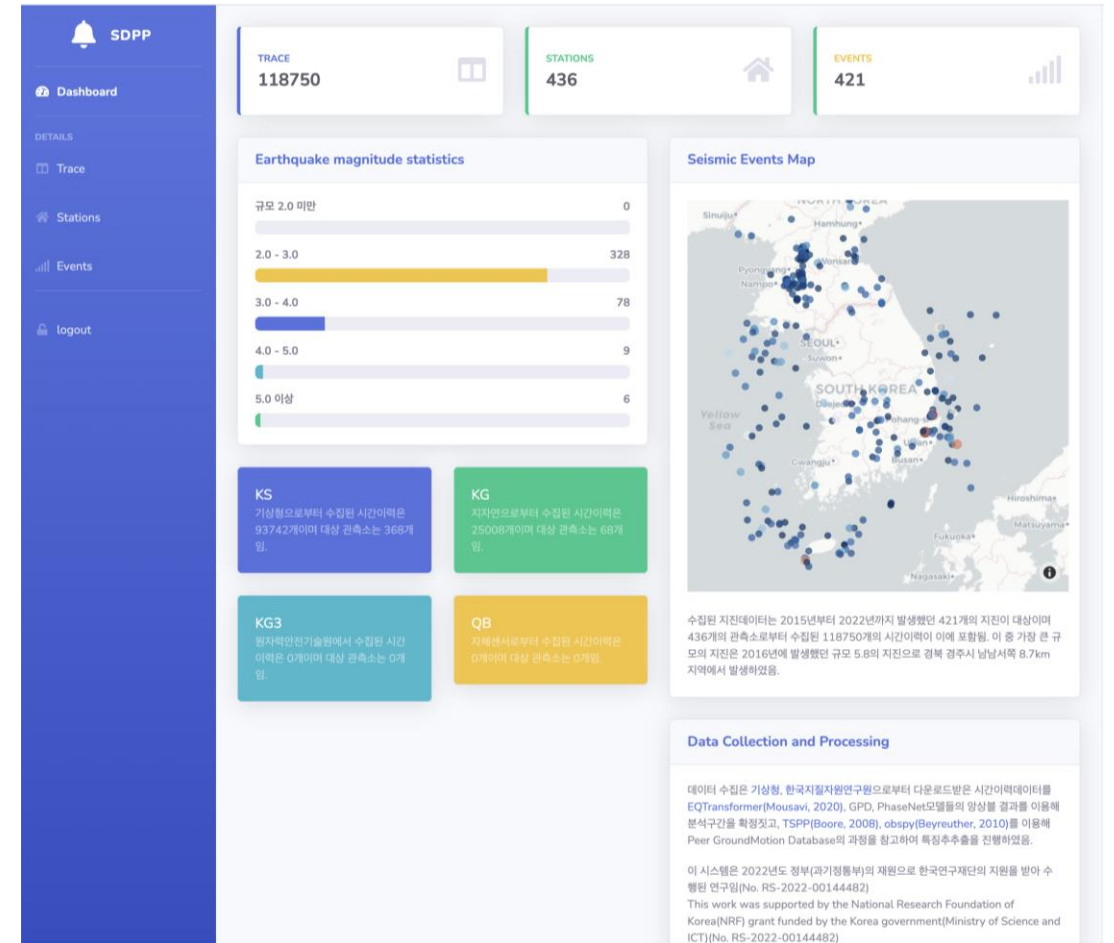
IMPLEMENTS

■ 시간이력 처리에 대한 웹페이지

● 로그인 및 대시보드 페이지



[로그인]



[대시보드]

■ 시간이력 처리에 대한 웹페이지

● 시간이력 및 상세 페이지

SDPP

Dashboard

DETAILS

- Trace
- Stations
- Events
- logout

발생기간(년-월-일)

시작날짜: [] 종료날짜: []

규모범위: [] []

위도범위: [] []

경도범위: [] []

지진명: []

지진명: []

지진코드: [] 관측망코드: []

규모이상: [] 규모미만: []

경도시작: [] 경도끝: []

진원거리(이하K): []

진원거리: []

채널코드(HH, HG, ..): []

채널코드: []

검색

#	지진명	▼진원시	지점	지점(한)	관측망	채널	규모	진원거리	주파수범위
128988	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	AJD	안학도	KG	HG	2.6	574.6	0.544 - 41.667
128987	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	BRS	남백령도	KG	HG	2.6	553.3	0.544 - 41.667
128986	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	BOG	봉계	KG	HG	2.6	312.5	0.544 - 41.667
128985	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	BGD	보길도	KG	HH	2.6	593.4	0.544 - 41.667
128984	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	CHNB	철원	KG	HH	2.6	339.4	0.544 - 41.667
128983	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	BRN	북백령도	KG	HG	2.6	557.7	0.544 - 41.667
128982	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	BGD	보길도	KG	HG	2.6	593.4	0.544 - 41.667
128981	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	CGU	천군	KG	HG	2.6	298.4	0.544 - 41.667
128980	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	BBK	방방굴	KG	HG	2.6	314.8	0.544 - 41.667
128979	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역	2022-06-02 11:48:21	CGD	청도	KG	HG	2.6	338.7	0.544 - 41.667

1 2 3 4 5 6 7 ... 다음 >

1 / 12899

[시간이력 조회]

Trace(21975) 정보

지진 발생시간: 2022-04-15 17:08:34
 지진 규모: 2.6
 지진 위치: 34.75 N, 127.26 E
 지진 깊이: 18.0 km
 지진 종류: IQUAKE
 지진 명: 전남 고흥군 북쪽 16km 지역

관측소 이름: KS.NLDA.HG
 관측소 위치: 34.53 N, 127.47 E (높이 179.00 m)

파형 시작시간: 2022-04-15 17:08:18
 Sampling: 100.0 Hz
 Npts: 8,528
 P파 정보: 17:08:40 (이론값보다 0.45 초 빠름)
 S파 정보: 17:08:44 (이론값보다 0.09 초 빠름)
 진원거리: 35.60 km (141.73 도)
 P파 - 진원시: 6.73 초 경과됨
 S파 - 진원시: 10.94 초 경과됨
 PGA: N 0.031 %g, E 0.047 %g, Z 0.037 %g
 PGV: N 0.004 cm/s, E 0.007 cm/s, Z 0.004 cm/s
 PSA Details: KS.NLDA.HGZ.2022.105.17.08.34.psa
 FAS Details: KS.NLDA.HGZ.2022.105.17.08.34.fas

Source-Station Map

Seismic wave

KS.NLDA

HGN, HGE, HGZ

Detection

P, S

ED Transform

EDF

P, S

VOTING PseudoVel

P, S

FAS

HGE, HGN

fit, smooth

PSA

E comp, RefD50, N comp

Pseudo-Spectral Acceleration (PSA/g)

Period, T(sec)

[시간이력 상세]

■ 시간이력 처리에 대한 웹페이지

● 관측소 및 이벤트 조회

#	▲지점코드	지점코드(한)	관측망코드	채널코드	위도	경도	고도	민감도(mV)
1366	ADG	안동백합스위치아드	KP	HG	36.59 N	128.54 E	0.00	0.0001168
1365	ADO2	안동	KS	HG	36.41 N	128.95 E	0.30	0.0001169
1364	ADO2	안동	KS	HG	36.41 N	128.95 E	320.00	0.0001169
1363	ADOA	송현	KS	HG	36.57 N	128.70 E	164.00	0.0000291
1362	ADOA	송현	KS	HG	36.57 N	128.70 E	164.00	0.0001166
1361	ADOA	송현	KS	HG	36.57 N	128.70 E	164.00	0.0001166
1360	ADOA	송현	KS	HG	36.57 N	128.70 E	164.00	0.0000291
1359	ADOA	송현	KS	HG	36.57 N	128.70 E	158.00	0.0001166
1358	AGSA	양성	KS	HG	37.09 N	127.81 E	104.00	0.0001171
1357	AID	안좌도	KG	HG	34.75 N	126.12 E	125.40	0.0001169

[관측소 조회]

#	▼진행시	규모	깊이	위도	경도	위치
421	2022-06-02 11:48:21	2.6	26	38.12 N	130.98 E	경북 울릉군 울릉도 북쪽 71km 해역
420	2022-04-15 17:08:34	2.6	18	34.75 N	127.26 E	전남 고흥군 북쪽 16km 지역
419	2022-04-09 17:45:46	3.4	18	36.45 N	129.62 E	경북 영덕군 동쪽 23km 해역
418	2022-03-06 9:40:32	2.5	18	37.31 N	129.54 E	강원 삼척시 동남동쪽 37km 해역
417	2022-02-14 21:52:28	2.5	29	41.29 N	129.23 E	북한 황해북도 김주 북서쪽 38km 지역
416	2022-02-11 2:58:57	2.5	0	38.45 N	125.96 E	북한 황해북도 사리원 동남동쪽 18km 지역
415	2022-02-11 1:35:26	3.1	17	41.30 N	129.21 E	북한 황해북도 김주 북서쪽 40km 지역
414	2022-02-08 6:57:13	2.9	16	35.07 N	125.06 E	전남 신안군 흑산도 북서쪽 55km 해역
413	2022-01-05 4:00:26	2.5	0	39.38 N	126.18 E	북한 평안남도 성린 북쪽 16km 지역
412	2021-12-16 21:22:10	3.2	18	33.12 N	126.18 E	제주 서귀포시 서남서쪽 38km 해역

[이벤트 조회]

SUMMARY AND REFERENCE

■ 요약 및 결론

- 딥러닝 위상검출 모델의 성능 평가를 진행하고 Voting 방식을 채택함. 딥러닝 모델의 적용은 스마트 센서로부터의 실시간 자료를 위한 자동화처리에 사용되며 이를 통해 작업시간과 인적 에러를 줄일 수 있음
- 자료처리는 NGA-East database의 방식을 사용함. Ground motion data에 대한 신뢰도를 향상시킬 수 있음
- 데이터베이스의 스키마를 제안함. 테이블의 구조 외에 Flat파일을 사용하여 2차원 데이터 등에 대한 확장성을 보장함

C. A. Goulet et al., “PEER NGA-East database,” *Earthq. Spectra*, vol. 37, no. 1_suppl, pp. 1331-1353, Oct. 2014, doi: 10.1177/87552930211015695.

J. K. Lee and J. Seo, “A study on input ground motion processing platform for evaluating seismic fragilities using Deep Learning Phase Determination Model,” *EGU General Assembly 2023*, Vienna, EGU23-4709, Apr. 2023. doi: 10.5194/egusphere-egu23-4709.

J. Münchmeyer et al., “Which picker fits my data? A quantitative evaluation of deep learning based seismic pickers,” *ArXiv211013671 Phys.*, Oct. 2021, Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2110.13671>

J. Woollam et al., “SeisBench -- A Toolbox for Machine Learning in Seismology,” *ArXiv211100786 Phys.*, Nov. 2021, Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2111.00786>

S. M. Mousavi, W. L. Ellsworth, W. Zhu, L. Y. Chuang, and G. C. Beroza, “Earthquake transformer—an attentive deep-learning model for simultaneous earthquake detection and phase picking,” *Nat. Commun.*, vol. 11, no. 1, p. 3952, Dec. 2020, doi: 10.1038/s41467-020-17591-w.

W.-Y. Liao, E.-J. Lee, D. Mu, P. Chen, and R.-J. Rau, “ARRU Phase Picker: Attention Recurrent-Residual U-Net for Picking Seismic P - and S -Phase Arrivals,” *Seismol. Res. Lett.*, vol. 92, no. 4, pp. 2410-2428, Jul. 2021, doi: 10.1785/0220200382.

Z. E. Ross, M. Meier, E. Hauksson, and T. H. Heaton, “Generalized Seismic Phase Detection with Deep Learning,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 108, no. 5A, pp. 2894-2901, Oct. 2018, doi: 10.1785/0120180080.

김민욱, 박병준, 민기훈. “원전부지 설계기준지진 재평가를 위한 지진관측망 구축”. *대한지질학회 학술대회*, pp. 369-369, 2022.