



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

기계학습을 활용한 공장 지붕형 태양광 발전
구조물의 안전성 평가



2025년 2월

부경대학교 대학원

건축·소방공학부

김시원

공학석사 학위논문

기계학습을 활용한 공장 지붕형 태양광 발전 구조물의 안전성 평가

지도교수 이 창 환
(공동지도교수 박 민 재)

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2025년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

건 축 · 소 방 공 학 부

김 시 원

김시원의 공학석사 학위논문을 인준함.

2025년 02월 21일



위 원 장 공학박사 정 철 우 (인)

위 원 공학박사 박 민 재 (인)

위 원 공학박사 이 창 환 (인)

목 차

Abstract

I. 서론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 기존 연구 동향	5
1.3 연구 목적 및 범위	8
II. 설계 개요	10
2.1 태양광 발전 구조물 설계 과정	10
2.2 태양광 발전 구조물 개요	12
2.3 설계 조건 및 고려 사항	15
2.3.1 하중 조건	15
2.3.2 태양광 발전 구조물 규격	16
2.4 기계학습 DB 구축	17
2.4.1 태양광 발전 구조물 하중 산정 방법	17
2.4.2 태양광 발전 구조물 하중 안전성 평가 방법	20
2.4.3 기계학습 DB	23
2.5 데이터 베이스 분석	26
2.6 소결	27

III. 기계학습	28
3.1 KNN(K-최근접 이웃, K-Nearest Neighbors)	28
3.2 로지스틱 회귀(Logistic Regression)	31
3.3 랜덤 포레스트(Random Forest)	33
3.4 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine)	35
3.5 그리드 서치(Grid Search)	37
3.6 소결	39
IV. 기계학습 평가 방법 및 결과	40
4.1 F1 스코어	40
4.2 K-폴드 교차검증(K-Fold Cross Validation)	42
4.3 기계학습 모델 결과	44
4.4 정확도 향상 기법	49
4.4.1 Standard Scaler 및 결과	49
4.4.2 Over Sampling 및 결과	56
4.5 소결	63

V. 기계학습 상세 분석	66
5.1 특성 중요도 분석	66
5.2 데이터 편향 분석	68
5.2.1 주성분 분석	68
5.2.2 특이값 분해	72
5.2.3 독립성분 분석	73
5.2.4 결과	74
5.3 비선형 상관관계 분석	89
5.3.1 데이터 선형 상관관계 분석	89
5.5.2 서피스 플롯	91
5.4 소결	93
VI. 결론	94
참고 문헌	96

부록

감사의 글

표 목 차

표 2.1 태양광 발전 구조물 설계 하중조합	19
표 2.2 기계학습 DB	24
표 2.3 데이터 기초 통계량	25
표 3.1 하이퍼 파라미터 탐색 범위	38
표 4.1 하이퍼 파라미터 탐색 결과	37
표 4.2 기계학습 모델 F1 스코어	38
표 4.3 Standard Scaler 후 하이퍼 파라미터	54
표 4.4 Standard Scaler 후 F1 스코어	55
표 4.5 Over Sampling 후 하이퍼 파라미터	61
표 4.6 Over Sampling 후 F1 스코어	62
표 5.1 차원 축소 후 하이퍼 파라미터	75
표 5.2 차원 축소 후 F1 스코어	82

그림 목 차

그림 1.1 태양광 발전 구조물 공사 진행 과정	4
그림 2.1 태양광 발전 구조물 단면도	13
그림 2.2 태양광 발전 구조물 배면도	13
그림 2.3 태양광 발전 구조물 3D	14
그림 2.4 데이터 분포 히스토그램	26
그림 2.5 데이터 분포 박스 플롯	26
그림 3.1 KNN 알고리즘	30
그림 3.2 유클리드 거리	30
그림 3.3 시그모이드 함수	32
그림 3.4 결정 트리	34
그림 3.5 SVM 모델의 차원 구성	36
그림 4.1 F1 스코어	41
그림 4.2 K-폴드 교차검증	43
그림 4.3 KNN F1 스코어	45
그림 4.4 LR F1 스코어	45
그림 4.5 RF F1 스코어	36
그림 4.6 데이터 표준화 후 히스토그램	50
그림 4.7 데이터 표준화 후 박스 플롯	50
그림 4.8 KNN-S F1 스코어	52
그림 4.9 LR-S F1 스코어	52
그림 4.10 RF-S F1 스코어	53
그림 4.11 SVM-S F1 스코어	53
그림 4.12 KNN-SO F1 스코어	58
그림 4.13 KNN-O F1 스코어	58

그림 4.14 LR-SO F1 스코어	59
그림 4.15 LR-O F1 스코어	59
그림 4.16 RF-SO F1 스코어	60
그림 4.17 RF-O F1 스코어	60
그림 4.18 KNN F1 스코어 비교	64
그림 4.19 LR F1 스코어 비교	64
그림 4.20 RF F1 스코어 비교	65
그림 5.1 RF 모델 특성 중요도	67
그림 5.2 PCA 누적 분산 비율	69
그림 5.3 PCA 주성분 별 변수의 가중치 부하	70
그림 5.4 변수별 피어슨의 상관계수	90
그림 5.5 변수와 안전 클래스 사이의 상관관계	92
그림 5.6 변수와 불안전 클래스 사이의 상관관계	92

Structural Safety Assessment of Factory Rooftop Photovoltaic Structures
Using Machine Learning

Shi Won Kim

Division of Architectural and Fire Protection Engineering,
Pukyong National University

Abstract

This paper proposes a machine learning model to solve the time cost of repeated design changes and structural reviews by experts due to the instability of the initial design by non-experts in the construction of rooftop photovoltaic. 4 machine learning models were evaluated for their performance in predicting the safety of photovoltaic. Grid search, Standard scaler, and Over sampling were used to improve the performance of the machine learning models. The model was trained with K-fold cross-validation and evaluated with F1-Score. The RF model showed the best performance with 85% in the safe class and 94% in the unsafe class. The KNN model performed poorly in the safe class due to data imbalance. The SVM model performed well, but required the longest time for prediction at 1.94 seconds. The LR model had the lowest performance. Dimensionality reduction models were also evaluated using PCA, SVD, and ICA. The dimensionality reduction models mostly performed worse than the original models. We analyzed why the models performed worse when dimensionality was reduced. The cumulative variance

ratio and information loss error were 99% and 0.021, indicating no data loss. We analyzed the linearity of the data structure and found that most of the Pearson's r coefficients were close to zero, and the correlation between input and output variables was analyzed as nonlinear using surface plots. Due to the non-linear data structure, the dimensionality reduction model performs poorly, with the LR model showing the lowest performance of the four models. Therefore, we propose the RF model as a method for non-structural experts to judge the safety of rooftop photovoltaic structures.



I. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

최근 지구 온난화 문제 해결을 위하여 도입된 정책 중 하나로 온실가스 배출권 거래제가 도입되었다. 온실가스 배출권 거래제란 온실가스를 배출하는 기업을 대상으로 온실가스 배출권을 지정하고, 이를 거래하는 제도이다. 각 기업은 자신이 배출하는 온실가스의 양을 초과할 경우 비용을 지불하며, 배출을 감소시키면 배출권을 다른 기업에 판매하여 추가 수익을 발생시킬 수 있다. 이러한 이유로 기업들은 온실가스 저감을 위하여 신재생 에너지 산업에 대한 관심이 증가하였다. 신재생 에너지 산업에 대한 기업들의 관심 증가로 녹색 일자리 창출과 태양광, 풍력 발전소와 같은 친환경 에너지 산업이 성장하고 있다. Kim(2021)은 국내 재생에너지 정책을 검토하며, 그 개선 방안에 대한 연구를 진행하였다.

국내 재생에너지 정책 중 탄소중립설비 지원 사업은 온실가스 배출권거래제에 참여하는 기업의 탄소중립설비 설치비용을 지원하는 사업이다. 탄소중립설비 지원 사업은 탄소중립설비 설치비용의 부담을 줄여주기 위하여, 최대 70%까지 국가에서 지원하는 정책이다. 신재생에너지 설비 중 태양광 발전 구조물은 온실가스 배출권 거래제에 참여하지 않는 업체도 건물 지원 사업을 통해 보조금을 받을 수 있다. 태양광 발전 설비 중 지붕형 구조물은 기존에 사용되지 않는 건물 지붕을 활용하기 때문에 많은 기업들이 이를 설치하려고 한다. 또한 태양광 발전 구조물에서 생산된 전력을 한국 전력공사에 판매하여 경제적 이득을 얻을 수 있으며, 태양광 발전 구조물 설치비용에 대하여 세금 감면 등의 혜택이 있다. 이렇듯, 지붕형 태양광 발전 구조물의 경우 정부 지원 사업으로 인한 설치비용의 감소, 기존에 사용

되지 않던 지붕의 활용, 생산된 전력 판매를 통한 경제적 이득, 설치비용에 대한 세제 혜택 등의 이유로 많은 기업들에서 관심이 증가하고 있다.

지붕형 태양광 발전 구조물 사업은 사업 계획 및 발전사업 허가, 구조안 전성 검토의 순으로 진행된다. 사업 계획 및 발전사업 허가 단계에서는 구조 비전문가가 태양광 발전 구조물을 설치할 건축물에 대한 조사를 실시한다. 조사한 결과를 토대로 태양광 발전 모듈 배치를 진행하면서 모듈 설치 각도를 결정하여 발전 용량을 산정한다. 이후 구조 비전문가가 지붕 골 간격과 각도 등을 토대로 경험에 따라 배치된 모듈을 지지하는 구조물 초기 설계를 실시한다. 태양광 발전 구조물의 높이는 기존 지붕에 설치되어 있는 설비들의 음영에 영향을 받지 않도록 설계한다. 이렇듯 구조 비전문가의 경험과 현장 조건에 따라 초기 설계가 완료되면, 초기 설계안을 토대로 최종 공사비용을 결정한다. 결정된 발전 용량과 공사비용을 토대로 태양광 발전 구조물에 대한 인허가가 이루어지며, 인허가 이후 구조 전문가에 의해 안전성 검토가 이루어진다.

구조안전성 검토 시 구조 전문가는 태양광 발전 구조물 안전성 검토와 건축물 안전성 검토를 순서대로 진행한다. 태양광 발전 구조물 안전성 검토 단계에서 비전문가의 경험에 따라 설계된 초기 설계안이 불안정한 경우가 많다. 초기 설계안이 불안정할 경우 전문가와 비전문가간의 협의를 통해 재설계와 검토를 진행하는데, 이미 초기 설계단계에서 공사비용을 결정하였기 때문에 태양광 발전 구조물의 재설계로 인한 공사비용 증가로 인해 많은 협의가 필요하다. 또한 인허가 후 구조안전성 검토를 진행하기 때문에 모듈 배치 변경을 통한 태양광 발전 구조물의 안전성 확보에는 한계가 있다. 태양광 발전 구조물이 안전하다면 건축물의 안전성에 대한 검토가 이루어진다. 건축물이 태양광 발전 구조물 설치로 인해 불안정할 경우 1차

적으로 보수/보강 방법에 대한 검토가 이루어진다. 하지만 건축물의 보수/보강은 공사 비용이 증가한다. 또한 기존에 사용하던 건축물 용도에 영향을 주지 않기 위해 많은 협의가 필요하며, 보수/보강 공사에 어려움이 있다. 이로 인해, 건축물 보수/보강이 불가할 경우 보수/보강 없이 건축물에 적합한 태양광 발전 구조물을 재설계하게 된다. 태양광 발전 구조물의 설계 과정은 그림 1.1과 같다.

이렇듯 태양광 발전 구조물 설계 시 구조 비전문가의 불안정한 초기 설계를 토대로 공사 비용 산정과 인허가가 이루어진다. 이후 구조안전성 검토 단계에서 공사 비용 증가의 어려움과 발전 용량 변경의 한계, 건축물 보수/보강의 어려움 등으로 인하여 구조 전문가와 비전문가 사이에 많은 협의가 필요하며, 구조 전문가는 반복적인 재설계와 검토로 인해 많은 인력과 시간이 소요된다. 본 연구에서는 구조 비전문가가 초기 설계 시에 태양광 발전 구조물의 안전성을 식별할 수 있는 기계학습 모델을 제시하여, 비전문가의 초기 설계안의 불안정성으로 인해 생기는 문제를 해결하기 위한 방안으로 제시하고자 한다.

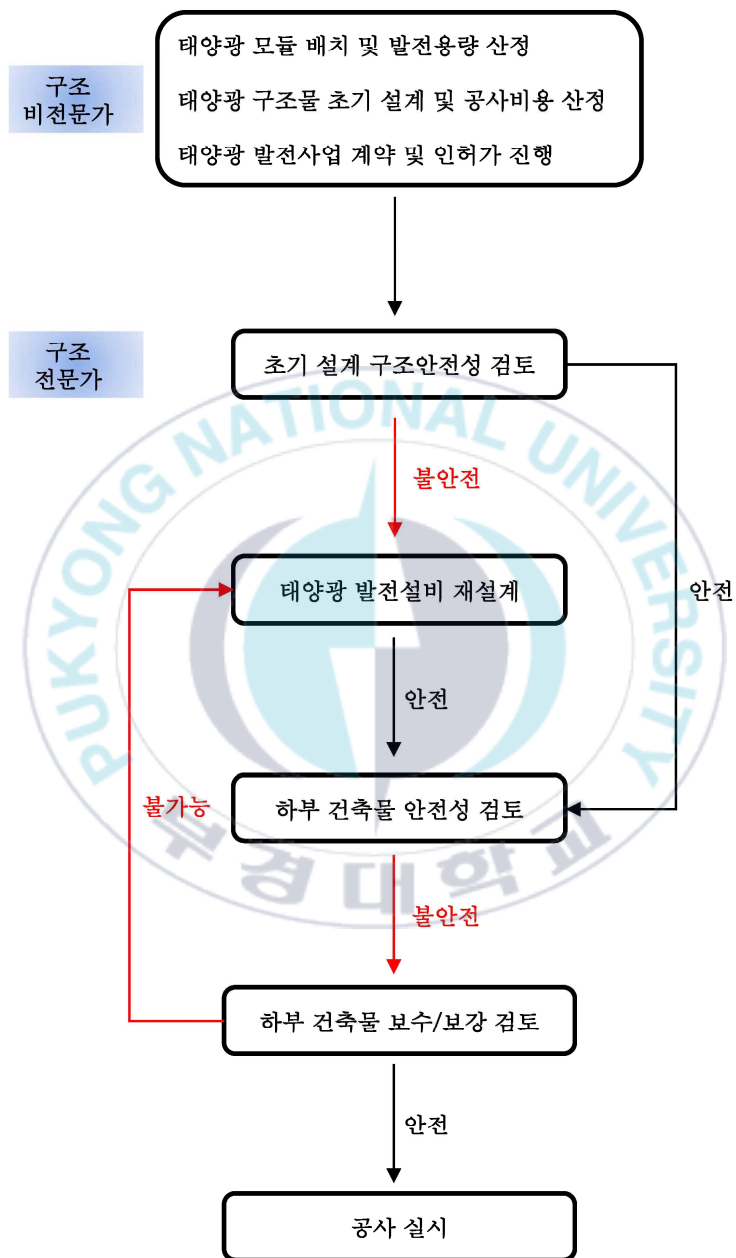


그림 1.1 태양광 발전 구조물 공사 진행 과정

1.2 연구 동향

인공지능과 기계학습의 발전으로 건축 분야에서도 이를 활용하려는 연구들이 많이 진행되고 있다. 강인성 등(2017)은 국내 및 국제 학술지에서 인공지능이 건축 분야에서 연구되는 동향을 파악하고, 앞으로의 적용 가능성을 제시하였다. 연구에 따르면 건축 환경과 시설물 분야에 대하여 인공지능과 기계학습을 적용하는 연구가 꾸준히 증가하고 있으며, 기계학습 모델은 대부분 ANN(Artificial Neural Network)을 적용하였다. 향후 국내 산업의 경쟁력을 위해 건축 분야에서 인공지능과 기계학습 연구를 적극 추진해야 한다고 주장하였다. Baduge 등(2022)은 건축 설계 및 시각화 등의 분야에 인공지능, 기계학습 및 딥 러닝의 적용 방법을 연구하였다. 구조 설계 분야에서 인공지능과 기계학습의 활용은 아직 시작 단계에 있지만, 강도와 성능 예측, 좌굴 등의 영역에서는 활발히 연구되었다. Imam 등(2024)은 건물 구조 설계 및 성능 평가 분야에서 기계학습 모델 중 결정 트리, 랜덤 포레스트, 적응형 부스트 트리, 로지스틱 회귀, 서포트 벡터 머신, KNN(K-Nearest Neighbor) 등의 적용 가능성을 연구하였다. 기계학습 모델들은 좋은 성능을 보여주었지만, 고품질 데이터 확보에 어려움이 있었다. 기계학습 모델 적용 시 학습 및 해석을 제공하고 있으며, 향후 건축 분야에 적용하기 위해 오픈 소스 저장소를 통해 고품질 데이터를 확보해야 한다고 주장하였다.

기계학습 모델은 구조 분야의 최적화 설계 문제에도 많이 사용된다. 김봉익(2012)은 트러스 및 프레임 구조물의 단면 설계에서 고유진동수, 처짐, 응력 제약을 고려한 최적화 설계에 기계학습 모델을 적용한 연구를 수행하였다. 유전자 알고리즘이 발전용 구조물의 설계 최적화 문제에 적합한 방법이라고 주장하였다. Hashemi 등(2018)은 ANN 모델을 이용하여 상세 설

계 단계 전에 MRF(Moment-Resisting Frame) 철골구조에 필요한 철골의 양을 예측하는 모델을 연구하였다. 이 연구는 층 높이, 스패 길이, 층 수, 지진, 연성, 지반 등급, 단위 중량 등의 영향을 분석하였다.

이승혜 등(2022)은 구조적 성능을 예측하는 기계학습 모델을 연구하였다. 기계학습 모델을 활용하여 CFST(Concrete-filled steel tubular) 기둥의 공칭 강도를 예측하는 모델을 제시하였다. 수퍼 러너 기법은 CFST 기둥 공칭 강도의 예측에 필요한 고도의 비선형 관계를 비교적 정확하게 예측했다. Nguyen 등(2023)은 부식된 변단면 H형강 기둥의 임계 좌굴 하중을 예측하는 ANN 모델을 연구하였다. ANN은 99% 이상의 성능으로 임계 좌굴 하중을 예측하는 데 탁월했다. Han 등(2021)은 철골 발전 구조물의 내진 성능 예측에 대하여 랜덤 포레스트, XGBoost, ANN 등을 활용한 연구도 진행하였다. 세 가지 모델 모두 90% 이상의 좋은 성능을 보여주었고, XGBoost 모델이 가장 좋은 성능을 보여주었다.

이외에도 다양한 건축 분야에서 기계학습 모델과 인공지능에 대한 연구가 이루어졌다. Jang 등(2022)은 7가지 기계학습 모델을 사용하여 콘크리트 균열 결함을 예측하는 모델을 연구하였다. 김지형 등(2021)은 열화상 이미지에서 추출된 온도와 환경 변수를 이용하여 콘크리트의 균열 깊이를 예측하는 기계학습 모델을 연구하였다. 연구 결과, AB(AdaBoost) 모델이 가장 우수한 성능을 보였으며, MAPE(Mean Absolute Percentage Error) 분석, 변수 중요도, 부분 의존도 등을 분석하였다. 재료 분야에서 Gupta 등(2023)은 6가지 철강 미세 구조 유형의 다중 클래스 분류를 위한 기계학습 모델을 연구하였다. KNN 모델을 활용하였으며, F1 스코어로 평가하였다. KNN 모델은 5가지 유형에서 높은 F1 스코어를 보였지만, M, RA(Martensite and retained austenite microstructure) 유형의 F1 스코어

는 낮았다. 연구진은 M, RA 유형의 미세 구조 불확실성으로 인해 F1 스코어가 낮게 나타났다고 설명하였다. 김시원 등(2024)은 KNN 모델과 로지스틱 회귀 모델을 활용하여 비전문가가 태양광 발전 구조물의 불안전성을 식별할 수 있는 기계학습 모델을 제안하였다. 이 연구에서는 정확도 향상을 위해 Standard Scaler를 사용하였으며, F1 스코어를 통해 모델을 평가하였다. 두 모델은 불안전성 식별에 좋은 성능을 보였지만, 안전성 식별에는 보완이 필요하였다. 연구진은 안전 데이터와 불안전 데이터 수의 차이로 인해 데이터 불균형이 발생했다고 판단하였다. 이후 김시원 등(2024)은 랜덤 포레스트 모델과 서포트 벡터 머신을 추가적으로 평가하였다. 랜덤 포레스트 모델에 Over Sampling 기법을 함께 사용하였을 때 가장 높은 예측 성능을 보였다.

앞선 다양한 연구들이 기계학습과 인공지능을 건축 구조 분야에서 활용하였다. 대부분 전문가가 MRF 철골 기둥과 트러스 철골 구조물의 최적화 설계 또는 CSFT 기둥의 공칭강도와 변단면 H형강 기둥의 임계 좌굴 하중 등 구조 성능 예측 등의 분야에서 활용하는 연구로 전문적인 지식이 필요하다. 이에 따라 본 연구는 비전문가가 초기 설계 시 기계학습 모델을 활용하여 태양광 발전 구조물의 안전성을 판단함으로써, 구조 전문가가 구조 안전성 검토 시 반복적인 설계와 검토를 줄일 수 있으며, 초기 설계 단계에서 안전한 구조물을 대상으로 공사 비용을 산정할 수 있을 것으로 예상된다.

1.3 연구 목적 및 범위

앞서 설명했듯이 태양광 발전 구조물 설치 시 비전문가가 초기 설계 및 발전 사업 허가 후 구조 전문가가 구조 안전성 검토를 진행한다. 구조 안전성 검토 시 초기 설계안이 불안전하며 건축물 보수/보강의 어려움과 발전 용량 변경의 한계로 인해 전문가가 태양광 발전 구조물 재설계와 검토를 반복하게 된다. 이때, 초기 설계안을 토대로 공사 비용을 산정하였기 때문에 공사 비용이 증가하며, 구조 전문가는 반복적인 재설계와 검토로 많은 시간과 인력이 소요되고 전문가와 비전문가의 많은 협의가 필요하다. 이러한 문제의 해결 방법으로 비전문가가 초기 설계 시 결정하는 태양광 모듈 각도와 구조물 높이, 보 간격 및 기둥 간격 등을 변수로 태양광 발전 구조물의 안전성을 판단할 수 있는 기계 학습 모델을 제안한다. 초기 설계 시에 안전한 태양광 발전 구조물을 통해 공사 비용과 인허가를 진행하여, 추후 생기는 반복적인 재설계와 공사 비용 문제를 해결할 수 있을 것이다.

2장에서는 기계 학습 모델이 안전성을 판단할 태양광 발전 구조물의 형태와 설계 조건에 대해 다루고 있다. 안전성을 평가할 대상은 태양광 발전 구조물의 중도리, 보 및 기둥에 대해 진행되었다. 공사 비용 중 태양광 모듈을 제외하면 중도리, 보 및 기둥이 가장 큰 비용을 차지하고 있으며, 안전성 검토 시 전문가와 비전문가 사이에 가장 많은 협의가 필요하다. 가새 설계 및 접합부 설계와 건축물 안전성 검토 및 보수/보강 검토는 본 연구에서는 제외되었다. 가새 설계와 접합부 설계의 경우에는 시공사별로 다양한 방법을 사용하기 때문에 일반화가 어려우며, 건축물의 안전성은 비전문가가 안전성 검토에 필요한 조건을 파악하기에는 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 비전문가가 초기 설계 시에 결정하는 태양광 발전 구조물 설계 조건을 변수로 채택하여, 안전성을 판단할 수 있는 기계 학습 모델을

제안하고자 한다. 설계 조건으로는 기존에 설계된 태양광 발전 구조물을 취합하기 위해 국내 국가 건설 기준(KDS)의 건축 구조 기준 설계하중(KDS 41 10 15 : 2019)과 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 30 10 : 2019)에 따라 연구를 진행하였다. KDS 2019에 따라 구조 해석된 결과는 총 11,207개의 데이터가 취합되었다.

3장과 4장에서는 연구에 사용될 기계 학습 모델을 설명하고, 데이터베이스를 통해 기계 학습 모델을 학습하고 평가하였다. 변수로는 풍속, 모듈 각도 등 총 7가지를 사용하였다. 기계 학습 모델은 KNN(K-최근접 이웃), 로지스틱 회귀, 랜덤 포레스트, 서포트 벡터 머신을 사용하였다. 기계 학습 모델의 성능 향상을 위해 데이터 표준화(Standard scaler)와 과표본화(Over sampling)를 사용하였다. 기계 학습 모델의 성능 평가를 위해 F1 스코어(F1-Score)와 K-폴드 교차검증을 사용하였다. 이후 5장에서는 주성분 분석(PCA), 특이값 분해(SVD), 독립 성분 분석(ICA)을 통해 기계 학습 모델을 분석하였다.

II. 설계 개요

2.1 태양광 발전 구조물 설계 과정

태양광 발전 구조물은 모듈 배치, 중도리 설계, 보 및 기둥 설계, 가새 및 접합부 설계, 건축물 안전성 검토 및 보수/보강 검토 순으로 이루어진다. 모듈 배치 시 구조 비전문가가 현장 상황을 파악한 이후 발전 용량을 산정하기 위해 모듈 각도를 결정하며, 음영을 피하기 위한 구조물 높이 등이 설계된다. 이후, 지붕 형태와 비전문가의 경험을 토대로 보와 기둥의 간격을 초기 설계하여 공사 비용을 산정하고, 산정된 발전 용량과 공사 비용을 토대로 발전 사업 허가를 진행한다. 허가가 완료되면 구조 전문가에 의해 안전성 검토가 이루어지게 된다.

구조 안전성 검토 시 첫 단계는 중도리, 보 및 기둥 안전성 검토이다. 보 설치 간격에 따라 중도리의 안전성 검토가 이루어지며, 기둥 간격에 따라 보와 기둥의 안전성이 결정된다. 이 과정에서 지붕형 태양광 발전 구조물의 경량화를 위해 사용되는 부재가 한정적이고, 지붕의 형태와 골 간격에 따라 기둥의 설치가 제한된다. 이러한 이유로 보 간격과 기둥 간격의 결정에는 전문가와 비전문가 간에 많은 협의가 필요하다.

중도리, 보 및 기둥 설계 후에는 가새 및 접합부 설계가 이루어진다. 태양광 발전 구조물의 변위와 처짐, 접합부 안전성을 만족하도록 가새가 설계된다. 설계 위치는 태양광 발전 구조물의 부수적인 설비 위치에도 영향을 받으며, 접합부의 성능에 따라 달라진다. 접합부의 성능은 시공사별로 다양한 제품과 시공 방식을 사용하기 때문에 일반화하기 어려움이 있다. 또한 접합부의 성능이 부족할 경우 중도리, 보 및 기둥의 재설계를 진행하게 된다.

마지막으로 건축물의 보수/보강은 태양광 발전 구조물의 중량과 풍하중의 영향에 따라 검토된다. 건축물의 안전성 검토를 위해서는 태양광 발전 구조물의 안전성 검토가 우선적이며, 비전문가가 건축물 안전성 검토를 위한 조건을 파악하기에는 어려움이 있다. 또한 기존에 사용 중인 건축물의 용도와 현장 상황 등에 따라 보수/보강이 제한적이며, 보수/보강이 필요할 경우 공사 비용이 증가하므로 많은 협의가 필요하다. 보수/보강이 불가능한 건축물일 경우 태양광 발전 구조물과 모듈 배치 변경을 통해 보수/보강 없이 건축물이 안전한 태양광 구조물을 설계하게 된다.

앞서 언급한 이유로 구조 전문가는 태양광 발전 구조물의 중도리, 보 및 기둥 설계에 대해 반복적인 재설계와 검토를 진행하게 된다. 따라서 본 연구에서는 태양광 모듈을 제외하고는 가장 많은 공사 비용을 차지하며, 전문가와 비전문가 사이에 많은 협의가 필요한 태양광 발전 구조물의 중도리, 보 및 기둥을 대상으로 기계 학습 모델이 안전성을 판단하는 연구를 진행하였다.

2.2 태양광 발전 구조물 개요

본 연구에서는 태양광 발전 구조물의 중도리, 보 및 기둥을 평가하는 기계학습 모델을 연구하였다. 태양광 발전 구조물 공사 시 높이가 5m를 초과하는 경우 공작물 축조 신고를 진행해야 한다. 비전문가는 개발행위허가만으로 태양광 발전 구조물 공사를 진행하기 위하여 5m 이하로 설계한다. 5m 이하의 태양광 발전 구조물은 모듈 3장 이하 설치가 일반적이다. 따라서, 본 연구에서는 태양광 발전 구조물은 모듈이 3장씩 설치되는 3V 형태를 대상으로 진행하였다. 모듈의 크기는 가로 2.4m, 세로 1.1m로 설계되었다.

모듈 각도, 구조물 높이, 보와 기둥의 설치 간격 등은 기계학습 모델의 변수로 다양한 형태를 고려하였다. 구조물의 형상과 변수들은 그림 2.1과 그림 2.2와 같다. 중도리는 태양광 발전 모듈을 지지하는 역할을 하며, 주로 C형강이 사용된다. 보의 설치 간격에 따라 중도리의 안전성이 결정되며, 보의 안전성은 기둥의 간격에 따라 결정된다. 보와 기둥의 경우 주로 각형강관을 사용하고 있다. 중도리, 보 및 기둥 설계 후 가새 설계를 진행하지만, 본 연구는 비전문가가 태양광 발전 구조물 초기 설계 시 중도리, 보 및 기둥의 안전성 식별 방법으로 기계학습 모델을 제안하기 위하여, 가새 설계 전 형상을 대상으로 연구를 진행하였다.

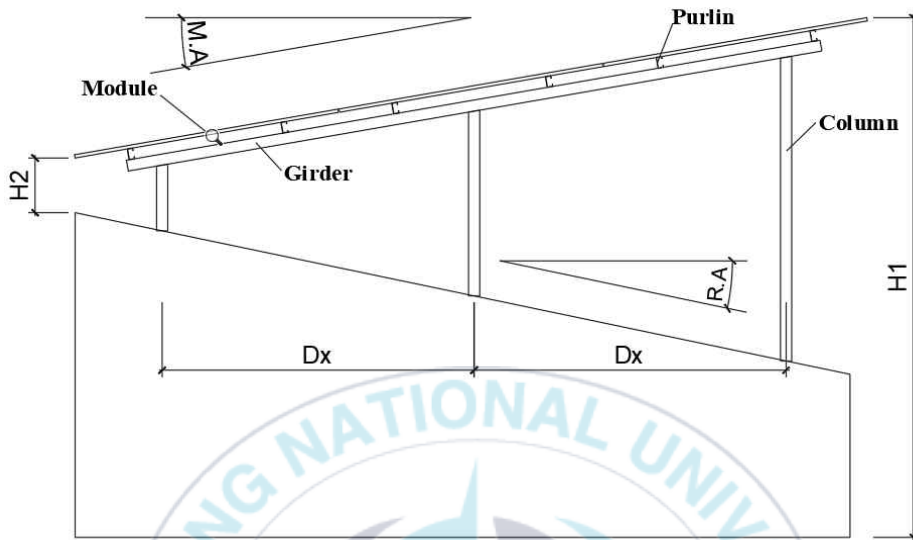


그림 2.1 태양광 발전 구조물 단면도

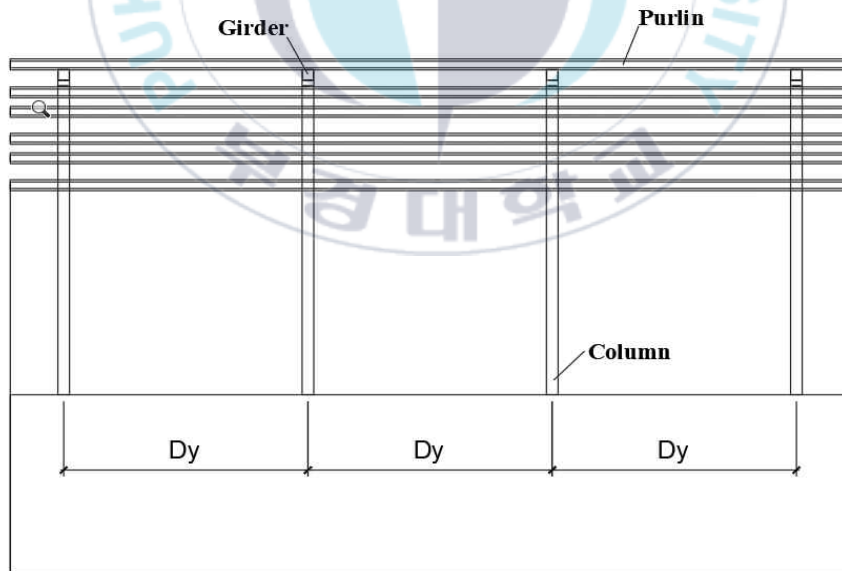


그림 2.2 태양광 발전 구조물 배면도

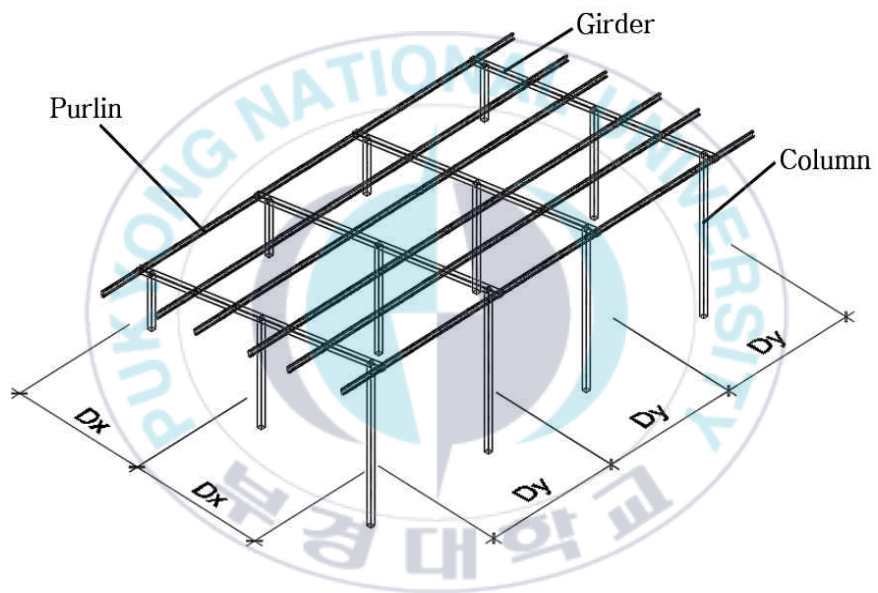


그림 2.3 태양광 발전 구조물 3D

2.3 설계 조건 및 고려 사항

2.3.1 하중 조건

태양광 발전 구조물의 설계 및 해석 조건은 국가 건설 기준(KDS)의 건축 구조 기준 설계하중(KDS 41 10 15 : 2019)과 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 30 10 : 2019)을 사용하였다. 현재 국가 건설 기준은 건축물 설계하중(KDS 41 12 00 : 2022)에 따라 설계되고 있다. 2022년과 2019년의 차이점은 설하중에서 15° 이하의 경사 지붕에 1.00 kN/m^2 을 적용해야 한다는 것이다. 이는 기존의 0.5 kN/m^2 과 차이가 있다. 풍속의 경우 10분간 평균 풍속의 재현 기간이 500년으로 변화하였으며, 하중 조합의 풍하중 계수가 1.3에서 1.0으로 감소하였다. 따라서 2019년 설계하중과 2022년 설계하중의 결과에는 차이가 있다. 하지만 2022년 기준의 설계 결과는 기계 학습 모델을 학습하고 평가할 충분한 데이터를 확보하기에는 사례가 부족하기 때문에, 2019년을 기준으로 설계된 태양광 발전 구조물을 대상으로 연구를 진행하였다.

태양광 발전 구조물 설계 시 설계하중은 고정하중, 설하중 및 풍하중이 고려된다. 태양광 발전 구조물의 경우 풍하중이 지배적인 영향을 미치기 때문에 고정하중과 설하중은 변수로 고려하지 않았다. 고정하중은 모듈의 무게와 부수적인 전기 설비 등을 고려하여 0.25 kN/m^2 을 사용하였다. 설하중의 경우 국내 일반적인 조건인 0.5 kN/m^2 을 사용하였다. 풍하중의 경우에는 지표면 조도(국내 내륙 지방, C)와 건축물 중요도(2)는 고정되어 설계되었다. 본 연구에서 풍속은 28 m/s 이하의 조건에 대해 다루고 있다. 높은 풍속에서는 일반적으로 보와 기둥에 가새 설치가 필수적이기 때문에, 본 연구에서는 24 m/s 에서 28 m/s 까지의 풍속을 대상으로 연구를 진행하였다.

2.3.2 태양광 발전 구조물 규격

중도리와 보, 기둥은 완전 일체화로 가정되었다. 보와 기둥은 핀 접합으로 설계되었으며, 기둥의 하부는 고정단으로 설계되었다. 태양광 발전 구조물의 경우 기둥 하부에 레일을 설치하여 건축물 지붕 중도리와 접합을 진행한다. 그러나 건축물과 태양광 발전 구조물 접합부에 대한 결합 볼트의 안전성은 구조 해석을 통해 태양광 발전 구조물의 인발력에 대한 검토가 필요하며, 시공사별로 다양한 결합 볼트와 시공 방식을 사용하기 때문에 본 연구에서는 제외하였다.

부재 규격은 중도리 C-100×50×20×2.3으로 설계되었으며, 보와 기둥은 각형 강관 □-100×100×2.3t으로 설계되었다. 비전문가가 초기 설계 시 태양광 발전 구조물의 경량화를 위해 가장 많이 사용하고 있는 부재 규격으로, 취합된 태양광 발전 구조물 설계안 모두 동일한 부재를 사용하고 있다. 재질은 모두 압연형강 SS275와 SRT275로 항복강도 275 MPa을 기준으로 설계된다.

2.4 기계학습 DB 구축

2.4.1 태양광 발전 구조물 하중 산정 방법

태양광 발전 구조물의 설계하중은 건축 구조 기준 설계하중(KDS 41 10 15 : 2019)을 기준으로 산정된다. 설계 시 고정하중, 설하중 및 풍하중이 고려된다. 풍하중은 독립 지붕의 주 골조 설계용 설계 풍압으로 산정된다. 독립 지붕의 주 골조 설계용 설계 풍압의 산정식은 식 2.1과 같다. 식 2.1에서 q_H 는 기준높이에서의 설계속도압으로 산정식은 식 2.2와 같다.

$$p_R = q_H G_{pe} C_N \quad (2.1)$$

$$q_H = \frac{1}{2} \rho V_H^2 \quad (2.2)$$

$$V_H = V_0 K_{zr} K_{zt} I_w \quad (2.3)$$

식 2.2에서 ρ 는 공기밀도로 1.22kg/m^3 이다. V_H 는 설계풍속으로 식 2.3과 같이 산정한다. 식 2.3에서 V_0 는 풍속으로 본 연구에서는 변수로 사용하였다. K_{zr} 은 풍속 고도 분포계수로 건축물 높이가 고려된다. K_{zt} 는 지형 계수로 평지 조건인 1.0으로 설계되었다. I_w 는 건축물의 중요도 계수로 본 연구에서는 일반적인 공장 건축물을 대상으로 하였기 때문에 0.95(건축물 중요도 2)로 사용하였다.

식 2.1에서 G_{pe} 는 지붕의 외압 가스트 영향계수이다. 산정식은 식 2.4와 같다. 식 2.4에서 r_{pe} 의 산정은 식 2.5와 같으며, B_{pe} 는 식 2.6과 같다. 식 2.6에서 $H2$ 는 태양광 구조물의 발전 구조물 높이이다. I_H 의 산정은 식 2.7과 같다. 식 2.7에서 $H1$ 은 건축물의 높이이다.

$$G_{pe} = 1 + 4r_{pe} \sqrt{B_{pe}} \quad (2.4)$$

$$r_{pe} = 2.2I_H^2 + 0.19 \quad (2.5)$$

$$B_{pe} = \frac{0.36}{(l/H2)^{0.84} (b/H2)^{0.09}} \quad (2.6)$$

$$I_H = 0.1 \left(\frac{H1}{Z_g} \right)^{-\alpha - 0.05} \quad (2.7)$$

식 2.1에서 C_N 은 독립 편지풍의 순 압력계수로, 모듈 각도, 흐름을 고려한다. 태양광 발전 구조물은 개방 흐름으로 지붕 밑의 공간이 50% 이상 장애물 없이 트인 경우이다. 계수는 모듈 각도에 따라 직선 보간하여 산정된다. 이와 같이 산정된 풍하중과 고정하중, 설하중을 조합하여 하중조합에 의한 영향에 안전하도록 태양광 발전 구조물이 설계된다. 태양광 발전 구조물의 설계 하중조합식은 표 2.1과 같다.

표 2.1 태양광 발전 구조물 설계 하중조합

No	하중조합식
LCB1	1.4D
LCB2	1.2D + 1.6S + 0.65W
LCB3	1.2D + 1.3W + 0.5S
LCB4	0.9D + 1.3W

2.4.2 태양광 발전 구조물 안전성 평가 방법

태양광 발전 구조물에서 중도리는 휨 하중과 전단 하중, 보는 휨 하중, 기둥은 축 하중과 휨 하중에 안전하도록 설계된다. 중도리는 단순보로 설계되는데 소요 휨 하중(M_u)과 소요 전단 하중(V_u)의 산정 방법은 식 2.8, 식 2.9와 같다.

$$M_u = \frac{\omega L^2}{8} \quad (2.8)$$

$$V_u = \frac{\omega L}{2} \quad (2.9)$$

여기서 L 은 중도리의 길이로, 본 연구에서는 보 간격을 의미한다. 설계 휨 하중(ϕM_n)과 설계 전단 하중(ϕV_n)이 M_u 와 V_u 이상이 되도록 중도리를 설계한다.

보와 기둥은 부정정 구조물로 매트릭스 변위법으로 해석할 수 있다. 매트릭스 변위법을 식으로 표현하면 식 2.10과 같다. 여기서 $\{F\}$ 는 하중 벡터, $[K]$ 는 강성 매트릭스, $\{\delta\}$ 는 변위 벡터이다. 보의 강성 매트릭스는 식 2.11과 같으며, 기둥의 강성 매트릭스는 식 2.12와 같다.

$$\{F\} = [K]\{\delta\} \quad (2.10)$$

$$K_{beam} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$K_{column} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$K = \sum_i T_i^T K_i T_i \quad (2.13)$$

각 부재별 강성을 활용해 전역 강성 매트릭스를 형성하는 방법은 식 2.13과 같다. 여기서 T_i 는 변환 행렬로 부재의 Q_i 와 P_i 를 고려한 평행매트릭스이다. 변위 벡터는 식 2.14와 같다.

$$\delta = K^{-1}P \quad (2.14)$$

변위 벡터, 강성 매트릭스, 변환 행렬을 이용하여 부재별 부재력(Q_i)를 산정한다. Q_i 의 산정식은 식 2.15와 같다.

$$Q_i = K_i T_i^T \delta \quad (2.15)$$

위의 식을 통해 부재별 Q_i 를 산정하고, Q_i 를 통해 P_i 를 산정하여 보와 기둥의 P_u 와 M_u 를 산정한다. 설계 휨 하중(ΦM_n)과 설계 축 하중(ΦP_n)이 산정된 P_u 와 M_u 이상이 되도록 설계하게 된다. 보와 기둥의 ΦM_n 과 ΦP_n 은 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 30 10 : 2019)에 따라 설계된다. 보와 기둥의 ΦM_n 는 식 2.16, 식 2.17 및 식 2.18에 따라 산정된다.

$$\Phi M_n = 0.9 \min(M_{n1}, M_{n2}) \quad (2.16)$$

$$M_{n1} = F_y Z \quad (2.17)$$

$$M_{n2} = F_y S_{eff} \quad (2.18)$$

식 2.18에서 S_{eff} 는 압축플랜지의 유효폭(b_e)에 대한 유효 단면 계수이다. 기둥의 설계 축 하중(ΦP_n)의 산정식은 식 2.19와 같다.

$$\Phi P_n = 0.9 A_g F_{cr} \quad (2.19)$$

식 2.19에서 A_g 는 부재의 단면적이고 F_{cr} 은 휨 좌굴 응력이다. 휨 좌굴 응력의 산정식은 식 2.20과 같다.

$$F_{cr} = [0.658^{F_u/F_e}] F_y \quad (2.20)$$

식 2.20에서 F_y 는 부재의 항복강도로 본 연구에서는 275MPa이다. F_e 는 탄성 좌굴 응력으로 산정식은 식 2.21과 같다.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (2.21)$$

식 2.21에서 E 는 부재의 탄성계수로 2.1×10^5 MPa며, K 는 유효 좌굴 길이 계수로 1.0이다. r 은 단면 2차 반경이며, L 은 기둥의 비지지 길이로 본 연구에서는 모듈 각도, 지붕 각도, 기둥 간격 및 구조물 높이에 따라 설계된다.

2.4.3 기계학습 모델 DB

데이터는 앞서 설명한 설계 조건에 따라 결과를 취합하였다. 기계학습 모델의 변수로는 풍속(V_0), 건축물 높이($H1$), 태양광 발전 구조물 높이($H2$), 모듈 각도($M.A$), 지붕 각도($R.A$), 보 간격(D_y), 기둥 간격(D_x)으로 총 7가지이다. 변수들은 비전문가가 초기 설계 시 고려하는 조건으로, 구조 안전성 검토 시 전문가와 비전문가가 구조물 높이, 보 간격, 기둥 간격을 협의하게 된다. 변수의 범위는 풍속 24~28 m/s, 건축물 높이 5~14 m, 구조물 높이 0.5~1.0 m, 모듈 각도 10~15도, 지붕 각도 10~15도로 설정되었다. 보 간격과 기둥 간격은 해석 결과에 따라 다양한 범위에 분포하고 있다.

기계학습 모델의 학습 및 평가를 위해 사용된 데이터는 안전 클래스 3,283개, 불안전 클래스 7,924개로 총 11,207개가 사용되었다. 불안전 클래스는 입력변수 7가지에 따라 발전 구조물이 불안전한 경우이다. 풍속 1,387개, 건축물 높이 411개, 발전 구조물 높이 1,572개, 모듈 각도 1,498개, 지붕 각도 391개, 보 간격 1,320개, 기둥 간격 1,345개이다. 사용된 데이터의 수는 표 1과 같다. 본 연구에서 사용된 전체 데이터는 부록 1에서 확인할 수 있다. 기계학습 모델의 학습과 평가를 위해 데이터를 일정 비율로 나누어 사용된다. 본 연구에서는 학습 세트 70%, 테스트 세트 30% 비율로 학습과 평가에 사용되었다. 기계학습 모델링의 편의성을 위하여 안전 클래스는 1, 불안전 클래스는 0으로 적용하였다.

표 2.2 기계학습 DB

	안전			불안전						
표기	1			0						
변수	24 m/s	26m/s	28 m/s	V_0	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
수	1,253	1,353	677	1,387	411	1,572	1,498	391	1,320	1,345

2.5 데이터 베이스 분석

본 연구에서 사용된 변수 풍속(V_0), 건축물 높이($H1$), 태양광 발전 구조물 높이($H2$), 모듈 각도($M.A$), 지붕 각도($R.A$), 보 간격(D_y), 기둥 간격(D_x) 7가지에 대한 기초 통계량은 표 2.3과 같다. 데이터 크기와 분포는 그림 2.3과 그림 2.4에서 확인이 가능하다. 그림 2.3은 히스토그램으로 막대그래프는 데이터의 분포 수, 곡선은 데이터의 분포 위치이다. 변수 크기에 맞추어 막대그래프가 높게 분포하며, 지붕 각도와 모듈 각도는 좁은 범위에 분포한다. 그림 2.4의 데이터 박스 플롯은 변수 크기에 따라 개별적으로 분포되었다.

표 2.3 데이터 기초 통계량

변수	평균	표준 편차	1사분위 (25%)	2사분위 (50%)	3사분위 (75%)
V_0	25.80	1.46	24.00	26.00	26.00
$H1$	8.66	4.40	5.00	5.00	14.00
$H2$	0.73	0.16	0.60	0.70	0.90
$M.A$	13.22	1.94	12.00	15.00	15.00
$R.A$	12.44	2.07	10.00	12.00	15.00
D_y	3.10	0.43	2.80	3.10	3.45
D_x	2.76	0.13	2.60	2.70	2.90

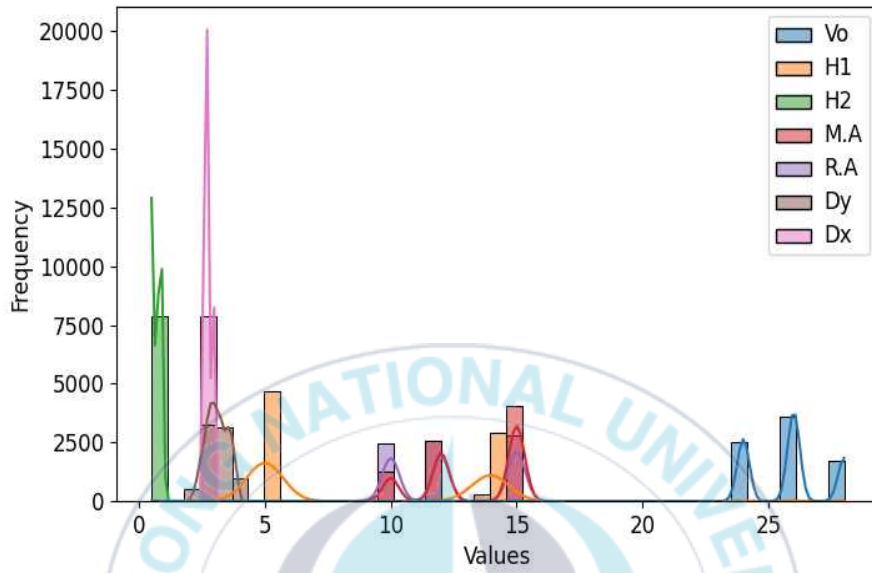


그림 2.4 데이터 분포 히스토그램

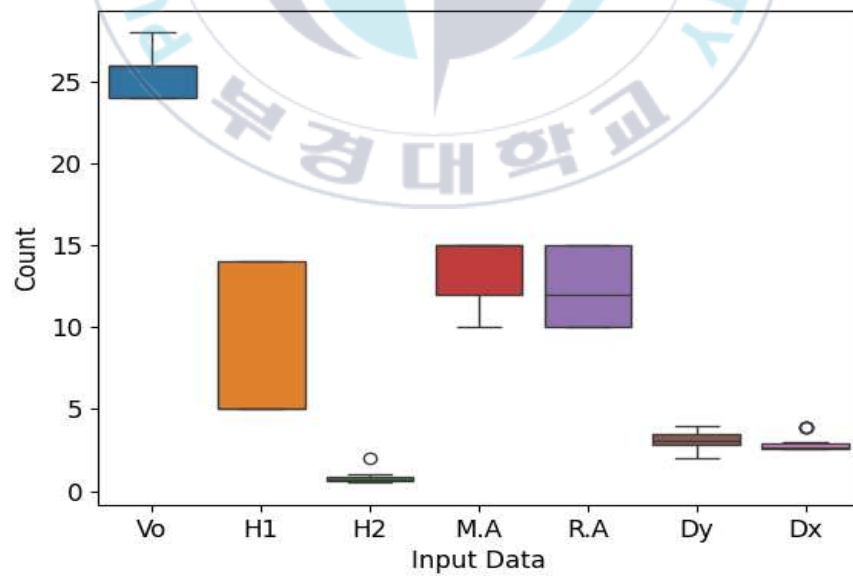


그림 2.5 데이터 분포 박스 플롯

2.6 소결

2장에서는 태양광 발전 구조물 개요 및 설계 조건과 기계학습 모델에 사용된 데이터에 대해 다루었다. 설계 과정에서 비전문가의 초기 설계가 불안정한 경우 공사 비용의 증가와 구조 전문가의 반복적인 재설계 및 검토로 인해 많은 인력과 시간이 소요되는 문제가 발생한다. 기계학습 모델을 통해 구조 비전문가가 초기 설계 시 태양광 발전 구조물의 안전성을 판단하는 모델을 제안하고자 한다. 태양광 발전 구조물은 모듈 3장이 설치되는 형태를 대상으로 진행하였다. 태양광 발전 구조물의 경우 현재 국가 건설 기준(KDS 2022)을 통해 설계가 진행되고 있지만, 기계학습 모델에 사용될 데이터를 확보하기에는 사례가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 국내 국가 건설 기준(KDS 2019)에 따라 설계된 결과를 사용하였다. 설계하중의 경우, 태양광 발전 구조물은 풍하중이 지배적인 영향을 미치기 때문에 고정하중과 설하중은 변수로 고려하지 않았다. 태양광 발전 구조물의 보와 기둥은 핀 접합으로 설계되며, 기둥 하부는 고정단으로 설계되었다. 중도리는 휨 하중과 전단 하중, 보는 휨 하중, 기둥은 축 하중과 휨 하중에 대한 안전성을 평가한다. 기계학습 모델의 변수로는 비전문가가 초기 설계 시 고려하는 요소를 사용하였다. 고려된 변수로는 풍속, 건축물 높이, 태양광 발전 구조물 높이, 모듈 각도, 지붕 각도, 보 간격, 기둥 간격의 7가지가 있다. 취합된 데이터는 총 11,207개로, 안전 클래스 3,283개, 불안전 클래스 7,957개이다.

Ⅲ. 기계학습 모델

3.1 KNN(K-최근접 이웃, K-Nearest Neighbors)

KNN은 이웃 지도학습에 속하는 알고리즘으로, 분류 문제와 회귀 문제 모두에 사용 가능한 알고리즘이다. 새로운 데이터를 제공했을 때 학습된 데이터와 가까운 K개의 데이터를 선택하여 예측을 진행한다(그림 3.1). 학습된 데이터의 클래스 종류에 따라 차원을 생성하며, 차원의 수는 학습된 변수의 종류만큼 만들어진다. 차원의 경계가 확실할 경우 모델의 성능이 뛰어나지만, 데이터 분포 패턴이 복잡하거나 경계의 구분이 뚜렷하지 않으면 모델의 성능이 떨어질 수 있다. 새로운 데이터에서 유클리드 거리가 가까운 K개를 선택하여 예측을 진행한다. 분류 문제에서는 다수결의 원칙을, 회귀 문제에서는 평균값을 사용하여 예측을 진행한다. KNN 모델에서 K개의 데이터를 선택하는 기준은 데이터 간의 거리이므로, 변수의 크기 차이에 큰 영향을 받는다. 데이터 크기 차이로 인한 편향을 방지하기 위해 주로 Standard Scaler를 사용한다. 학습된 클래스 수의 차이로 데이터 불균형이 발생하면 예측 성능이 떨어지므로, 이 경우 Over Sampling, Down Sampling 등 다양한 데이터 전처리 방법을 시도해야 한다.

KNN에서 K와 유클리드 거리는 하이퍼 파라미터라고 한다. 하이퍼 파라미터는 기계학습 모델의 학습 횟수, 학습 방식 등 모델 성능을 결정하는 요소이다. KNN의 하이퍼 파라미터로는 선택된 데이터의 수 $K(n\text{-neighbors})$, 거리 측정 방법(metric), 가중치 부여 방법(weights) 3가지를 사용한다. K 값은 분류 문제에서 다수결의 원칙을 적용할 때 동률을 방지하기 위해 홀수를 사용하는 것이 좋다. 본 연구는 태양광 발전 구조물의 안전 클래스와 불안전 클래스를 구분하는 분류 문제이므로 홀수를 사용

하였다. 거리 측정 방법으로는 Euclidean과 Manhattan 두 가지가 있으며, Euclidean은 직선 거리 기준으로 가까운 데이터를 선택하고, Manhattan은 직각 거리 기준으로 가까운 데이터를 선택한다. 가중치 부여 방법에는 Uniform과 Distance가 있으며, Uniform은 선택된 K개의 데이터에 동일한 가중치를 부여하고, Distance는 가까운 데이터에 더 높은 가중치를 부여하는 방식이다.



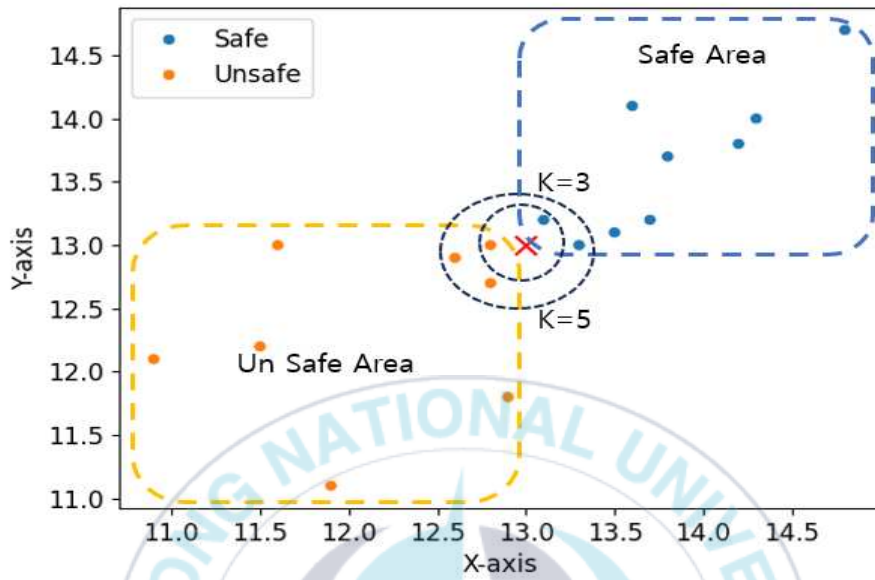


그림 3.1 KNN 알고리즘

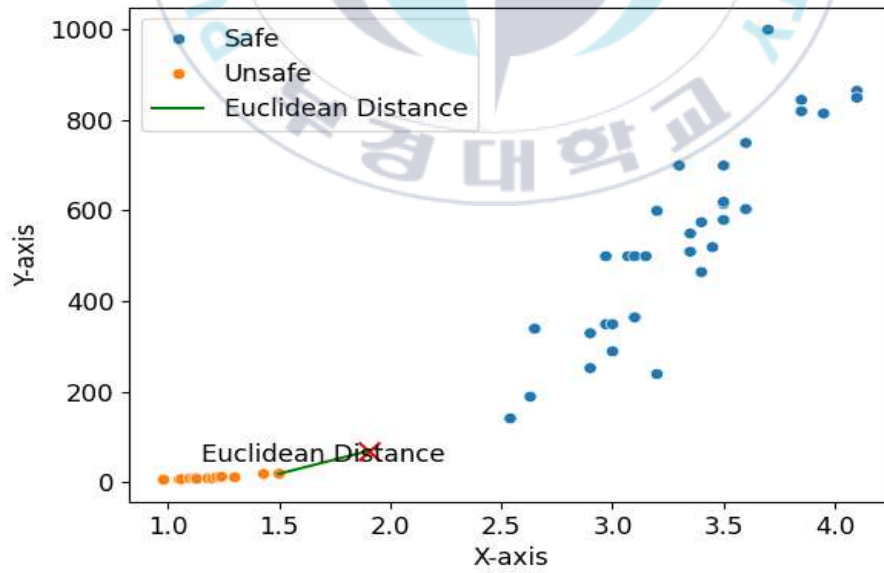


그림 3.2 유클리드 거리

3.2 로지스틱 회귀(Logistic Regression)

로지스틱 회귀의 명칭은 회귀 알고리즘이지만 분류 문제에 사용된다. 선형 방정식을 토대로 데이터를 학습하고 확률을 통해 클래스를 예측하는 방식이다. 로지스틱 회귀에 사용되는 선형 방정식을 식으로 표현하면 식 3.1과 같다.

$$z = a(Vo) + b(H1) + c(H2) + d(M.A) + e(R.A) + f(Dy) + g(Dx) + h \quad (3.1)$$

식 3.1에서 $a \sim g$ 는 각 변수에 계산되는 가중치이며, h 는 편향이다. 각 변수에 가중치를 곱하고 편향을 더하여 선형조합(z)으로 만든다. 식 3.1에서 산정된 선형조합을 0과 1 사이의 값으로 만들어 확률로 예측을 하기 위해 시그모이드 함수를 사용한다. 시그모이드 함수를 식으로 표현하면 식 3.2와 같으며, 그래프로 그리면 그림 3.3과 같다.

$$\Phi = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (3.2)$$

로지스틱 회귀는 선형 방정식을 기본 원리로 예측을 수행하기 때문에, 데이터의 분포가 비선형 형태일 경우 성능이 낮을 수 있다. 로지스틱 회귀의 하이퍼 파라미터로는 규제 강도(C), 규제 방식(Penalty), 최적화 알고리즘(Solver), 학습 횟수(Max-iter) 등이 있다. 규제 강도는 규제 방식에 곱해지는 상수로, 강도가 커질수록 학습된 데이터에 더 잘 맞아 과적합이 발생할 수 있다. 반대로 강도가 작아지면 과적합을 방지할 수 있지만, 모델의 성능이 떨어질 수 있다. 규제 방식에는 L1 정규화, L2 정규화, 그리고 elasticnet이 있다. L1 정규화는 가중치의 절대값 합을 최소화하며, 일부 변수들의 가중치를 0으로 만들어 특징 선택의 효과를 얻을 수 있다. L2 정규화는 가중치의 제곱합을 최소화하려는 방식으로 일반적으로 많이 사용된다.

다. elasticnet은 L1과 L2 정규화의 조합으로, 두 방식의 장점을 동시에 고려한다. 최적화 알고리즘으로는 Liblinear, Sag, lbfgs, newton-cg가 있다. Liblinear는 소규모 데이터에 적합하며, L1 정규화와 L2 정규화 모두 사용할 수 있다. Sag는 대규모 데이터에 적합하고, L1 정규화와 L2 정규화 모두 지원한다. lbfgs(Limited-memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno)는 메모리 효율성이 뛰어나며 다중 클래스 문제에서 사용된다. newton-cg는 2차 도함수(헤세 행렬)를 이용해 빠르게 수렴하지만, 계산 비용이 높아 대규모 데이터에는 사용하기 어려운 단점이 있다.

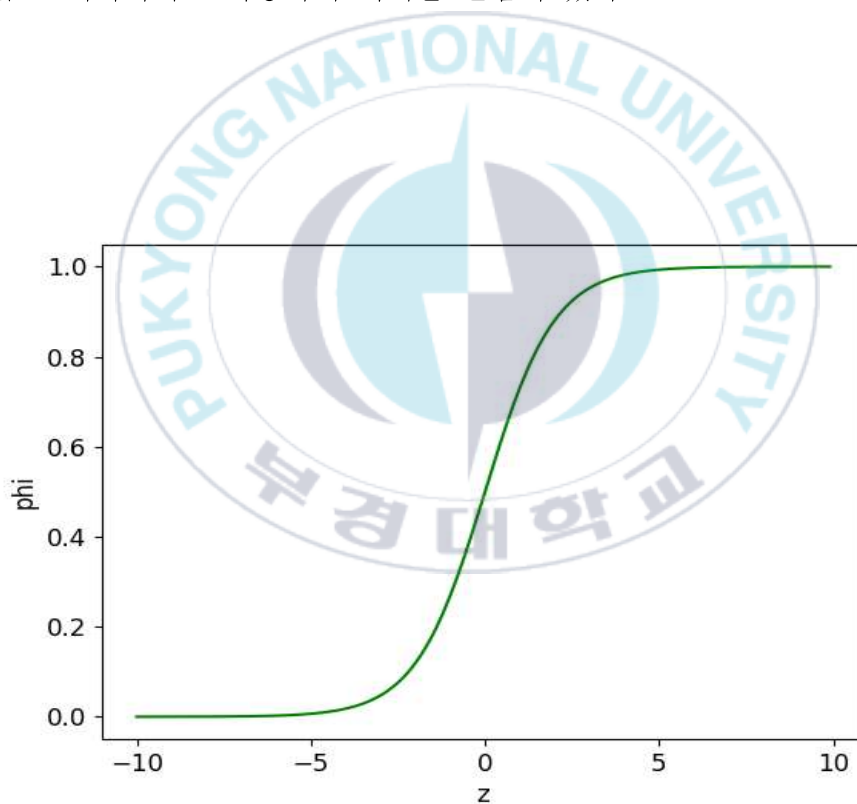


그림 3.3 시그모이드 함수

3.3 랜덤 포레스트(Random Forest)

랜덤 포레스트 알고리즘은 분류 문제와 회귀 문제에 모두 사용되는 앙상블 기법이다. 이 알고리즘은 여러 개의 결정 트리를 결합하여 하나의 예측 결과를 도출한다. 사람으로 비유하자면, 여러 전문가의 의견을 모아 하나의 결론을 도출하는 방식과 유사하다. 결정 트리 모델은 학습된 데이터를 바탕으로 여러 개의 노드가 계층적으로 배열되어 경로를 형성하는 트리를 만든다. 만들어진 트리를 따라가며 새로운 데이터가 각 노드와 경로를 통과하면서 안전과 불안전 여부를 판단하고, 최종적으로 결론을 도출하는 과정이다. 결정 트리는 다음과 같이 시각화될 수 있다 (그림 3.4). 그림에서 $x[i]$ 는 변수의 종류를 나타내며, 값에 따라 데이터가 어느 방향으로 분기될지 결정한다. 'gini'는 지니 불순도(Gini Impurity)로, 값이 0에 가까울수록 해당 노드에 속한 데이터가 동일 클래스에 속할 확률이 높음을 의미한다. 'samples'는 해당 노드에 반영된 데이터의 수이며, 'value'는 클래스에 속하는 데이터의 리스트로, [안전 클래스의 수, 불안전 클래스의 수]를 나타낸다. 랜덤 포레스트는 여러 개의 결정 트리를 생성하고, 각각의 트리에서 나온 예측 결과를 종합하여 최종적인 하나의 예측 결과를 도출한다.

랜덤 포레스트의 하이퍼 파라미터는 총 4가지가 있다: 결정 트리의 수 ($n_estimators$), 결정 트리의 최대 깊이(max_depth), 분할을 위한 최소 샘플 수($min_samples_split$), 최소 샘플 수($min_samples_leaf$). 결정 트리의 수는 많을수록 모델의 성능이 향상될 수 있지만, 계산 비용이 증가하고 과대적합이 발생할 수 있기 때문에 적절한 값을 설정하는 것이 중요하다. 일반적으로 최소 100개 이상의 결정 트리를 사용하는 것이 권장된다. 결정 트리의 깊이는 너무 크면 과대적합이 발생하고, 너무 작으면 모델의 성능이 떨어질 수 있다. 노드 분할을 위한 최소 샘플 수는 값이 클수록 트리가

덜 분할되므로 과적합을 방지하는 데 도움이 된다. 기본값은 2이며, 학습된 데이터에 맞게 조정해야 한다. 최소 샘플 수는 리프 노드에 남아 있어야 하는 최소 샘플 수를 설정하며, 값이 클수록 트리가 단순해져 과적합을 방지할 수 있다.

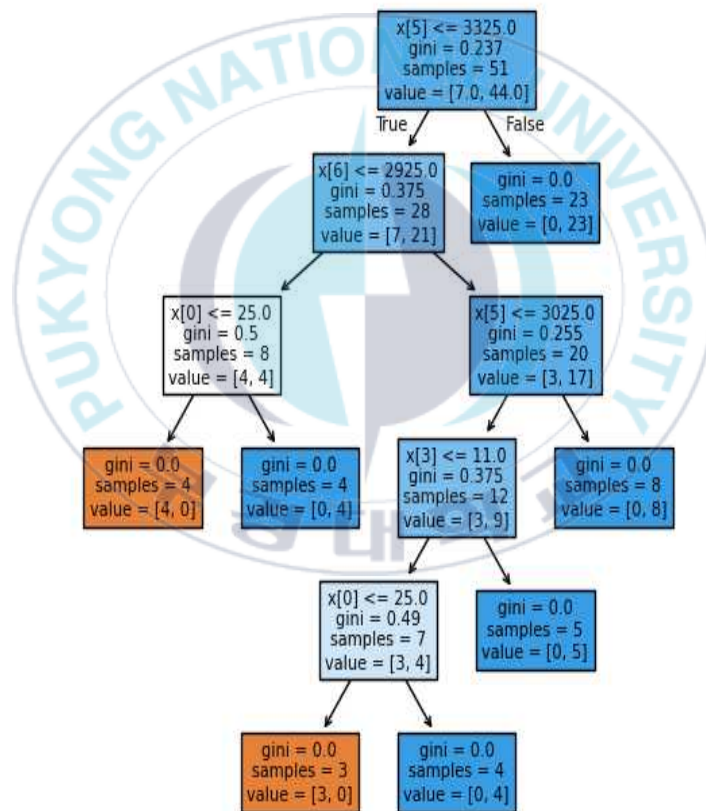


그림 3.4 결정 트리

3.4 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine)

서포트 벡터 머신(SVM)은 지도 학습 알고리즘 중 하나로, 분류 문제에 서 뛰어난 성능을 보여준다. SVM의 목표는 데이터를 분류하는 최적의 결정 경계(Hyperplane)를 찾는 것이다. 이 알고리즘은 데이터 사이의 간격을 최대화하는 것을 목표로 하며, 이를 통해 더욱 분명한 경계를 찾는다. 학습된 데이터는 커널 트릭을 사용하여 고차원의 공간으로 변환된 후 분류 문제를 해결한다. 본 연구에서는 안전과 불안전을 구분하는 경계선을 찾는데 SVM 모델을 사용한다. SVM 모델이 형성하는 차원의 모습은 그림 3.5와 같다. SVM은 소규모 데이터에서도 높은 성능을 보이며, 고차원 공간에서도 뛰어난 성능을 발휘하고 비선형 문제 해결이 가능하다. 그러나 대규모 데이터에서는 예측 속도가 느리고, 메모리 용량을 많이 소모한다. 또한 예측 성능이 하이퍼 파라미터에 매우 민감하기 때문에, 하이퍼 파라미터 튜닝이 중요한 역할을 한다.

SVM의 하이퍼 파라미터로는 정규화 파라미터(C), 커널 파라미터(γ), 커널 함수(kernel)가 있다. 정규화 파라미터(C)는 모델의 규제를 제어하는 하이퍼 파라미터로, 값이 클수록 모델이 학습 데이터에 정확히 맞추려고 하고, 작은 값일수록 일반화된 모델을 형성한다. 커널 파라미터(γ)는 데이터 간의 유사도를 결정하는 하이퍼 파라미터로, 값이 클수록 데이터 간의 영향을 좁혀 과적합을 초래할 수 있으며, 값이 작으면 과소적합이 발생할 수 있다. 커널 파라미터는 주로 설정되며, scale과 auto도 선택 가능하다. scale은 식 3.3과 같으며, auto는 식 3.4와 같다. 커널 함수는 학습된 데이터의 형식에 따라 선택된다. scale은 변수가 많거나 변수 범위가 큰 데이터에서 좋은 성능을 보이며, auto는 데이터의 변수 수에만 의존하므로 데이터의 스케일이 중요하다.

$$\gamma = \frac{1}{n_{\text{features}} \times X.\text{var}()} \quad (3.3)$$

$$\gamma = \frac{1}{n_{\text{features}}} \quad (3.4)$$

식 3.3과 식 3.4에서 n_{features} 는 데이터의 변수의 수, $X.\text{var}()$ 는 전체 데이터의 분산이다. 선형 분류(linear), Radial Basis Function(rbf), 다항식 커널(poly)이 있다. 일반적으로 Radial Basis Function이 가장 많이 사용된다.

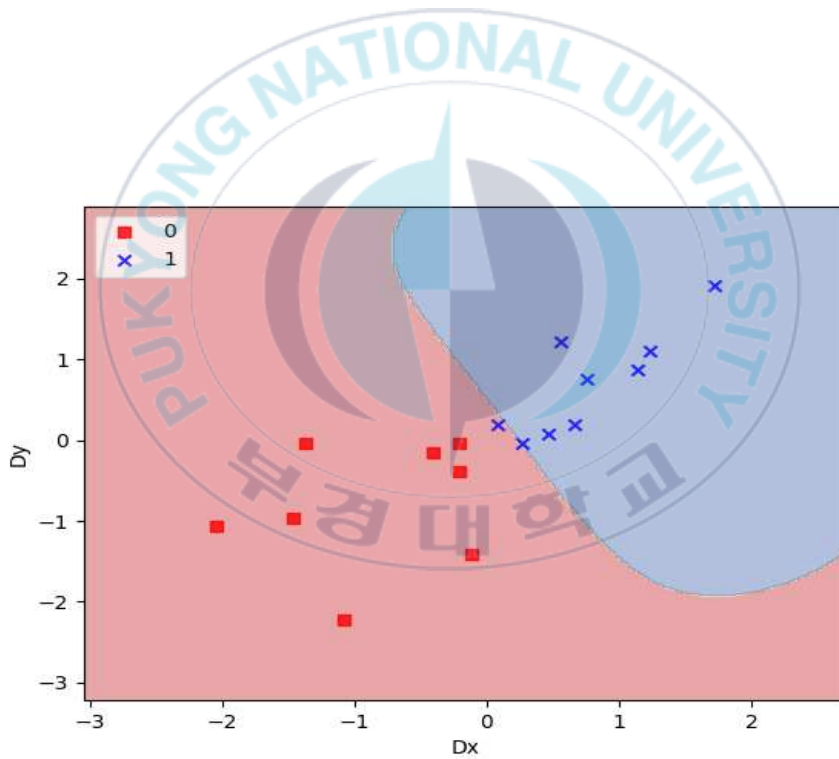


그림 3.5 SVM 모델의 차원 구성

3.5 그리드 서치(Grid Search)

기계학습 모델에서 하이퍼 파라미터는 모델의 성능을 결정하는 중요한 요소이다. Thai(2022)는 건축 분야에 기계학습 모델을 적용할 때 하이퍼 파라미터의 중요성을 언급하였다. 하이퍼 파라미터에 따라 예측 성능이 달라지기 때문에, 기계학습을 활용한 연구에서는 하이퍼 파라미터를 명확히 설명해야 한다고 하였다. 그리드 서치(Grid Search)는 앞서 설명한 기계학습 모델의 하이퍼 파라미터를 탐색하는 튜닝 기법이다. 하이퍼 파라미터의 탐색 범위를 정하면, 격자처럼 조합을 구성하여 모든 조합에 대해 모델의 성능을 평가한 후 가장 좋은 성능을 보여주는 조합을 찾아낸다. 탐색된 최적의 조합을 통해 기계학습 모델을 형성한다. 그리드 서치는 체계적이고 간단하게 최적의 조건을 찾을 수 있는 장점이 있지만, 하이퍼 파라미터의 탐색 범위가 광범위한 경우 탐색에 시간이 많이 걸린다는 단점이 있다. 또한, 탐색 범위는 사용자가 직접 결정해야 하므로 다양한 시도가 필요하다. 하이퍼 파라미터 탐색 방법에는 그리드 서치 외에도 랜덤 서치(Random Search), 베이지안 최적화(Bayesian Optimization), 하이퍼밴드(Hyperband) 등 여러 가지 방법이 있다. 본 연구에서 사용된 하이퍼 파라미터의 탐색 범위와 종류는 표 3.1에서 확인할 수 있다.

표 3.1 하이퍼 파라미터 탐색 범위

모델	하이퍼 파라미터	범위
KNN	n-neighbors	3 ~ 49
	weights	uniform, distance
	metric	euclidean, manhattan
LR	C	0.01, 0.1, 1, 10, 100
	penalty	L1, L2, elasticnet
	solver	saga, liblinear, lbfgs, newton-cg
	max-iter	10, 100, 1000, 10000, 10000
RF	n-estimators	100, 200, 300, 400, 500
	max-depth	5, 10, 15, 20, 25, 30
	min-samples-split	2, 5, 10
	min-samples-leaf	1, 2, 4
SVM	C	0.01, 0.1, 1, 10, 100
	kernel	linear, rbf, poly
	gamma	scale, auto, 0.1, 1, 10

3.6 소결

3장에서는 본 연구에서 다루는 기계학습 모델들에 대해 설명하였다. KNN 모델은 유클리드 거리가 가까운 K개의 데이터를 선택하여 다수결의 원칙을 통해 안전과 불안전을 예측한다. 하이퍼 파라미터로는 n-neighbors, metric, weights가 있다. 로지스틱 회귀 모델은 선형 방정식과 확률을 통해 결과를 예측한다. 학습된 변수에 가중치를 곱하고 편향을 더하여 선형조합으로 구성하고, 만들어진 선형조합을 시그모이드 함수에 적용하여 0과 1사이의 값으로 변환하여 확률을 통해 안전과 불안전을 예측한다. 하이퍼 파라미터로는 규제 강도, 규제 방식, 최적화 알고리즘, 학습 횟수가 있다. 랜덤 포레스트 모델은 기계학습 모델 중 결정 트리 모델의 앙상블 기법이다. 결정 트리란 학습된 데이터를 통해 층과 방향이 있는 나무 형태로 데이터를 구성하여, 새로운 데이터가 경로를 따라 안전과 불안전을 예측하며 최종적인 결과를 탐색한다. 랜덤 포레스트 모델은 다수의 결정 트리에서 각각의 예측을 진행하고, 취합된 결과를 토대로 최종적인 예측을 한다. 하이퍼 파라미터로는 n-estimators, max-depth, min-samples-split, min-samples-leaf가 있다. 서포트 벡터 머신 모델은 학습된 변수들을 토대로 안전과 불안전을 구분하는 경계를 탐색하여 차원을 구성한다. 구성된 차원 영역을 통해 새로운 데이터의 결과를 예측한다.

앞서 설명한 4가지 모델에서 최적의 하이퍼 파라미터 조합을 찾기 위하여 그리드 서치를 사용하였다. 하이퍼 파라미터는 기계학습 모델의 학습 횟수, 학습 방법 등을 결정하는 요소로, 예측 성능에 중요한 영향을 미친다. 그리드 서치는 하이퍼 파라미터의 구성을 격자 형태로 엮어 모든 조합의 성능을 테스트하고 최적의 조합을 탐색한 뒤, 이를 통해 기계학습 모델을 형성한다.

IV. 기계학습 모델 평가 방법 및 결과

4.1 F1 스코어

기계학습 모델을 평가하기 위하여 F1 스코어(F1-Score)를 사용하였다. F1 스코어는 정밀도(Precision)와 재현율(Recall)을 통해 모델의 오차를 산정하는 혼동행렬이다. 정밀도는 기계학습 모델이 참으로 예측했을 때 실제 데이터가 참인 비율이다. 재현율이란 참인 데이터 중에서 모델이 참으로 예측한 비율이다. 정확도와 재현율의 산정에는 TP, FP, FN이 사용된다. TP는 참을 참으로 예측한 경우, FP는 참을 거짓으로 예측한 경우, FN은 거짓을 참으로 예측한 경우다. 정밀도와 재현율은 식 4.1 및 식 4.2와 같다.

$$\text{Precision} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FP}} \quad (4.1)$$

$$\text{Recall} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}} \quad (4.2)$$

F1 스코어는 정밀도와 재현율의 조화 평균이다. F1 스코어의 산정은 식 4.3과 같으며, 그림으로 표현하면 그림 4.1과 같다.

$$\text{F1-Score} = \frac{2 * (\text{Recall} * \text{Precision})}{\text{Recall} + \text{Precision}} \quad (4.3)$$

일반적으로 기계학습 모델을 평가하는 정확도는 모델의 전체적인 성능만을 평가한다. F1 스코어는 기계학습 모델을 학습된 클래스 단위로 성능을 평가한다. 분류 문제를 해결하는 기계학습 모델의 경우 학습된 클래스의 수에 차이가 있을 때 대규모 클래스에 대해서는 예측 성능이 높고, 소규모 클래스에 대해서는 예측 성능이 낮을 수 있다. 이런 경우 전체 정확도로만

모델을 평가하면 대규모 클래스의 높은 예측 성능으로 모델이 과대평가된다. 과대평가된 모델은 실제로 예측할 때 대규모 클래스에 대해서만 정확한 예측이 가능하기 때문에 실용적이지 못한 모델이 된다. 이와 달리 F1 스코어는 클래스 별로 모델의 성능을 평가하기 때문에 분류 문제 평가에 효과적이다. 본 연구는 안전 클래스와 불안전 클래스를 구분하는 분류 문제에 속하기 때문에 기계학습 모델의 평가 기준으로 F1 스코어를 사용하였다. 다중 분류 문제일 경우에는 마이크로 평균, 매크로 평균 등 다양한 F1 스코어가 있지만, 본 연구는 안전 클래스와 불안전 클래스의 이진 분류 문제로 F1 스코어를 사용하였다.

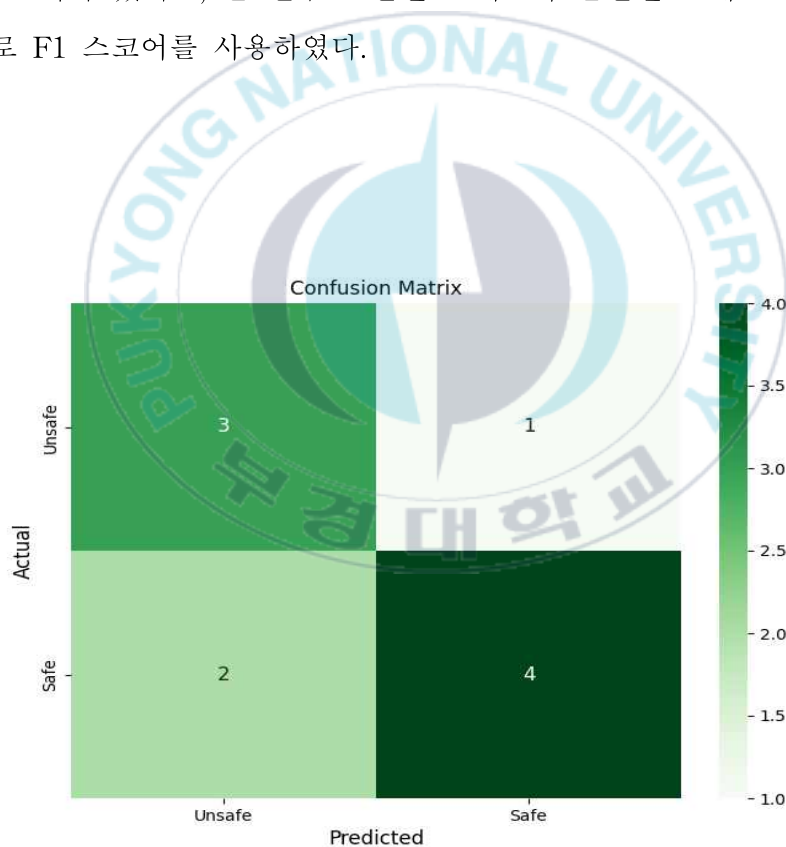


그림 4.1 F1 스코어

4.2 K-폴드 교차검증(K-Fold Cross Validation)

K-폴드 교차검증(K-fold Cross Validation)은 머신러닝 모델의 성능을 평가하는 방법 중 하나이다. 주어진 데이터 세트를 K개의 폴드(Fold)로 나누어, 학습과 평가를 여러 번 반복한다. 이후 반복하여 만들어진 평균 성능을 계산하여 모델을 평가한다. 이 방법은 기계학습 모델의 과적합을 방지하고, 모델의 일반화 성능을 평가할 수 있게 해준다. 학습된 데이터를 선택하여 K개의 폴드를 만들고, 각각의 폴드를 한번씩 평가에 사용한다. 평가에 사용되는 폴드를 제외한 나머지 폴드들은 학습에 사용된다. 학습된 데이터의 일부만을 평가하는 것이 아닌, 전체 데이터가 평가에 사용되기 때문에 특정 데이터에 과적합되는 문제를 방지할 수 있다. 다만, 학습과 평가를 K번 반복해야 하기 때문에 계산 비용이 증가하며, 데이터 베이스의 크기에 따라 많은 시간이 소요될 수 있다. 또한, 데이터 베이스의 클래스가 불균등할 경우 데이터의 분포가 고르게 나누어지지 않을 수 있다. K-폴드 교차검증 방식은 그림 4.2에서 확인할 수 있다. 일반적으로 K의 값은 5나 10을 사용하는 경우가 많다. K의 값은 모델의 성능에 영향을 미칠 수 있으며, 너무 작은 K는 높은 분산을 가질 수 있고, K의 값이 너무 크면 계산 비용이 많이 드는 단점이 있다. 본 연구에서는 K값을 5로 설정하여 5차 교차검증을 통해 모델을 평가하였다. K-폴드 교차 검증을 통해 모델을 형성한 후, 전체 데이터에서 랜덤하게 30%를 추출하여 훈련된 모델을 평가하였다.

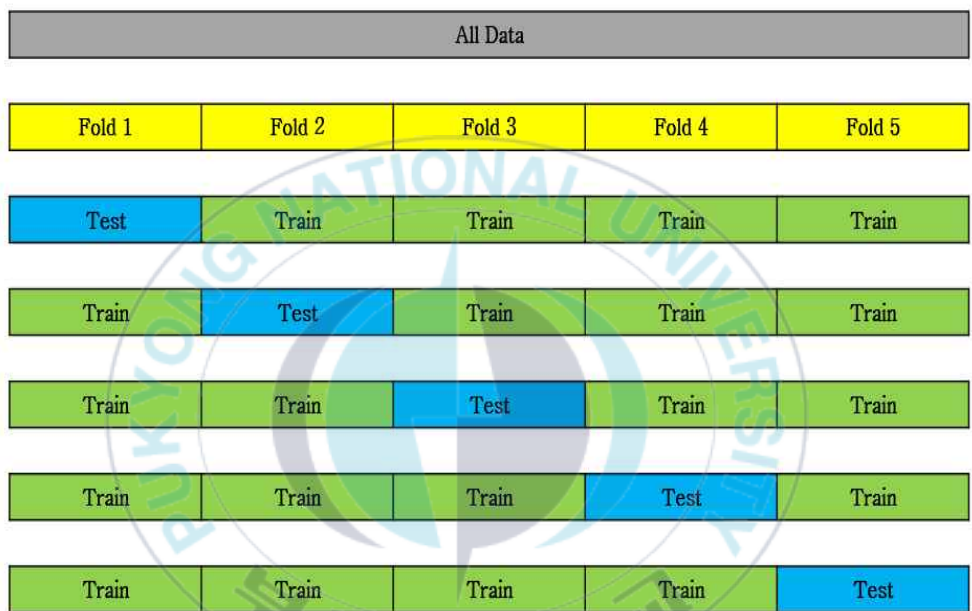


그림 4.2 K-폴드 교차검증

4.3 기계학습 모델 결과

4가지 기계학습 모델들에 대하여 최적의 하이퍼 파라미터를 탐색하고 F1 스코어를 통해 성능을 평가하였다. 모델의 하이퍼 파라미터는 표 4.1과 같다. KNN 모델은 KNN, 로지스틱 회귀 모델은 LR, 랜덤 포레스트 모델은 RF, 서포트 벡터 머신은 SVM으로 표기하였다. 하이퍼 파라미터에 대한 모델의 F1 스코어는 그림 4.3에서 4.5에서 확인 가능하다.

KNN 모델의 하이퍼 파라미터는 $K = 3$, $weights = uniform$, $metric = euclidean$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.7607이며, 안전 클래스 0.72, 불안전 클래스 0.91로 검토되었다. 안전 클래스의 F1 스코어는 0.92로 매우 우수하지만, 불안전 클래스는 0.72로 낮은 성능을 보여주었다. LR 모델의 하이퍼 파라미터는 $C = 10$, $solver = lbfgs$, $penalty = L2$, $max-iter = 100$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.5512로 낮은 성능을 보여주었는데, 이는 불안전 클래스의 F1 스코어는 0.85이지만, 안전 클래스가 0.54로 낮은 성능을 보여주었기 때문이다. RF 모델은 $n-estimators = 500$, $max-depth = 30$, $min-samples-split = 5$, $min-samples-leaf = 1$ 로 탐색되었다. F1 스코어는 0.8594로 높은 성능을 보여주었으며, 안전 클래스 0.85, 불안전 클래스 0.94로 높은 성능을 보여주었다. SVM 모델은 예측을 진행하지 못하였다. 데이터의 크기와 복잡성으로 인해 차원 구성에 많은 계산 비용이 필요한 것으로 판단된다. 3가지 모델에 대한 F1 스코어는 표 4.2에서 확인 가능하다.

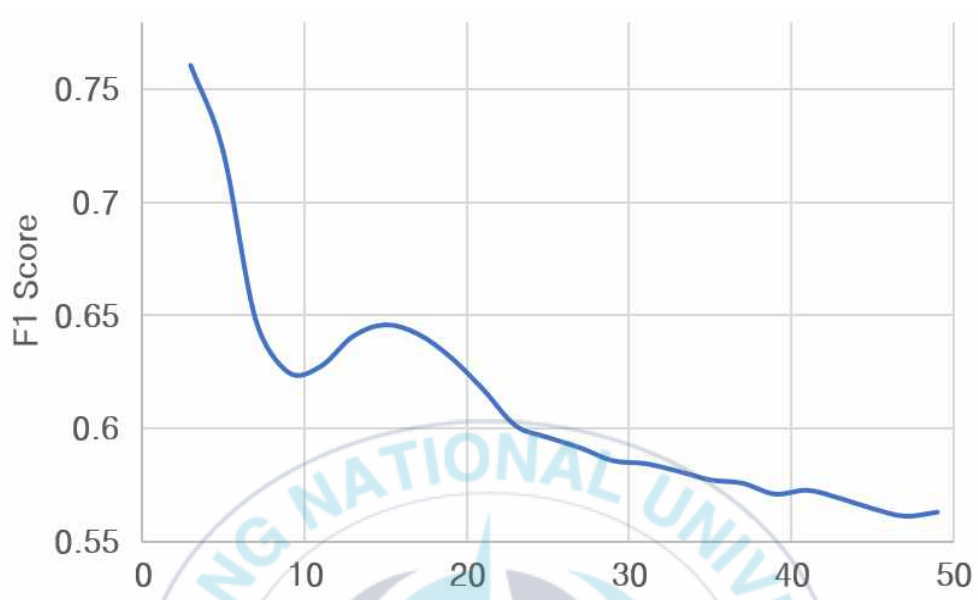


그림 4.3 KNN F1 스코어

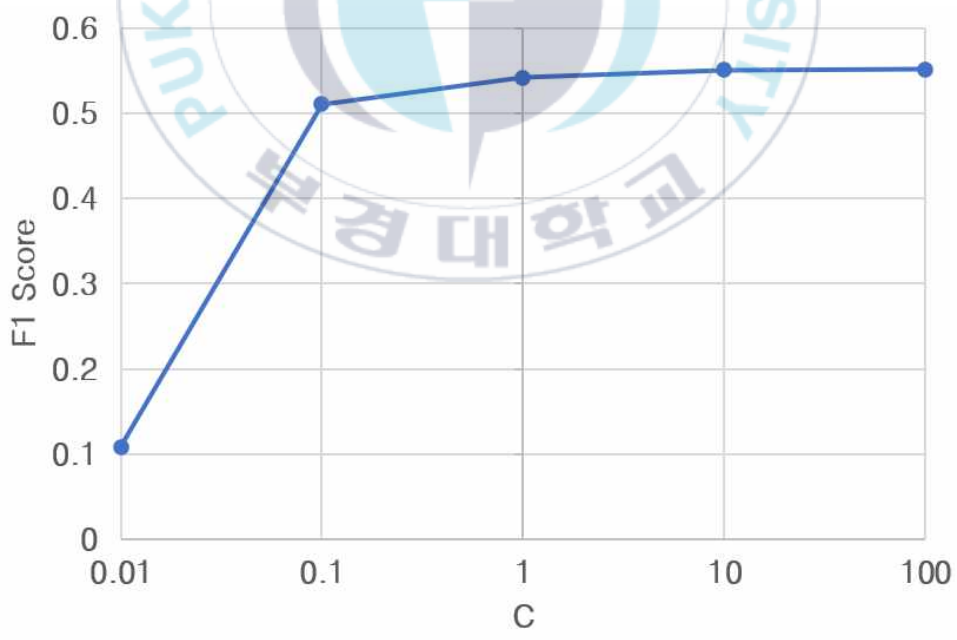


그림 4.4 LR F1 스코어

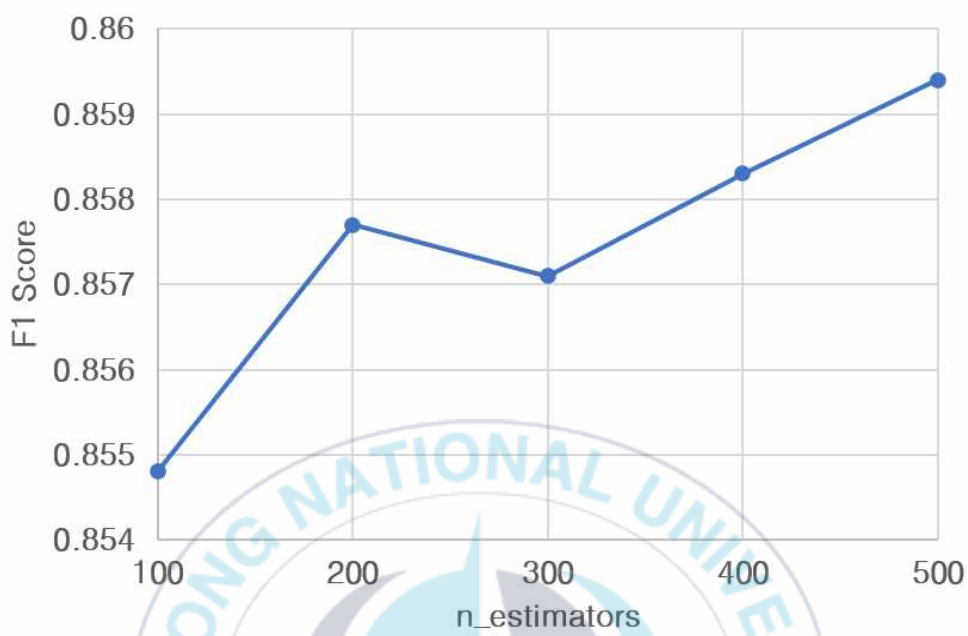


그림 4.5 RF F1 스코어

표 4.1 하이퍼 파라미터 탐색 결과

Model	Type	Hyper Parameter
KNN	n-neighbors	3
	weights	uniform
	metric	euclidean
LR	C	100
	solver	lbfgs
	penalty	L2
	max-iter	100
RF	n-estimators	500
	max-depth	30
	min-samples-split	5
	min-samples-leaf	1

표 4.2 기계학습 모델 F1 스코어

Model	Type	Class	F1 Score	Time
KNN	Train	All	0.7607	0.148
	Test	Safe	0.72	
		Un Safe	0.91	
LR	Train	All	0.5512	0.000
	Test	Safe	0.54	
		Un Safe	0.85	
RF	Train	All	0.8594	0.1801
	Test	Safe	0.85	
		Un Safe	0.94	

4.4 정확도 향상 기법

4.4.1 Standard Scaler 및 결과

Standard Scaler란 데이터 표준화 방법이다. Standard Scaler가 필요한 이유는 변수 크기가 다른 범위에 위치할 때 큰 크기의 데이터가 모델의 예측에 더 큰 영향을 주기 때문이다. 또한 모델을 단순화하여 탐색에 필요한 시간이 감소된다. 그러나 Standard Scaler를 사용할 때 일부 모델은 성능이 저하될 수 있으므로 사용에 주의가 필요하다. Standard Scaler는 변수의 평균과 표준 편차를 구하여 변수에서 평균을 빼준 뒤 표준 편차로 나누어준다. Standard Scaler 과정을 식으로 표현하면 식 5.1과 같다.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4.4)$$

여기서 x 는 변수, μ 는 변수들의 평균(mean), σ 는 변수들의 표준 편차(standard deviation)이다. 그림 5.1과 그림 5.2는 각각 표준화 후의 데이터 히스토그램과 박스 플롯이다. 그림 5.1에서 막대그래프가 고르게 분포하며, 곡선의 형태가 완만해진 것을 확인할 수 있다. 그림 5.2에서는 변수의 크기가 -2와 2 사이에 위치하는 것을 볼 수 있다. Standard Scaler를 적용한 모델은 모델명 뒤에 -S를 추가하여 표기하였다.

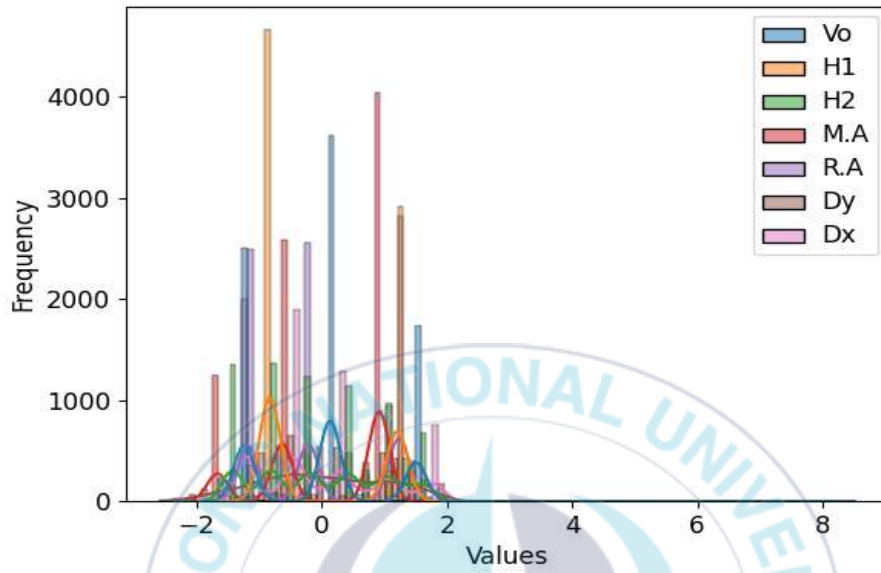


그림 4.6 데이터 표준화 후 히스토그램

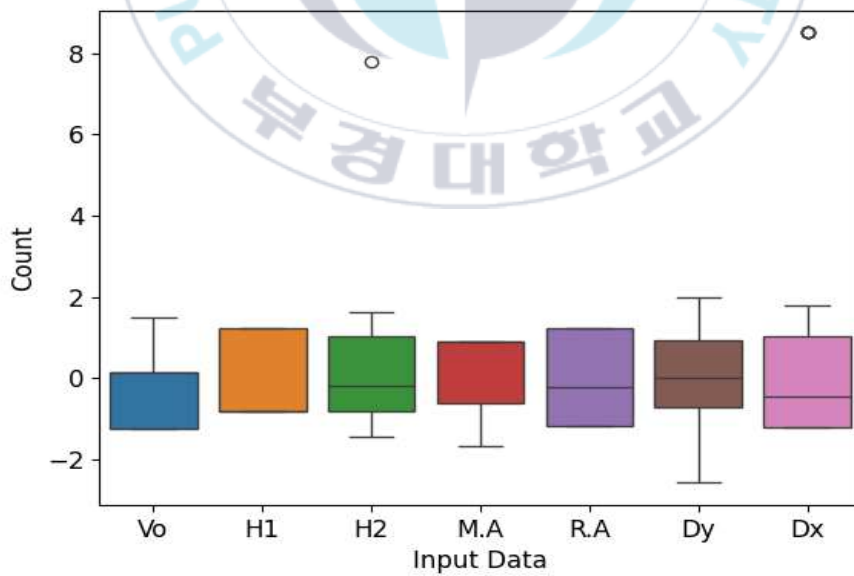


그림 4.7 데이터 표준화 후 박스 플롯

KNN-S 모델의 하이퍼 파라미터는 $K = 3$, $\text{weights} = \text{uniform}$, $\text{metric} = \text{manhattan}$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.6232이며, 안전 클래스 0.6, 불안전 클래스 0.87로 검토 되었다. Standard Scaler 적용 시 F1 스코어가 낮아졌다. 이는 Standard Scaler로 인해 변수를 구분하는 정보가 희석되었거나 데이터 구조가 비선형적일 경우이다. LR-S 모델의 하이퍼 파라미터는 $C = 10$, $\text{solver} = \text{saga}$, $\text{penalty} = \text{L1}$, $\text{max-iter} = 10$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.5512이며, 안전 클래스 0.54, 불안전 클래스 0.85로 검토 되었다. 기존 모델과 동일한 F1 스코어를 보여주었다. 이는 데이터 스케일 조정이 모델의 결정 경계와 예측 레이블에 영향을 주지 않았기 때문이다. RF-S 모델의 하이퍼 파라미터는 $\text{n-estimators} = 500$, $\text{max-depth} = 25$, $\text{min-samples-split} = 2$, $\text{min-samples-leaf} = 1$ 로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.8585이며, 안전 클래스 0.84, 불안전 클래스 0.94로 검토 되었다. F1 스코어는 기존 모델과 유사하였으며, 하이퍼 파라미터가 max-depth 가 30에서 25, min-samples-split 이 5에서 2로 감소하였다. 이는 데이터가 정규화되어 이상치의 영향을 감소시킨 것으로 판단된다. SVM-S 모델의 하이퍼 파라미터는 $C = 100$, $\text{kernel} = \text{rbf}$, $\text{gamma} = 0.1$ 로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.9096이며, 안전 클래스 0.84, 불안전 클래스 0.94로 검토 되었다. Standard Scaler로 계산 비용이 감소하여 예측이 가능한 것으로 판단된다. Standard Scaler 후 하이퍼 파라미터에 따른 모델의 F1 스코어는 그림 4.8에서 4.11과 같으며, 하이퍼 파라미터 탐색 결과는 표 4.3과 같다. F1 스코어는 표 4.4와 같다.



그림 4.8 KNN-S F1 스코어

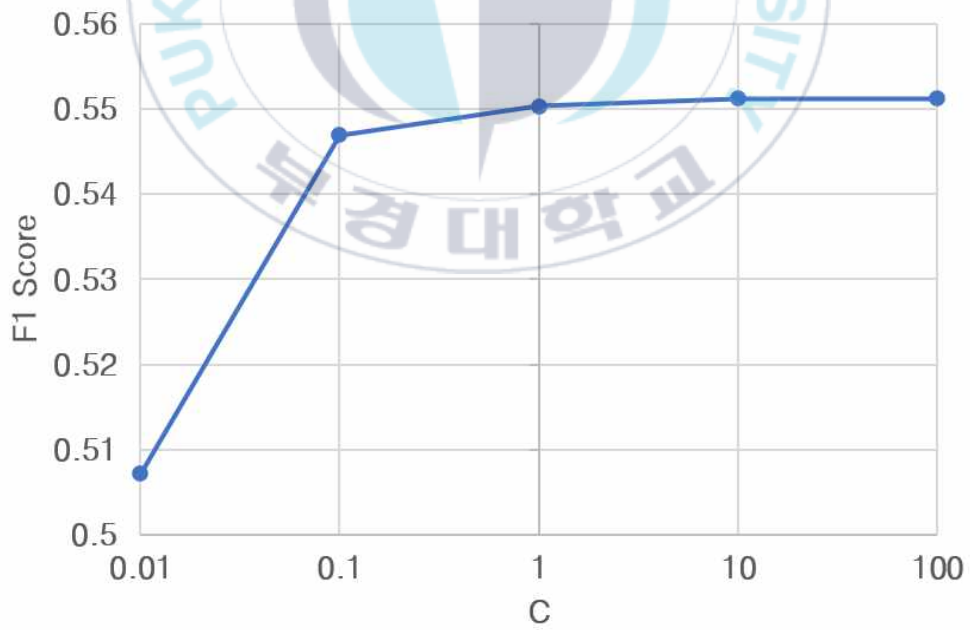


그림 4.9 LR-S F1 스코어

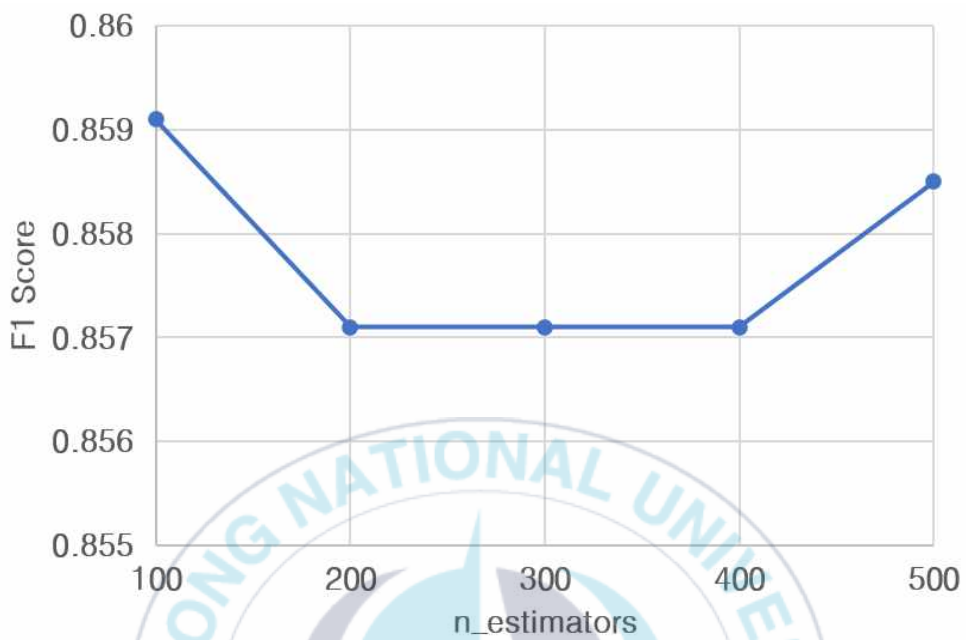


그림 4.10 RF-S F1 스코어

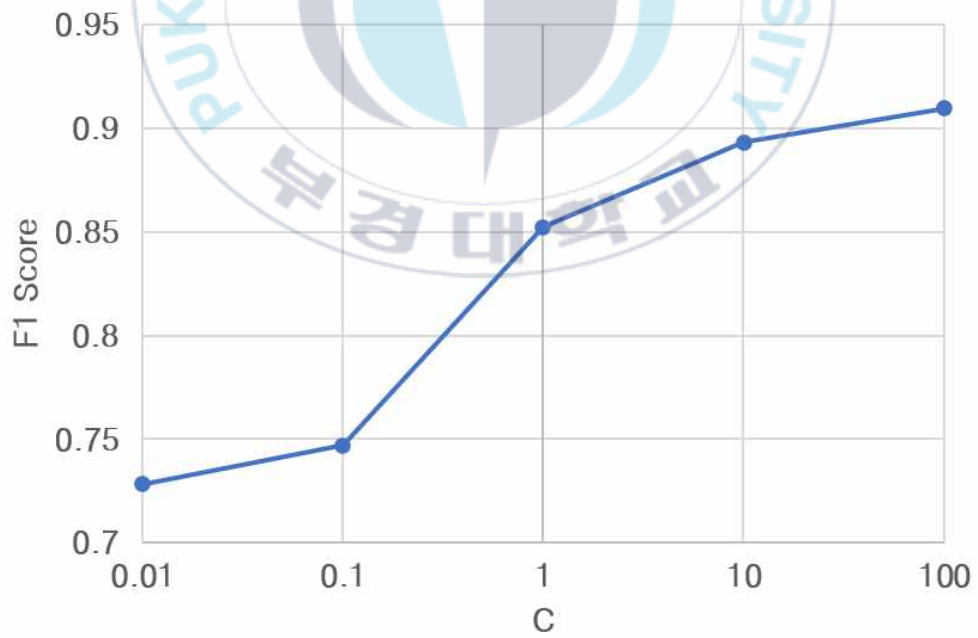


그림 4.11 SVM-S F1 스코어

표 4.3 Standard Scaler 후 하이퍼 파라미터

Model	Type	Hyper Parameter
KNN-S	n-neighbors	3
	weights	uniform
	metric	manhattan
LR-S	C	10
	penalty	L1
	solver	saga
	max-iter	10
RF-S	n-estimators	500
	max-depth	25
	min-samples-split	2
	min-samples-leaf	1
SVM-S	C	100
	kernel	rbf
	gamma	0.1

표 4.4 Standard Scaler 후 F1 스코어

Model	Type	Class	F1 Score	Time
KNN-S	Train	All	0.6232	0.137
	Test	Safe	0.6	
		Un Safe	0.87	
LR-S	Train	All	0.5512	0.00
	Test	Safe	0.54	
		Un Safe	0.85	
RF-S	Train	All	0.8585	0.188
	Test	Safe	0.84	
		Un Safe	0.94	
SVM-S	Train	All	0.9096	1.9709
	Test	Safe	0.84	
		Un Safe	0.94	

4.4.2 Over Sampling 및 결과

Over Sampling이란 불균형 데이터 문제를 해결하기 위한 데이터 튜닝 기법이다. 본 연구에서 불안전 클래스는 대규모 클래스이며, 안전 클래스는 소규모 클래스에 속하기 때문에 Over Sampling을 사용하였다. 데이터 클래스 수가 불균형할 때 소규모 클래스의 예측 성능이 저하되는데, Over Sampling은 소규모 클래스의 데이터를 인위적으로 증가시켜 불균형을 해결한다. Over Sampling과 Standard Scaler를 같이 사용할 경우 Standard Scaler로 인해 소수 클래스의 특징이 작아질 수 있기에 주의가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 Over Sampling만을 적용할 때와 Over Sampling과 Standard Scaler를 함께 적용할 때 모두를 평가하였다. Over Sampling을 적용한 모델은 -O로, Standard Scaler와 Over Sampling을 적용한 모델은 -SO로 표기하였다.

KNN-SO 모델의 하이퍼 파라미터는 $K = 43$, $\text{weights} = \text{uniform}$, $\text{metric} = \text{manhattan}$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.63이며, 안전 클래스 0.63, 불안전 클래스 0.81로 검토되었다. KNN-O 모델의 하이퍼 파라미터는 $K = 5$, $\text{weights} = \text{uniform}$, $\text{metric} = \text{manhattan}$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.7004이며, 안전 클래스 0.68, 불안전 클래스 0.85로 검토되었다. Over Sampling은 소규모 클래스에 대한 데이터 불균형을 해결하지 못하였으며, 데이터 간의 경계가 희미해져 F1 스코어가 낮아진 것으로 판단된다. LR-SO 모델의 하이퍼 파라미터는 $C = 0.1$, $\text{solver} = \text{liblinear}$, $\text{penalty} = \text{L1}$, $\text{max-iter} = 10$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.6132이며, 안전 클래스 0.61, 불안전 클래스 0.8로 검토되었다. LR-O 모델의 하이퍼 파라미터는 $C = 1$, $\text{solver} = \text{newton-cg}$, $\text{penalty} = \text{L2}$, $\text{max-iter} = 10$ 으로 탐색되었다. 전체 F1 스코어는 0.6132이며, 안전 클래스

0.61, 불안전 클래스 0.8로 검토되었다. Over Sampling은 소규모 클래스의 성능은 높아졌지만, 모델의 학습 균형에 영향을 주어 대규모 클래스의 성능은 낮아진 것으로 판단된다. RF-SO 모델은 n-estimators = 400, max-depth = 30, min-samples-split = 5, min-samples-leaf = 1로 탐색되었다. F1 스코어는 0.8579로 높은 성능을 보여주었으며, 안전 클래스 0.85, 불안전 클래스 0.94로 높은 성능을 보여주었다. RF-O 모델은 n-estimators = 300, max-depth = 25, min-samples-split = 5, min-samples-leaf = 1로 탐색되었다. F1 스코어는 0.8575로 높은 성능을 보여주었으며, 안전 클래스 0.84, 불안전 클래스 0.94로 높은 성능을 보여주었다. 이는 데이터의 불균형이 완화되어 모델이 데이터를 학습하는데 깊은 트리를 형성할 필요성이 줄어든 것으로 판단된다. SVM 모델의 경우 Over Sampling 적용 시 계산 비용이 증가하여 예측을 진행하지 못하였다. Over Sampling 후 하이퍼 파라미터에 따른 모델의 F1 스코어는 그림 4.12에서 4.19와 같으며, 하이퍼 파라미터 탐색 결과는 표 4.5와 같다. F1 스코어는 표 4.6과 같다.



그림 4.12 KNN-SO F1 스코어

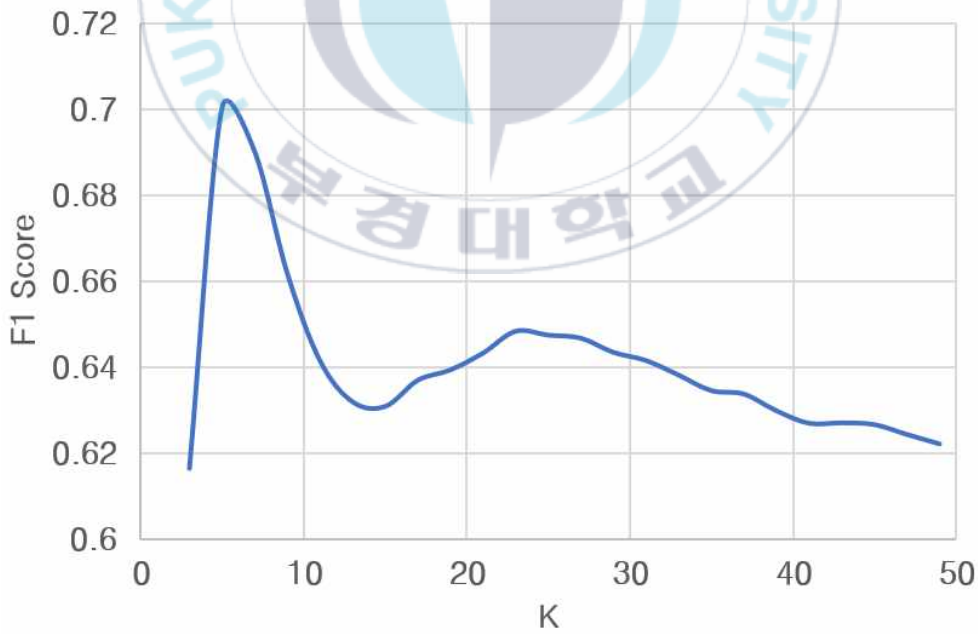


그림 4.13 KNN-O F1 스코어

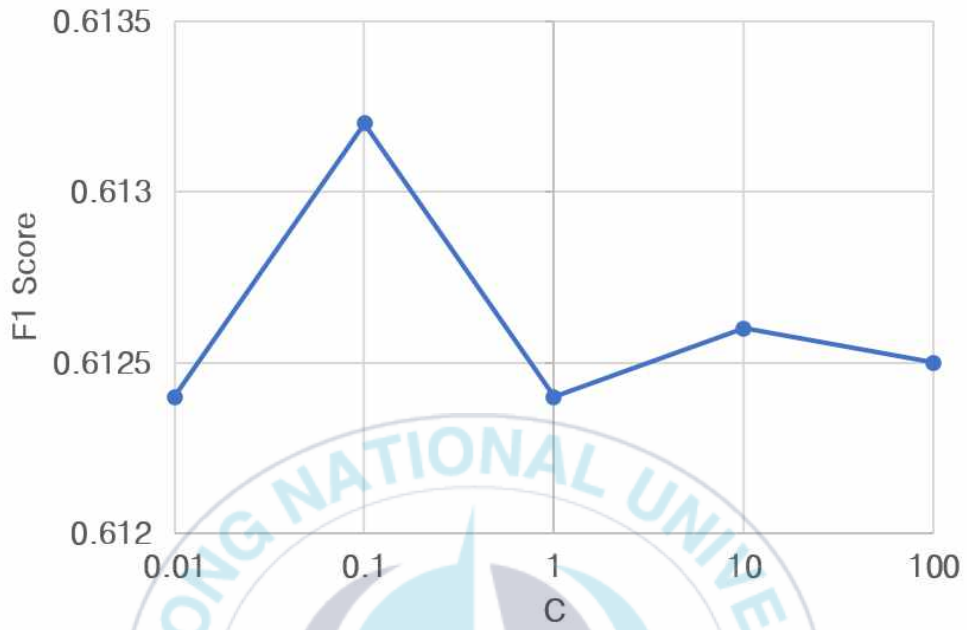


그림 4.14 LR-SO F1 스코어

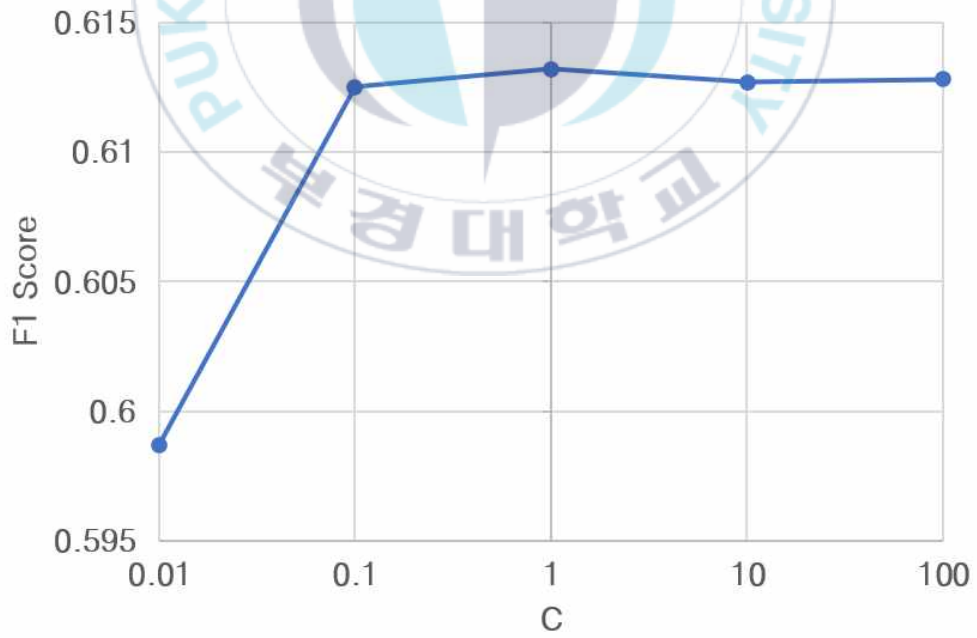


그림 4.15 LR-O F1 스코어

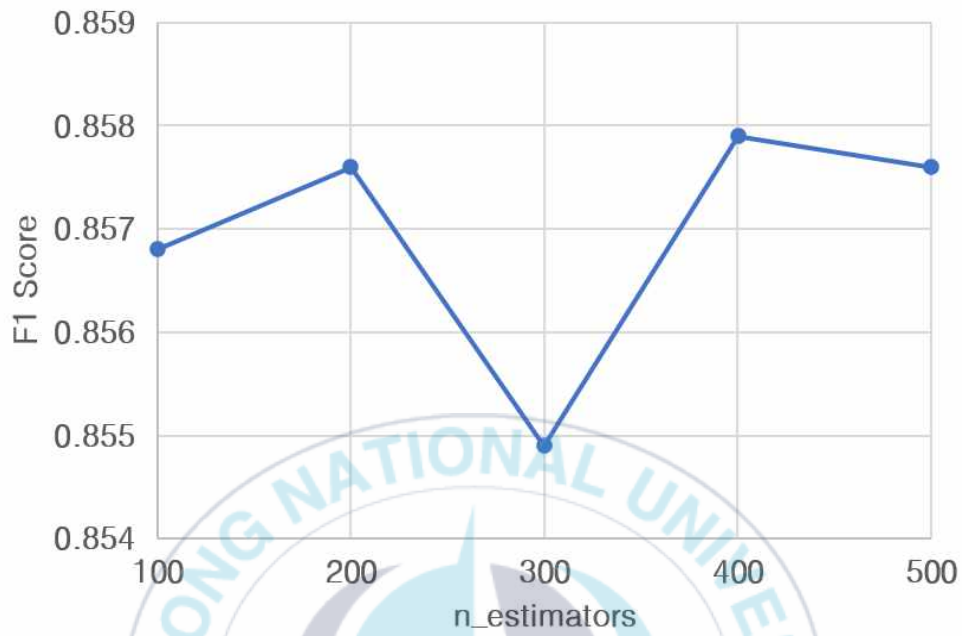


그림 4.16 RF-SO F1 스코어

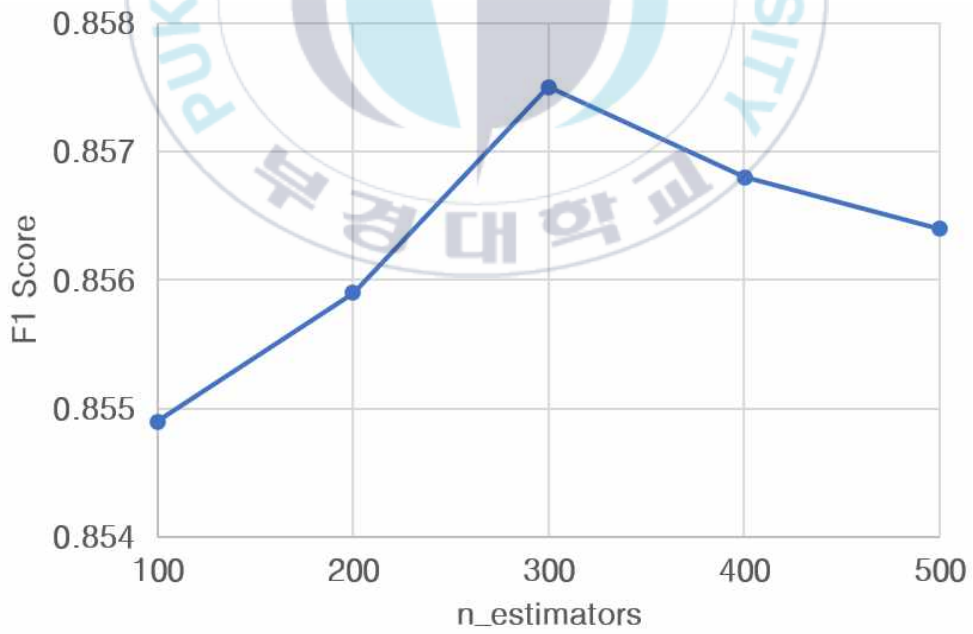


그림 4.17 RF-O F1 스코어

표 4.5 Over Sampling 적용 후 하이퍼 파라미터

Model	Type	Hyper Parameter
KNN-SO	n-neighbors	43
	weights	uniform
	metric	manhattan
KNN-O	n-neighbors	5
	weights	uniform
	metric	manhattan
LR-SO	C	0.1
	solver	liblinear
	penalty	L1
	max-iter	10
LR-O	C	1
	solver	newton-cg
	penalty	L2
	max-iter	10
RF-SO	n-estimators	400
	max-depth	30
	min-samples-split	5
	min-samples-leaf	1
RF-O	n-estimators	300
	max-depth	25
	min-samples-split	5
	min-samples-leaf	1

표 4.6 Over Sampling 후 F1 스코어

Model	Type	Class	F1 Score	Time
KNN-SO	Train	All	0.6315	0.2341
	Test	Safe	0.63	
		Un Safe	0.81	
KNN-O	Train	All	0.7004	0.153
	Test	Safe	0.68	
		Un Safe	0.85	
LR-SO	Train	All	0.6132	0.00
	Test	Safe	0.61	
		Un Safe	0.8	
LR-O	Train	All	0.6132	0.00
	Test	Safe	0.61	
		Un Safe	0.8	
RF-SO	Train	All	0.8579	0.148
	Test	Safe	0.85	
		Un Safe	0.94	
RF-O	Train	All	0.8575	0.115
	Test	Safe	0.84	
		Un Safe	0.94	

4.5 소결

4장에서는 기계학습 모델의 평가 방법과 결과, 그리고 정확도 향상 기법에 대해 다루었다. K-폴드 교차검증을 통해 모델을 학습하였으며, F1 스코어를 통해 평가하였다. 본 연구는 안전 클래스와 불안전 클래스를 구분하는 이진 분류 문제로, F1 스코어를 활용하여 기계학습 모델의 클래스별 성능을 평가하였다. 기계학습 모델의 정확도 향상을 위해 Standard Scaler와 Over Sampling을 적용하여 추가적인 평가를 진행하였다. KNN 모델의 경우, KNN 모델이 가장 좋은 성능을 보여주었다. Standard Scaler와 Over Sampling이 데이터 간의 경계를 낮추어 모델 성능이 떨어진 것으로 판단된다. LR 모델의 경우 LR-S 모델과 LR-SO 모델이 가장 높은 F1 스코어를 보여주었다. 그러나 4가지 모델 중 가장 낮은 성능을 보였는데, 이는 데이터의 구조가 비선형 형태를 보이기 때문으로 판단된다. RF 모델의 경우, 모든 경우에서 높은 F1 스코어를 보여주었다. SVM 모델의 경우, SVM-S 모델을 제외하고는 예측을 진행하지 못하였는데, 이는 차원 구성에 많은 계산 비용이 소요되기 때문으로 판단된다. SVM-S 모델의 경우 높은 F1 스코어를 보였지만, 예측에 소요되는 시간이 1.97초로 가장 긴 시간이 소요되었다. 그림 4.18에서 4.20을 통해 각 모델별 성능을 비교할 수 있다.



그림 4.18 KNN F1 스코어 비교



그림 4.19 LR F1 스코어 비교



그림 4.20 RF F1 스코어 비교

V. 기계학습 상세 분석

5.1 특성 중요도 분석

특성 중요도 분석(Feature Importance Analysis)이란 기계학습 모델이 예측을 하는데 있어 각 변수가 얼마나 중요한 영향을 하는지를 평가하는 과정이다. 이를 통해 기계학습 모델이 예측 결과를 해석하는 과정을 판단할 수 있다. 앞서 훈련된 모델 중 좋은 성능을 보여준 RF 모델을 대상으로 특성 중요도 분석을 실시하였다. RF 모델의 결정 트리의 성능에 기여하는 정도를 측정하게 된다. 지니 불순도 감소(Gini Impurity), 정보 이득(Information Gain), 분할 중요도(Split Importance)를 토대로 특성 중요도를 계산하게 된다. 지니 불순도 감소란 각 트리의 노드에서 데이터를 분할할 때 불순도가 얼마나 감소했는지를 계산한다. 식으로 표현하면 식 5.1과 같다.

$$\Delta G = G_{\text{parent}} - \left(\frac{N_{\text{left}}}{N_{\text{total}}} G_{\text{left}} + \frac{N_{\text{right}}}{N_{\text{total}}} G_{\text{right}} \right) \quad (5.1)$$

$$G = 1 - \sum_{i=1}^C p_i^2 \quad (5.2)$$

여기서 G_{parent} 는 부모 노드의 지니 불순도, G_{left} 와 G_{right} 는 왼쪽 및 오른쪽 자식 노드의 지니 불순도이며, N 은 노드에 있는 샘플 수 이다. 지니 불순도를 산정하는 방법은 식 5.2와 같다. 여기서 C 는 클래스의 수, p_i 는 클래스에 속하는 데이터의 비율이다. RF 모델의 특성 중요도는 그림 5.1과 같다.

특성 중요도는 보 간격(D_y), 기둥 간격(D_x), 태양광 발전 구조물 높이 ($H2$), 모듈 각도($M.A$), 풍속(V_0), 지붕 각도($R.A$), 건축물 높이($H1$) 순으로 확인되었다. D_y 가 0.396으로 가장 많은 영향을 주는데, 태양광 발전 구조물 설계 시 중도리의 안전성과 보와 기둥에 부하되는 하중을 산정 등 가장 많은 영향을 주는 변수이다. 또한, D_x 와 $H2$ 는 0.178과 0.163으로 구조물의 형태를 결정하여 구조물의 안전성에 중요한 변수이다. 풍하중 산정에 영향을 주는 $M.A$ 와 V_0 이 0.079과 0.056으로 확인되었으며, 본 연구에서 사용된 데이터가 건축물 높이 20m 이하로 사용되어 가장 낮은 특성 중요도를 보이는 것으로 판단된다. 이를 통해 기계학습 모델이 태양광 발전 구조물의 설계 과정을 올바르게 반영하고 있음을 확인하였다.

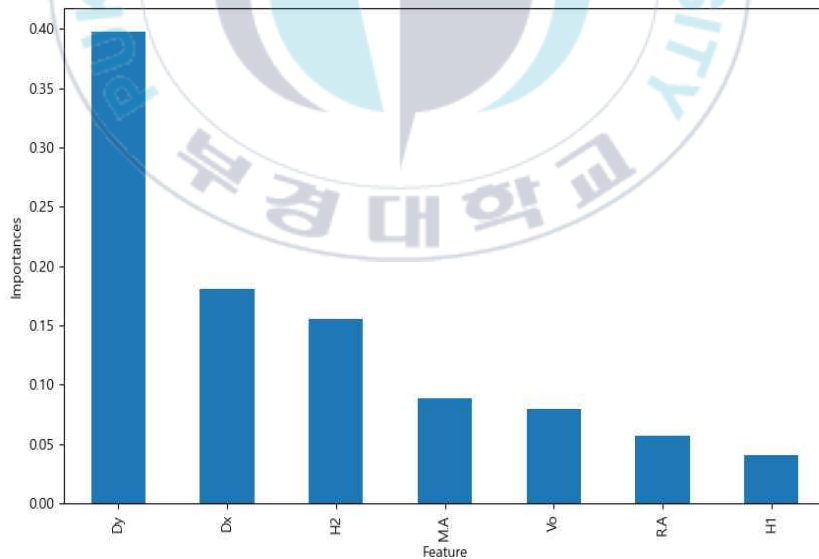


그림 5.1 RF 모델 특성 중요도

5.2 데이터 편향 분석

5.2.1 주성분 분석

주성분 분석(Principal Component Analysis, PCA)란 고차원 데이터를 저차원으로 변환하여 데이터의 주요 구조를 파악하여 데이터 차원을 축소하는데 사용되는 통계적 기법이다. 데이터 구조의 분산을 최대화하는 주성분(새로운 축)을 정의하여 데이터 구조를 재표현한다. 분산의 비율(Explained Variance Ratio, r_i)를 기반으로 몇 개의 주성분을 사용할지 결정하게 된다. 분산의 비율은 식 5.3과 같이 산정된다.

$$r_i = \frac{\lambda_i}{\sum_j^d \lambda_j} \quad (5.3)$$

$$\det(C - \lambda I)v = 0 \quad (5.4)$$

$$C = \frac{1}{n} X^T X \quad (5.5)$$

식에서 λ_i 는 i 번째 주성분의 고유값(λ)이다. 여기서 고유값은 식 5.4의 방정식을 풀어 계산된다. 여기서 C 는 $d \times d$ 대칭행렬일 때 d 차 다항식으로 나타낸다. 식에서 v 는 고유 벡터이다. 대칭행렬 C 는 식 5.5로 산정된다. 식 5.4에서 X 는 표준화된 데이터 행렬로 $n \times d$ 이며, n 은 샘플 수, d 는 변수의 수이다.

본 연구에 PCA를 활용하여 누적 분산 비율을 확인한 결과는 그림 5.2와 같다. 누적 분산 비율을 통해 기존의 변수 7가지에서 4가지로 차원을 축소하였을 때 99%를 보여주었으며, 3가지 차원만으로 95% 이상을 보여주었다. PC1부터 PC4까지의 주성분 별 변수의 가중치는 그림 5.3과 같다. PC1

은 건축물 높이가 높은 양의 가중치와 풍속이 음의 가중치를 보이고, PC2는 지붕 각도가 높은 양의 가중치를 보여주고 있다. PC3는 모듈 각도가 높은 양의 가중치를 가지고 풍속, 지붕 각도, 보 간격이 음의 가중치를 보인다. PC4는 풍속이 높은 양의 가중치를 가지며, 건축물 높이와 모듈 각도는 양의 가중치, 보 간격은 음의 가중치를 가지고 있다.

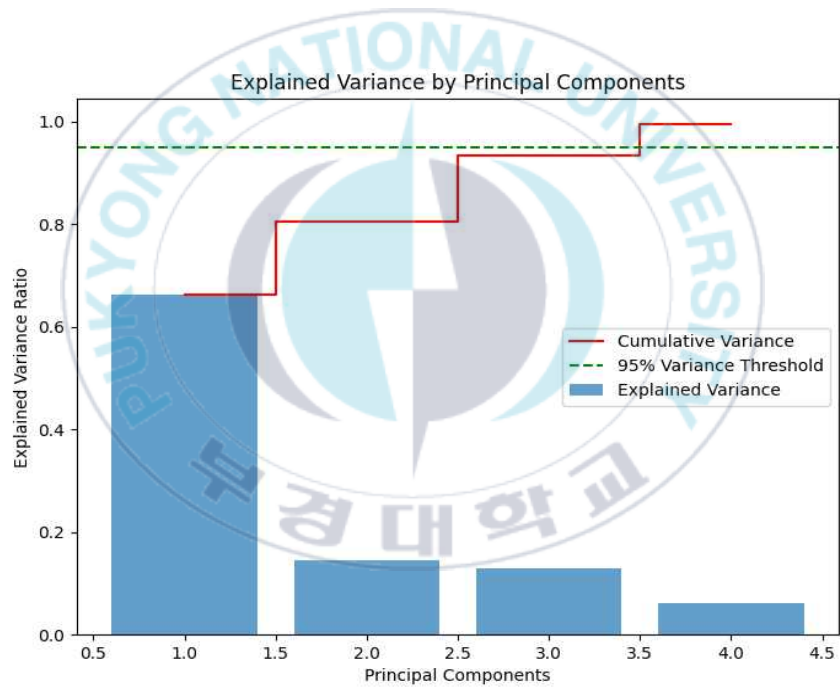


그림 5.2 PCA 누적 분산 비율

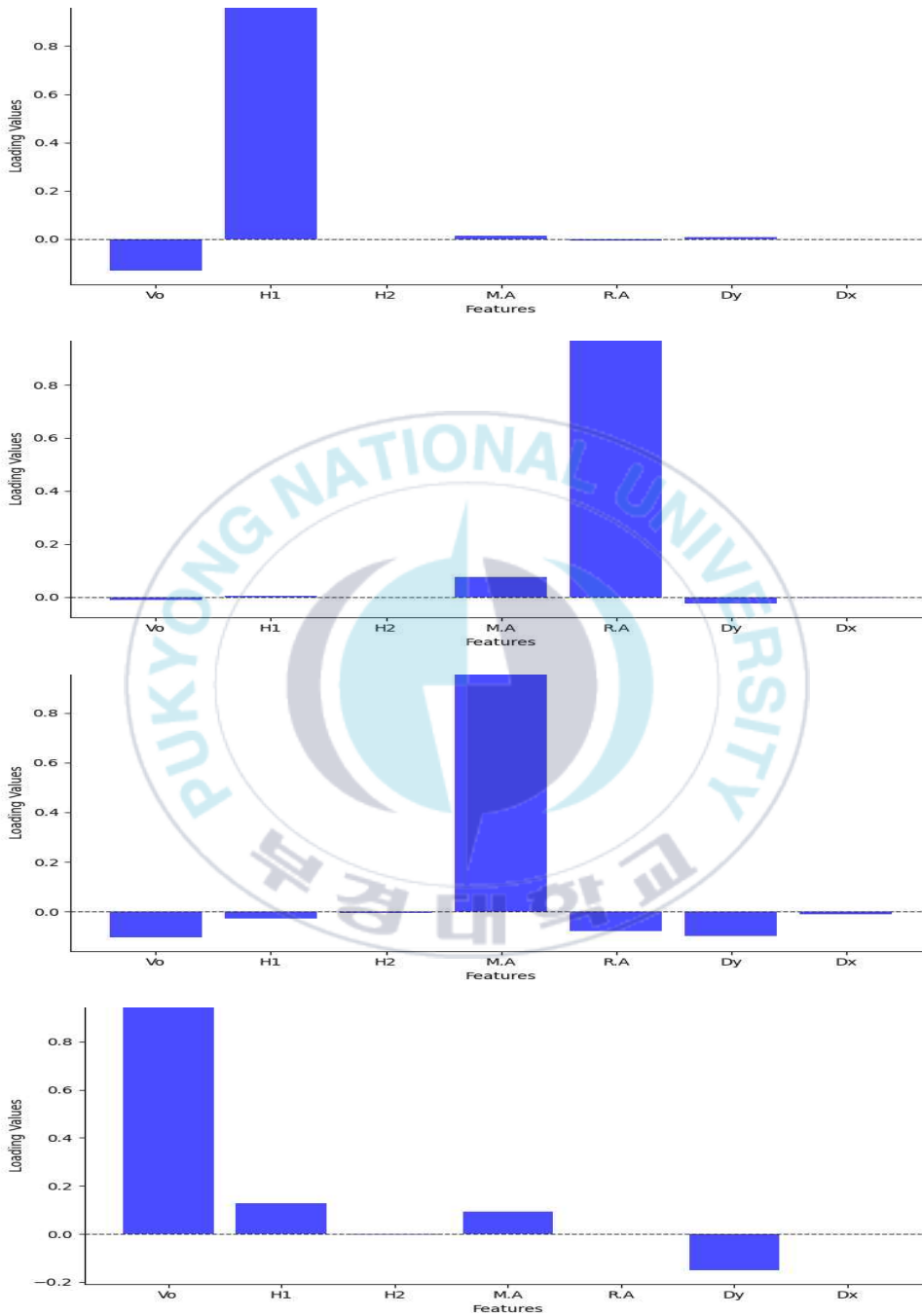


그림 5.3 PCA 주성분 별 변수의 가중치 부하

차원 축소를 적용하기 전에 데이터 손실을 확인하기 위해 복원 오류 (Reconstruction Error)를 확인하였다. 복원 오류는 원본 데이터와 PCA를 통해 차원 축소 후 복원한 데이터 간의 차이를 통해 데이터 손실을 확인한다. 복원 오류는 식 5.6과 같이 산정된다.

$$\|X - \hat{X}\|_F \quad (5.5)$$

$$\hat{X} = XW_k W_k^T \quad (5.6)$$

식에서 X 는 원본 데이터, \hat{X} 는 복원된 데이터이다. $\|\cdot\|_F$ 는 Frobenius 노름(행렬의 모든 원소 제곱합의 제곱근)이다. \hat{X} 는 식 5.6에 따라 산정된다. 식에서 W_k 는 상위 k 개의 주성분을 의미한다. 본 연구에 적용된 PCA의 복원 오류는 0.021로 데이터의 손실은 없는 것으로 판단된다. 따라서, 기존 기계학습 모델에 차원 축소를 추가하여 평가하였다.

5.2.2 특이값 분해

특이값 분해(Singular Value Decomposition, SVD)는 선형 대수학에서 행렬을 분해하는 방법 중 하나이다. 데이터를 효율적으로 표현하거나 분석할 때 사용된다. 기계학습에서는 차원 축소, 데이터 압축, 노이즈 제거 등을 위하여 사용된다. 특이값 분해는 $m \times n$ 크기의 행렬을 식 5.7과 같이 세 행렬의 곱으로 분해한다.

$$A = U\Sigma V^T \quad (5.7)$$

식에서 A 는 $m \times n$ 행렬, U 는 $m \times m$ 크기의 직교 행렬, Σ 는 $m \times n$ 크기의 대각 행렬, V^T 는 $n \times n$ 크기의 직교 행렬의 전치행렬이다. U 는 A 의 열 공간(Column Space)를 나타내는, 좌측 특이벡터로 구성된 직교 행렬이다. Σ 는 A 의 특이값이 포함된 대각 행렬로, 특이값이란 데이터 분산을 나타내는 척도이다. V^T 는 A 의 행 공간(Row Space)를 나타내며, 우측 특이벡터로 구성된다.

특이값 분해는 대칭성, 정방성 등 특별한 조건 없이 모든 행렬에 대해 사용할 수 있고 데이터를 저차원 공간으로 투영하면서도 중요한 정보를 유지하게 된다. 하지만 계산 복잡도가 높기 때문에 대규모 데이터에 비효율적일 수 있으며, 데이터 구조가 비선형일 경우 분석 결과가 왜곡될 수 있다.

5.2.3 독립성분 분석

독립성분 분석(Independent Component Analysis, ICA)는 다변량 신호를 통계적으로 독립적인 성분으로 분리하는 데 사용되는 차원 축소 방법이다. 관측 데이터를 통계적으로 독립적인 데이터로 분리하는 방법으로, 식으로 표현하면 식 5.8과 같다. 식에서 X 는 관측 데이터, A 는 혼합 행렬, S 는 독립적인 데이터이다. S 를 통해 차원 축소가 이루어진다.

$$X = AS \quad (5.8)$$

독립성분 분석은 주성분 분석의 단점을 보완하기 위해 연구된 방법이다. 주성분 분석의 약한 직교성을 강화하기 위해, 비정규적 수치를 최적화하는 방향으로 독립성분을 찾게 된다. 데이터가 독립적이며 정규 분포를 따르지 않는다는 가정을 통해 분산이 최대인 방향으로 새로운 데이터를 찾는다. 하지만 데이터의 크기와 순서를 결정하지 못하며, 선형 혼합으로 가정되기 때문에 비선형에는 적합하지 않을 수 있다.

5.2.4 결과

주성분 분석, 특이값 분해, 독립성분 분석을 통해 정제된 데이터를 활용한 결과를 평가하였다. 차원 축소로 인하여 데이터의 구조가 변화하였기 때문에, 하이퍼 파라미터에 대하여도 Grid Search를 통해 재 탐색하였다. 기계학습 모델의 하이퍼 파라미터의 결과는 표 5.1에서, F1 스코어는 표 5.2에서 확인할 수 있다.

KNN 모델의 경우 KNN-S와 KNN-SO에 ICA를 적용할 때 F1 스코어가 높아졌으며, 이외의 모델은 낮아졌다. Over Sampling이 소수 클래스인 안전 클래스 데이터를 새롭게 생성하면서 데이터 간의 독립적인 특성이 강화되었고, 이를 ICA가 탐지한 것으로 판단된다. PCA와 SVD의 경우 차원 축소로 인하여 데이터 간의 거리 관계가 왜곡되어 성능이 낮아진 것으로 판단된다. LR 모델의 경우 ICA 적용 시에는 유사한 결과를 보여주었으며, PCA와 SVD 적용 시에는 F1 스코어가 낮아졌다. LR과 LR-S의 경우 안전 클래스에 대한 예측을 진행하지 못하였다. RF 모델의 경우 고차원 데이터를 처리하는 데 비교적 강점이 있는데, 차원 축소로 인해 변수별로 중요도를 판단하고 학습할 수 있는 기회가 줄어들어 성능이 낮아진 것으로 판단된다. SVM 모델의 경우 F1 스코어와 하이퍼 파라미터가 그대로 유지되었다. 이는 차원 축소 과정에서 데이터의 손실이 없어서, SVM 모델이 차원의 결정 경계를 탐색하는 조건이 동일한 것으로 판단된다. 차원 축소로 인한 모델의 성능 향상은 적었으며, 대부분의 모델 성능이 낮아졌다. 이는 차원 축소의 불필요, 데이터 정보 손실 또는 데이터 구조의 비선형일 때가 있다. 하지만 누적 분산 비율 99%와 복원 오류 0.021로 차원 축소의 불필요와 데이터 정보 손실은 아닌 것으로 판단된다. 따라서 데이터의 비선형 분석을 실시하였다.

표 5.1 차원 축소 후 하이퍼 파라미터

Model		Type	Hyper Parameter
KNN	PCA	n-neighbors	3
		weights	uniform
		metric	manhattan
	SVD	n-neighbors	7
		weights	uniform
		metric	euclidean
	ICA	n-neighbors	3
		weights	uniform
		metric	manhattan
KNN-S	PCA	n-neighbors	3
		weights	uniform
		metric	manhattan
	SVD	n-neighbors	7
		weights	uniform
		metric	euclidean
	ICA	n-neighbors	3
		weights	uniform
		metric	manhattan

Model		Type	Hyper Parameter
KNN-O	PCA	n-neighbors	5
		weights	distance
		metric	euclidean
	SVD	n-neighbors	21
		weights	uniform
		metric	manhattan
	ICA	n-neighbors	49
		weights	uniform
		metric	manhattan
KNN-SO	PCA	n-neighbors	49
		weights	uniform
		metric	manhattan
	SVD	n-neighbors	31
		weights	uniform
		metric	euclidean
	ICA	n-neighbors	49
		weights	uniform
		metric	manhattan

Model		Type	Hyper Parameter
LR	PCA	C	0.1
		solver	saga
		penalty	L1
		max-iter	10
	SVD	C	0.01
		solver	saga
		penalty	L1
		max-iter	10
	ICA	C	1
		solver	liblinear
		penalty	L2
		max-iter	10
LR-S	PCA	C	0.01
		solver	saga
		penalty	L1
		max-iter	10
	SVD	C	0.01
		solver	saga
		penalty	L1
		max-iter	10
	ICA	C	100
		solver	saga
		penalty	L1
		max-iter	10

Model		Type	Hyper Parameter
LR-O	PCA	C	0.01
		solver	liblinear
		penalty	L1
		max-iter	10
	SVD	C	100
		solver	saga
		penalty	L2
		max-iter	100
	ICA	C	0.01
		solver	saga
		penalty	L1
		max-iter	10
LR-SO	PCA	C	10
		solver	liblinear
		penalty	L1
		max-iter	10
	SVD	C	0.01
		solver	liblinear
		penalty	L1
		max-iter	10
	ICA	C	0.01
		solver	liblinear
		penalty	L1
		max-iter	1000

Model		Type	Hyper Parameter
RF	PCA	n-estimators	500
		max-depth	30
		min-samples-split	2
		min-samples-leaf	1
	SVD	n-estimators	400
		max-depth	30
		min-samples-split	10
		min-samples-leaf	4
	ICA	n-estimators	500
		max-depth	30
		min-samples-split	10
		min-samples-leaf	1
RF-S	PCA	n-estimators	500
		max-depth	30
		min-samples-split	2
		min-samples-leaf	1
	SVD	n-estimators	400
		max-depth	20
		min-samples-split	2
		min-samples-leaf	1
	ICA	n-estimators	500
		max-depth	20
		min-samples-split	10
		min-samples-leaf	1

Model		Type	Hyper Parameter
RF-O	PCA	n-estimators	400
		max-depth	30
		min-samples-split	2
		min-samples-leaf	1
	SVD	n-estimators	100
		max-depth	15
		min-samples-split	10
		min-samples-leaf	4
	ICA	n-estimators	400
		max-depth	25
		min-samples-split	10
		min-samples-leaf	1
RF-SO	PCA	n-estimators	200
		max-depth	25
		min-samples-split	5
		min-samples-leaf	1
	SVD	n-estimators	500
		max-depth	20
		min-samples-split	10
		min-samples-leaf	1
	ICA	n-estimators	500
		max-depth	20
		min-samples-split	5
		min-samples-leaf	2

Model		Type	Hyper Parameter
SVM-S	PCA	C	100
		kernel	0.1
		gamma	rbf
	SVD	n-estimators	100
		max-depth	0.1
		min-samples-split	rbf
	ICA	max-depth	100
		min-samples-split	0.1
		min-samples-leaf	rbf

표 5.2 차원 축소 후 F1 스코어

Model	Type	Class	F1 Score	Time	
KNN	PCA	Train	All	0.6815	0.12
		Test	Safe	0.7	
			Un Safe	0.88	
	SVD	Train	All	0.5186	0.125
		Test	Safe	0.52	
			Un Safe	0.84	
	ICA	Train	All	0.668	0.64
		Test	Safe	0.64	
			Un Safe	0.88	
KNN -S	PCA	Train	All	0.6006	0.14
		Test	Safe	0.57	
			Un Safe	0.86	
	SVD	Train	All	0.3675	0.1257
		Test	Safe	0.34	
			Un Safe	0.8	
	ICA	Train	All	0.6626	0.162
		Test	Safe	0.64	
			Un Safe	0.88	

Model	Type	Class	F1 Score	Time	
KNN -O	PCA	Train	All	0.6992	0.03
		Test	Safe	0.7	
			Un Safe	0.85	
	SVD	Train	All	0.601	0.137
		Test	Safe	0.59	
			Un Safe	0.76	
	ICA	Train	All	0.7076	0.3401
		Test	Safe	0.72	
			Un Safe	0.86	
KNN -SO	PCA	Train	All	0.5837	0.2731
		Test	Safe	0.58	
			Un Safe	0.77	
	SVD	Train	All	0.517	0.15
		Test	Safe	0.5	
			Un Safe	0.68	
	ICA	Train	All	0.7094	0.3251
		Test	Safe	0.7	
			Un Safe	0.85	

Model	Type	Class	F1 Score	Time		
LR	PCA	Train	All	0.00	0.00	
		Test	Safe	0.00		
			Un Safe	0.82		
	SVD	Train	All	0.00	0.00	
		Test	Safe	0.00		
			Un Safe	0.82		
	ICA	Train	All	0.5512	0.00	
		Test	Safe	0.54		
			Un Safe	0.85		
	LR-S	PCA	Train	All	0.00	0.00
			Test	Safe	0.00	
				Un Safe	0.82	
SVD		Train	All	0.00	0.00	
		Test	Safe	0.00		
			Un Safe	0.82		
ICA		Train	All	0.5517	0.00	
		Test	Safe	0.54		
			Un Safe	0.85		

Model	Type	Class	F1 Score	Time	
LR -O	PCA	Train	All	0.3846	0.001
		Test	Safe	0.4	
			Un Safe	0.61	
	SVD	Train	All	0.3996	0.001
		Test	Safe	0.4	
			Un Safe	0.63	
	ICA	Train	All	0.6139	0.001
		Test	Safe	0.61	
			Un Safe	0.8	
LR -SO	PCA	Train	All	0.4554	0.00
		Test	Safe	0.46	
			Un Safe	0.65	
	SVD	Train	All	0.3963	0.00
		Test	Safe	0.39	
			Un Safe	0.57	
	ICA	Train	All	0.6142	0.001
		Test	Safe	0.61	
			Un Safe	0.8	

Model	Type	Class	F1 Score	Time		
RF	PCA	Train	All	0.7194	0.202	
		Test	Safe	0.66		
			Un Safe	0.87		
	SVD	Train	All	0.5566	0.132	
		Test	Safe	0.56		
			Un Safe	0.84		
	ICA	Train	All	0.7979	0.144	
		Test	Safe	0.79		
			Un Safe	0.92		
	RF-S	PCA	Train	All	0.6866	0.112
			Test	Safe	0.67	
				Un Safe	0.9	
SVD		Train	All	0.3461	0.169	
		Test	Safe	0.46		
			Un Safe	0.82		
ICA		Train	All	0.7963	0.144	
		Test	Safe	0.79		
			Un Safe	0.92		

Model	Type	Class	F1 Score	Time	
RF -O	PCA	Train	All	0.6993	0.63
		Test	Safe	0.63	
			Un Safe	0.82	
	SVD	Train	All	0.6186	0.026
		Test	Safe	0.61	
			Un Safe	0.79	
	ICA	Train	All	0.802	0.115
		Test	Safe	0.79	
			Un Safe	0.92	
RF -SO	PCA	Train	All	0.7065	0.0753
		Test	Safe	0.71	
			Un Safe	0.89	
	SVD	Train	All	0.5298	0.2
		Test	Safe	0.48	
			Un Safe	0.73	
	ICA	Train	All	0.8264	0.156
		Test	Safe	0.79	
			Un Safe	0.91	

Model	Type	Class	F1 Score	Time	
SVM -S	PCA	Train	All	0.9096	1.7939
		Test	Safe	0.84	
			Un Safe	0.94	
	SVD	Train	All	0.9096	1.7974
		Test	Safe	0.84	
			Un Safe	0.94	
	ICA	Train	All	0.9096	1.8344
		Test	Safe	0.84	
			Un Safe	0.94	

5.3 비선형 상관관계 분석

5.3.1 데이터 선형 상관관계 분석

본 연구에서 사용된 변수 간의 선형 상관관계를 분석하였다. 선형 상관관계 분석이란 변수 간의 상관성을 분석하는 방법으로, 두 변수 간의 선형 상관관계의 정도를 보여준다. 선형 상관관계를 확인하는 방법은 피어슨의 상관계수 수식을 사용한다. 피어슨의 상관계수(ρ_{XY})란 각 변수에 대한 표준 편차를 곱한 값과 두 변수에 대한 공분산의 비율이다. 피어슨의 상관계수를 식으로 표현하면 식 5.9와 같다.

$$\rho_{XY} = \frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5.9)$$

식에서 x_i 와 y_i 는 변수의 크기, \bar{x} 와 \bar{y} 는 변수의 평균, n 는 변수의 수이다. 그림 5.4는 변수 간의 상관계수를 보여주는 히트맵 차트이다. 오른쪽 Y축은 식 5.9에 의한 상관계수로, 1과 -1에 가까울수록 상관성이 높고, 0에 가까울수록 상관성이 낮다. 상관계수의 양수와 음수는 두 변수의 비례와 반비례를 나타낸다. 보 간격과 모듈 각도는 -0.47로 음의 상관관계를 보여주고 있고, 보 간격과 기둥 간격은 또한 -0.35로 음의 상관관계를 보여준다. 풍속은 건축물 높이와는 -0.36이며, 보 간격과는 -0.38로 음의 상관관계를 보여준다. 이외의 변수들 사이의 상관관계 수치는 0에 가까운 상관관계를 보여주고 있다. 안전성과 변수들 사이의 상관관계를 분석하면 가장 높은 수치가 구조물 높이와 보 간격인 -0.18로 0에 가깝다. 태양광 발전 구조물의 안전성과 변수 사이의 선형적인 상관관계가 약하다고 판단된다.

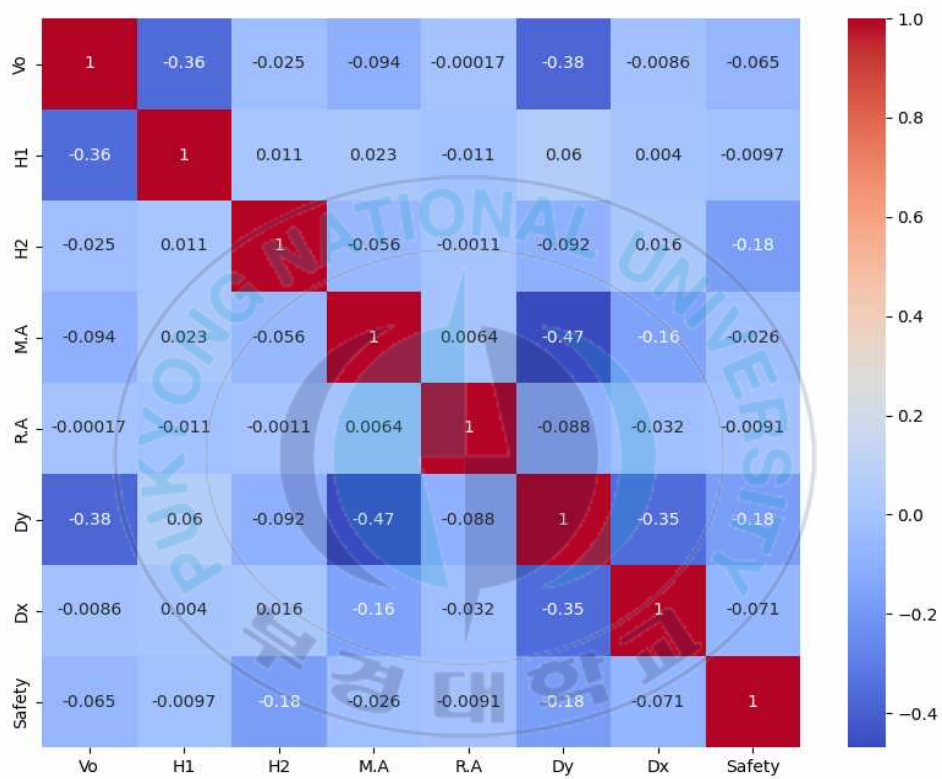


그림 5.4 변수별 피어슨의 상관계수

5.3.2 서피스 플롯

서피스 플롯(Surface Plot)이란 3D 공간에서 데이터를 시각화하는 그래프 유형이다. 두 개의 변수와 하나의 클래스 사이의 관계를 표현한다. 곡면을 3D로 확장하여 데이터의 패턴, 경향성과 변수 간의 상호작용을 이해하는데 유용하다. 이를 통해 데이터의 비선형성을 탐지할 수 있다.

기계학습 모델 중에서 가장 좋은 성능을 보여준 RF 모델을 통해 변수와 클래스 사이의 관계를 도출하였다. 변수는 5.1장에서 분석한 특성 중요도가 높은 보 간격과 기동 간격에 따른 안전 클래스와 불안전 클래스의 관계를 통해 비선형성을 판단하고자 한다. 보 간격, 기동 간격과 안전 클래스의 관계는 그림 5.5와 같으며, 불안전 클래스는 그림 5.6과 같다. 두 그림 모두 특정 구간에서 급격히 상승하거나 하락하는 패턴을 보여주고 있다. 보 간격의 변화가 예측 결과에 큰 영향을 주며, 보 간격이 일정한 경우에 기동 간격의 변화 또한 비선형적인 형태를 보여주고 있다. 이를 통해, 데이터의 구조가 비선형임을 확인하였다.

Surface Plot - Predicted Probability (Safe)

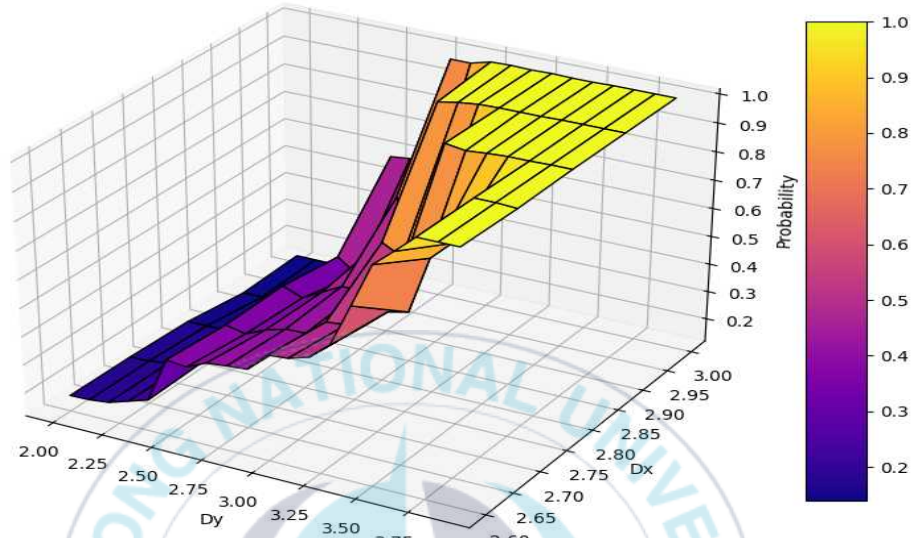


그림 5.5 변수와 안전 클래스 사이의 상관관계

Surface Plot - Predicted Probability (UnSafe)

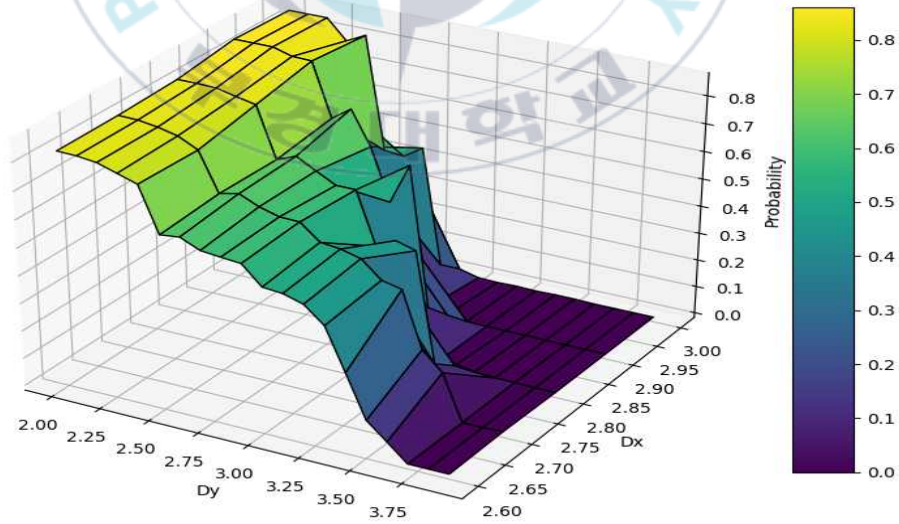


그림 5.6 변수와 불안전 클래스 사이의 상관관계

5.4 소결

본 연구에서 사용된 데이터의 특성 중요도는 보 간격이 가장 많은 영향을 주었으며 기동 간격과 구조물 높이 순으로 많은 영향을 주었다. 이를 통해 기계학습 모델이 태양광 발전 구조물의 설계 과정을 올바르게 반영하고 있음을 확인하였다.

PCA를 통해 누적 분산 비율과 복원 오류를 확인한 결과 주성분 4가지에서 99%를 보여주었으며, 복원 오류 0.021로 데이터 손실은 없는 것으로 판단하였다. 차원 축소 방법으로 PCA, SVD, ICA를 기계학습 모델에 적용하여 평가한 결과 KNN-O, KNN-SO, LR-O, LR-SO 모델에서 F1 스코어가 약간 상승하였으나, 대부분 모델의 F1 스코어는 유지되거나 감소되었다. 이 중 SVM 모델의 경우 F1 스코어가 동일하였는데, 이는 차원 축소 후에도 데이터의 경계가 동일한 것으로 판단하였다. 차원 축소 시 F1 스코어가 낮아지는 원인은 데이터 구조의 비선형으로 판단하였다.

본 연구에서 사용된 데이터 구조의 비선형 상관관계 분석을 실시하였다. 변수 사이의 피어슨 상관계수를 확인한 결과 보 간격과 모듈 각도, 풍속, 기동 간격이 각각 -0.47 , -0.38 , -0.35 로 0.5 이하의 상관계수를 보여주었으며, 그 이외의 상관계수는 모두 0 에 가까운 수치를 보여주었다. 이를 통해 변수 사이의 선형 상관관계가 약함을 확인하였다. RF 모델의 예측 결과와 보 간격, 기동 간격 사이의 관계를 서피스 플롯을 통해 확인한 결과 특정 구간에서 급격히 상승하거나 하락하는 패턴을 확인하였다. 이를 통해 데이터의 구조가 비선형임을 확인하였다.

V. 결 론

본 연구는 비전문가가 기계학습 모델을 사용하여 태양광 발전 구조물의 중도리, 보 및 기둥의 안전성을 식별하는 모델을 제안하였다. 비전문가가 태양광 발전 구조물 설계 시 고려하는 7가지 변수를 사용하였다. 태양광 발전 구조물은 모듈 3장이 설치되는 형태를 대상으로 진행하였다. 구조 설계 조건은 건축 구조 기준 설계하중(KDS 41 10 15 : 2019)과 건축물 강구조 설계기준(KDS 41 30 00 : 2019)을 기준으로 진행하였다. 데이터는 총 11,207개의 구조 해석 결과를 취합하였다.

기계학습 모델은 다수결의 원칙을 통해 예측하는 KNN 모델, 선형 방정식을 이용하는 LR 모델, 다수의 결정 트리 모델의 앙상블 기법인 RF 모델, 데이터 차원 영역을 형성하여 예측하는 SVM 모델 4가지를 평가하였다. 기계학습 모델 성능을 결정하는 최적의 하이퍼 파라미터 조합을 찾기 위하여 Grid Search를 사용하였다. 모델의 성능 향상을 위해 Standard Scaler와 Over Sampling을 추가적으로 평가하였다. K-폴드 교차검증 5회를 통해 모델을 훈련하고, 전체 데이터 중 30%를 랜덤하게 사용하여 모델을 평가하도록 하였다. 평가 기준은 F1 스코어를 통해 안전 클래스와 불안전 클래스의 성능을 모두 평가하였다.

KNN 모델의 경우 기본 KNN이 안전 클래스 72%, 불안전 클래스 91%로 가장 좋은 성능을 보여주었다. LR-O와 LR-SO가 안전 클래스 61%, 불안전 클래스 80%로 가장 좋은 성능을 보여주었다. RF 모델은 RF와 RF-O가 안전 클래스 85%, 불안전 클래스 94%의 가장 높은 성능을 보여주었다. SVM 모델은 SVM-S 모델만 예측을 진행하였으며, 안전 클래스 84%, 불안전 클래스 94%로 좋은 성능을 보여주었다. 다만, 예측 시간이

1.97초로 RF에 비하여 10배 정도가 필요하다. 따라서, RF 모델을 가장 좋은 모델로 평가하였다.

차원 축소 방법으로 PCA, SVD, ICA를 추가하여 모델을 평가한 결과 일부 모델에서 성능이 향상되었지만, 대부분 크게 성능이 낮아졌다. 차원 축소 시 주성분 4가지에서 누적 분산 비율 99%를 보여주었으며, 복원 오류 0.021로 데이터의 손실은 없는 것으로 판단된다. 따라서 모델의 성능이 낮아진 이유를 파악하기 위하여 비선형 상관관계를 분석하였다. 피어슨의 상관계수가 0.5 이하이며 대부분 0에 가까운 값이기 때문에 선형 상관관계가 약하다고 판단하였다. RF 모델의 예측 결과와 보 간격, 기동 간격 두 변수 사이의 관계를 서피스 플롯을 통해 특정 구간에서 급격히 상승하거나 하락하는 패턴을 확인하였다. 이를 통해, 데이터의 구조가 비선형임을 확인하였다. 이는 전체 모델 중 LR 모델이 가장 낮은 성능을 보여주는 이유가 선형 방정식을 토대로 예측을 하기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 구조 비전문가가 초기 설계 시 태양광 발전 구조물의 안전성을 판단하는 기준으로 RF 모델을 제안한다. 이를 통해 초기 설계안의 불안전성으로 인한 공사 비용의 증가와 구조 전문가가 반복적인 설계와 검토를 반복하는 문제의 대안이 될 것이다. 다만, 본 연구에서는 모듈 3V 형상에 한정되어 연구를 진행하였으며, 가새 및 접합부, 건축물의 안전성 등은 제외되었으며, 풍속의 경우 24~28m/s까지의 범위에서만 학습되었다. 추후, 풍속과 형상에 대한 추가적인 데이터 확보한다면, 더 넓은 범위의 태양광 발전 구조물의 안전성을 식별하는 모델이 될 것이다. 또한 가새 및 접합부, 건축물의 안전성에 대한 연구가 이루어진다면 비전문가뿐만 아니라, 전문가도 태양광 발전 구조물 안전성 판단의 대안이 될 것이다.

참 고 문 헌

강인성, 문진우, & 박진철. (2017). 최근 건축 분야의 인공지능 기계 학습 연구동향: 국내·외 연구논문을 중심으로. 대한건축학회 논문집-구조계, 33(4), 63-68.

국토교통부. (2019). 건축 구조 기준 설계하중 (KDS 41 10 15 : 2019). 서울 (대한민국): 국토교통부

국토교통부. (2019). 건축물 강구조 설계기준 (KDS 41 30 10 : 2019). 서울 (대한민국): 국토교통부

김봉익. (2012). 유전자 알고리즘을 사용한 강발전 구조물의 최적설계. *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 24(06), 701-710.

김시원, 박민재, & 이창환. (2024). 머신러닝 기반 지붕형 태양광 발전 구조물의 안전성 평가. 대한건축학회 학술 발표대회 논문집, 44(2), 727-728.

김시원, 한경민, 박민재, & 이창환. (2024). 기계학습 모델을 활용한 공장지붕형 태양광 구조물의 안전성 평가. *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 36(6), 443-450.

김지형, 장아름, 박민재, & 주영규. (2021). 열화상 이미지와 환경 변수를 이용한 콘크리트 균열 깊이 예측 머신 러닝 분석. 한국공간구조학회지, 21(2), 99-110.

- 이승혜, 이유진, 이기학, & 이재홍. (2022). 기계학습 기법을 사용한 콘크리트 충전 강관 기둥의 강도 예측. *Journal of Korean Society of Steel Construction*, 34(2), 101-110.
- Baduge, S. K., Thilakarathna, S. Perera, J. S., Arashpour, M., Sharafi, P., Teodosio, B., & Mendis, P. (2022). Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. *Automation in Construction*, 141, 104440.
- Gupta, A. K., Charkroborty, S., Ghosh, S. K., & Ganguly, S. (2023). A machine learning model for multi-class classification of quenched and partitioned steel microstructure type by the k-nearest neighbor algorithm. *Computational Materials Science*, 228, 112321.
- Hashemi, S. S., Sadeghi, K., Fazeli, A., & Zarei, M. (2019). Predicting the weight of the steel moment-resisting frame structures using artificial neural networks. *International Journal of Steel Structures*, 19, 168-180.
- Imam, M. H., Mohiuddin, M., Shuman, N. M., Oyshi, T. I., Debnath, B., & Liham, M. I. M. (2024, November). Prediction of seismic performance of steel frame structures: A machine learning approach. *In Structures* (Vol. 60, p. 107547). Elsevier.

- Jang, A., Kim, J., Park, M. J., Ju, Y. K., & Kim, S. J. (2022). Analysis of Machine Learning for Detect Concrete Crack Depths Using Infrared Thermography Technique. In IABSE Symposium Prague 2022: Challenges for Existing and Oncoming Structures (pp. 758-765). *International Association for Bridge and Structural Engineering* (IABSE).
- Kim, C. (2021). A review of the deployment programs, impact, and barriers of renewable energy policies in Korea. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 144, 110870.
- Nguyen, T. H., Phan, V. T., & Nguyen, D. D. (2023). Practical ANN Model for Estimating Buckling Load Capacity of Corroded Web-Tapered Steel I-Section Columns. *International Journal of Steel Structures*, 23(6), 1459-1475.
- Sun, H., Burton, H. V., & Huang, H. (2021). Machine learning applications for building structural design and performance assessment: State-of-the-art review. *Journal of Building Engineering*, 33, 101816.
- Thai, H. T. (2022, April). Machine learning for structural engineering: A-state-of-the-art review. *Structures* Vol. 38, 448-491.

부 록

부록 기계학습 모델 데이터 베이스

클래스	V_0	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
안전	24	5.0	0.5~1.0	10	12	10	3.0	3.0
			0.5~1.0				3.3	2.9
			0.5~1.0				3.7	2.8
			0.5~1.0				3.9	2.7
			0.5~1.0				3.9	2.6
			0.5~1.0				2.9	3.0
			0.5~1.0	3.2			2.9	
			0.5~0.6	3.6			2.8	
			0.5~1.0	3.5				
			0.5~0.9	3.9			2.7	
			0.5~1.0	3.8				
			0.5~0.9	3.8~3.9			2.6	
			0.5~1.0	3.7				
			0.5~0.9	2.8			3.0	
			0.5~1.0	2.7				
			0.5~0.9	3.0			2.9	
			0.5~1.0	2.9				
			0.5~0.8	3.1~3.3				2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	24	5.0	0.5~0.9	15	10	3.0	2.8
			0.5~1.0			2.9	
			0.5~0.6			3.5~3.7	2.7
			0.5~0.7			3.3~3.4	
			0.5~0.8			3.1~3.2	
			0.5~0.9			2.9~3.0	
			0.5~1.0			2.8	
			0.5			3.7~3.8	
			0.5~0.6			3.4~3.6	
			0.5~0.7			3.2~3.3	
			0.5~0.8	3.0~3.1			
			0.5~0.9	2.9			
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~1.0	3.0	3.0		
			0.5~1.0	3.3	2.9		
			0.5~0.8	3.7	2.8		
			0.5~1.0	3.6			
			0.5~1.0	3.9	2.7		
			0.5~1.0	3.9	2.6		
			0.5~1.0	20.9	3.0		
0.5~1.0	12	12	3.2	2.9			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	24	5.0	0.5~1.0	12		3.5	2.8
			0.5~0.9			3.7~3.9	2.7
			0.5~1.0			3.6	
			0.5~0.9			3.6~3.9	2.6
			0.5~1.0			3.5	2.6
			0.5~0.6			2.8	3.0
			0.5~1.0	2.7			
			0.5~0.9	3.0	2.9		
			0.5~1.0	2.9			
			0.5~0.7	3.3	2.8		
			0.5~0.8	3.0~3.2			
			0.5~0.9	2.9			
			0.5~1.0	2.8			
			0.5	3.7			
			0.5~0.6	3.4~3.6	2.7		
			0.5~0.7	3.1~3.3			
			0.5~0.8	3.0			
			0.5~0.9	2.8~2.9			
			0.5~1.0	2.7			
			0.5	3.6~3.8	2.6		
0.5~0.6	3.3~3.5						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
안전	24	5.0	0.5~0.7	15	12	3.1~3.2	2.6	
			0.5~0.8			2.9~3.0		
			0.5~0.9			2.8		
			0.5~1.0			2.7		
			0.5~1.0	10	15	0.5~1.0	3.0	3.0
			0.5~1.0			3.3	2.9	
			0.5			3.7	2.8	
			0.5~1.0			3.6		
			0.5~1.0			3.9	2.7	
			0.5~1.0			3.9	2.6	
			0.5~1.0			2.9	3.0	
			0.5~1.0			3.2	2.9	
			0.5~1.0			3.5	2.8	
			0.5~0.8			12	15	3.8~3.9
			0.5~0.9	3.6~3.7				
			0.5~1.0	3.5				
			0.5~0.8	3.6~3.8				
			0.5~0.9	15	15	3.5	2.6	
			0.5~1.0			3.4		
			0.5~1.0			2.7	3.0	
0.5~0.7	3.0	2.9						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x			
안전	24	5.0	0.5~0.9	15	15	2.9	2.9			
			0.5~1.0			2.8				
			0.5~0.7			3.1~3.3	2.8			
			0.5~0.8			2.9~3.0				
			0.5~0.9			2.8				
			0.5~1.0			2.7				
			0.5			3.6				
			0.5~0.6			3.3~3.5	2.7			
			0.5~0.7			3.0~3.2				
			0.5~0.8			2.9				
			0.5~0.9			2.7~2.8				
			0.5~1.0			2.6				
			0.5			3.4~3.6	2.6			
			0.5~0.6			3.1~3.3				
			0.5~0.7			2.9~3.0				
			0.5~0.8			2.8				
			0.5~0.9			2.7				
			0.5~1.0			2.6				
			0.5~1.0			3.0		3.0		
			14.0			10	10	0.5~1.0	3.3	2.9
								0.5~1.0	3.6	2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	24	14.0	0.5~1.0	10	10	3.8	2.7
			0.5~1.0			3.8	2.6
			0.5~1.0	12		2.9	3.0
			0.5~0.8			3.2	2.9
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~1.0			3.5	2.8
			0.5~0.9			3.7~3.8	2.7
			0.5~1.0			3.6	
			0.5~0.8	3.8		2.6	
			0.5~0.9	3.6~3.7			
			0.5~1.0	3.5			
			0.5~1.0	2.7			3.0
			0.5~0.9	2.9		2.9	
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~0.7	15		3.2	2.8
			0.5~0.8			3.0~3.1	
			0.5~0.9			2.9	
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.6			3.4~3.6	
			0.5~0.7	3.1~3.3			
0.5~0.8	3.0						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	24	14.0	0.5~0.9	15	10	2.8~2.9	2.7
			0.5~1.0			2.7	
			0.5			3.6~3.7	2.6
			0.5~0.6			3.3~3.5	
			0.5~0.7			3.0~3.2	
			0.5~0.8			2.9	
			0.5~0.9			2.8	
			0.5~1.0			2.7	
			0.5~1.0	3.0	3.0		
			0.5~0.7	3.3	2.9		
			0.5~1.0	3.2			
			0.5~1.0	3.6	2.8		
			0.5~1.0	3.8	2.7		
			0.5~1.0	3.8	2.6		
			0.5~1.0	12	12	2.9	3.0
			0.5			3.2	2.9
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~1.0			3.5	2.8
			0.5~0.8			3.8	2.7
			0.5~0.9			3.6~3.7	
0.5~1.0	3.5						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	24	14.0	0.5~0.8	12	12	3.7~3.8	2.6
			0.5~0.9			3.5~3.6	
			0.5~1.0			3.4	
			0.5~0.8			2.7	3.0
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.9			2.9	
			0.5~1.0	2.8		2.9	
			0.5~0.7			3.1~3.2	2.8
			0.5~0.8			2.9~3.0	
			0.5~0.9			2.8	
			0.5~1.0	2.7			
			0.5	15		3.6	2.7
			0.5~0.6			3.3~3.5	
			0.5~0.7			3.0~3.2	
			0.5~0.8			2.9	
			0.5~0.9			2.7~2.8	
			0.5~1.0			2.6	
			0.5			3.4~3.7	
			0.5~0.6			3.1~3.3	
			0.5~0.7	2.9~3.0		2.6	
0.5~0.8	2.8	2.6					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	24	14.0	0.5~0.9	15	12	2.7	2.6
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.7	10		3.0	3.0
			0.5~1.0			2.9	
			0.5~1.0			3.2	2.9
			0.5~1.0			3.6	2.8
			0.5~1.0			3.8	2.7
			0.5~1.0			3.8	2.6
			0.5~0.8			2.9	3.0
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~1.0	3.1	2.9		
			0.5~0.8	15		3.5	2.8
			0.5~1.0			3.4	
			0.5~0.8	12		3.7~3.8	2.7
			0.5~0.9			3.4~3.6	
			0.5~1.0			3.3	
			0.5~0.7			3.7~3.8	
			0.5~0.8			3.5~3.6	2.6
			0.5~0.9			3.3~3.4	
			0.5~1.0			3.2	
0.5	15	2.7	3.0				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	24	14.0	0.5~1.0	15	15	2.6	3.0
			0.5~0.8			2.9	2.9
			0.5~0.9			2.8	
			0.5~1.0			2.7	
			0.5~0.7			3.0~3.2	
			0.5~0.8			2.8~2.9	
			0.5~0.9			2.7	
			0.5~1.0			2.6	
			0.5			3.4~3.5	2.7
			0.5~0.6			3.1~3.3	
			0.5~0.7			2.9~3.0	
			0.5~0.8			2.8	
			0.5~0.9			2.6~2.7	
			0.5~1.0			2.5	
			0.5			3.3~3.5	2.6
			0.5~0.6			3.0~3.2	
			0.5~0.7			2.8~2.9	
			0.5~0.8			2.7	
			0.5~0.9			2.6	
			0.5~1.0			2.6	
	26	5.0	0.5~1.0	10	10	2.9	3.0

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	5.0	0.5~0.7	10	10	3.2	2.9
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~0.9			3.5	2.8
			0.5~1.0			3.4	
			0.5~1.0			3.7	2.7
			0.5~1.0			3.7	2.6
			0.5~1.0			2.7	3.0
			0.5~0.9			3.0	2.9
			0.5~1.0			2.9	
			0.5~0.9			3.3	2.8
			0.5~1.0	3.2			
			0.5~0.8	3.6~3.7		2.7	
			0.5~0.9	3.4~3.5			
			0.5~1.0	3.3			
			0.5~0.7	3.7		2.6	
			0.5~0.8	3.5~3.6			
			0.5~0.9	3.3~3.4			
			0.5~1.0	3.2			
			0.5~1.0	2.5		3.0	
			0.5~0.9	2.7		2.9	
0.5~1.0	2.6						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	5.0	0.5~0.7	15	10	2.9~3.0	2.8
			0.5~0.8			2.8	
			0.5~0.9			2.6~2.7	
			0.5~1.0			2.5	
			0.5	15		3.2~3.5	2.6
			0.5~0.6			3.0~3.1	
			0.5~0.7			2.8~2.9	
			0.5~0.8			2.6~2.7	
			0.5~0.9			2.5	
			0.5~1.0			2.4	
			0.5~0.6		2.9	3.0	
			0.5~1.0		2.8		
			0.5~1.0		3.1	2.9	
			0.5~0.6	10	3.5	2.8	
			0.5~1.0		3.4		
			0.5~1.0		3.7	2.7	
			0.5~1.0		3.7	2.6	
			0.5~1.0		2.7	3	
			0.5		3	2.9	
			0.5~1.0	12	2.9		
0.5		3.3					
					12	3.3	2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	0.5	0.5~1.0	12		3.2	2.8
			0.5~0.7			3.6	2.7
			0.5~0.8			3.4~3.5	
			0.5~0.9			3.2~3.3	
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~0.7			3.6	2.6
			0.5~0.8			3.4~3.5	
			0.5~0.9			3.2~3.3	
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~0.8			2.5	3.0
			0.5~1.0	2.4			
			0.5~0.9	2.6~2.7	2.9		
			0.5~1.0	2.5			
			0.5~0.6	3	2.8		
			0.5~0.7	2.9			
			0.5~0.8	2.7~2.8			
			0.5~0.9	2.5~2.6			
			0.5~1.0	2.4			
			0.5	3.2~3.3	2.7		
			0.5~0.6	3.0~3.1			
0.5~0.7	2.8~2.9						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	5	0.5~0.8	15	12	2.6~2.7	2.7
			0.5~0.9			2.5	
			0.5~1.0			2.4	
			0.5			3.1~3.3	2.6
			0.5~0.6			2.9~3.0	
			0.5~0.7			2.7~2.8	
			0.5~0.8			2.6	
			0.5~0.9			2.5	
			0.5~1.0			2.4	
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.9	3.1	2.9		
			0.5~1.0	3.0			
			0.5~1.0	10	3.4	2.8	
			0.5~1.0	3.7	2.7		
			0.5~1.0	15	3.7	2.6	
			0.5~0.8		2.7	3.0	
			0.5~1.0		2.6		
			0.5~1.0		2.9	2.9	
			0.5~0.9		3.2	2.8	
			0.5~1.0		3.1		
0.5~0.7	3.5~3.6	2.7					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	5	0.5~0.8	12	15	3.3~3.4	2.7
			0.5~0.9			3.1~3.2	
			0.5~1.0			3.0	
			0.5~0.6			3.6	2.6
			0.5~0.7			3.4~3.5	
			0.5~0.8			3.2~3.3	
			0.5~0.9			3.0~3.1	
			0.5~1.0			2.9	3.0
			0.5			2.5	
			0.5~1.0			2.4	
			0.5~0.7			2.7	2.9
			0.5~0.9			2.5~2.6	
			0.5~1.0	2.4			
			0.5~0.7	2.8~2.9	2.8		
			0.5~0.8	2.6~2.7			
			0.5~0.9	2.5			
			0.5~1.0	2.4			
			0.5	3.1~3.3	2.7		
			0.5~0.6	2.8~3.0			
			0.5~0.7	2.7			
0.5~0.8	2.5~2.6						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	5.0	0.5~0.9	15	15	2.4	2.7
			0.5~1.0			2.3	
			0.5			2.9~3.1	2.6
			0.5~0.6			2.7~2.8	
			0.5~0.7			2.6	
			0.5~0.8			2.5	
			0.5~0.9			2.4	
			0.5~1.0			2.3	
		0.5~1.0	2.8	3.0			
		0.5~0.7	3.1	2.9			
		0.5~1.0	3.0				
		14.0	0.5~0.9	10	3.4	2.8	
			0.5~1.0	3.3			
			0.5~1.0	3.7	2.7		
			0.5~1.0	10	3.7	2.6	
			0.5		2.7	3.0	
			0.5~1.0		2.6		
			0.5~0.9		2.9	2.9	
			0.5~1.0		2.8		
		0.5~0.9	3.2		2.8		
		0.5~1.0	3.1				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	14.0	0.5~0.7	12	10	3.6	2.7
			0.5~0.8			3.4~3.5	
			0.5~0.9			3.2~3.3	
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~0.7			3.6	2.6
			0.5~0.8			3.4~3.5	
			0.5~0.9			3.2~3.3	
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~1.0			2.4	3.0
			0.5~0.9			2.6	2.9
			0.5~1.0	2.5			
			0.5~0.7	2.8~2.9	2.8		
			0.5~0.8	2.7			
			0.5~0.9	2.5~2.6			
			0.5~1.0	2.4			
			0.5	3.2	2.7		
			0.5~0.6	2.9~3.1			
			0.5~0.7	2.7~2.8			
			0.5~0.8	2.6			
			0.5~0.9	2.5			
0.5~1.0	2.4						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
안전	26	14.0	0.5	15	10	3.1~3.3	2.6		
			0.5~0.6			2.9~3.0			
			0.5~0.7			2.7~2.8			
			0.5~0.8			2.5~2.6			
			0.5~0.9			2.4			
			0.5~1.0			2.3			
			0.5~0.8	10	12	2.8	3.0		
			0.5~1.0			2.7			
			0.5~1.0			3.0	2.9		
			0.5~0.6			3.4			
			0.5~1.0			3.3	2.8		
			0.5~1.0			3.7			
			0.5~1.0			3.7	2.6		
			0.5~1.0			12	2.6	3.0	
			0.5~0.7			12	12	2.9	2.9
			0.5~1.0					2.8	
			0.5~0.6	3.2	2.8				
			0.5~1.0	3.1					
			0.5~0.7	3.5	2.7				
			0.5~0.8	3.3~3.4					
			0.5~0.9	3.1~3.2					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	14.0	0.5~1.0	12	12	3.0	2.7
			0.5~0.7			3.4~3.6	2.6
			0.5~0.8			3.2~3.3	
			0.5~0.9			3.1	
			0.5~1.0			3.0	
			0.5~1.0	2.4		3.0	
			0.5~0.9	2.5~2.6		2.9	
			0.5~1.0	2.4			
			0.5~0.7	2.7~2.9		2.8	
			0.5~0.8	2.6			
			0.5~0.9	2.5			
			0.5~1.0	2.4			
			0.5	3.1~3.2			2.7
			0.5~0.6	2.9~3.0			
			0.5~0.7	2.7~2.8			
			0.5~0.8	2.5~2.6			
			0.5~0.9	2.4			
			0.5~1.0	2.3		2.6	
			0.5	3.0~3.2			
			0.5~0.6	2.8~2.9			
0.5~0.7	2.6~2.7						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x						
안전	26	14.0	0.5~0.8	15	12	2.5	2.6						
			0.5~0.9			2.4							
			0.5~1.0			2.3							
			0.5~1.0	10				2.7	3.0				
			0.5~1.0					3.0	2.9				
			0.5~1.0					3.3	2.8				
			0.5~0.9					3.7	2.7				
			0.5~1.0					3.6					
			0.5~0.9					3.7	2.6				
			0.5~1.0					3.6					
			0.5~1.0					2.6		3.0			
			0.5~1.0					15				2.8	2.9
			0.5~0.9									3.1	2.8
			0.5~1.0	3.0									
			0.5~0.7	12								3.4~3.5	2.7
			0.5~0.8									3.2~3.3	
			0.5~0.9					3.0~3.1					
			0.5~1.0					2.9					
			0.5~0.6					3.5~3.6	2.6				
			0.5~0.7					3.3~3.4					
			0.5~0.8					3.1~3.2					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	26	14.0	0.5~0.9	12	15	2.9~3.0	2.6
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.9			2.4	3.0
			0.5~1.0			2.3	
			0.5~0.8			2.6	2.9
			0.5~0.9			2.5	
			0.5~1.0			2.4	
			0.5~0.7			2.7~2.8	
			0.5~0.8			2.5~2.6	2.8
			0.5~0.9			2.4	
			0.5~1.0			2.3	
			0.5	15		3.0~3.2	2.7
			0.5~0.6			2.7~2.9	
			0.5~0.7			2.6	
			0.5~0.8			2.4~2.5	
			0.5~0.9			2.3	
			0.5~1.0			2.2	
			0.5			2.8~3.0	
			0.5~0.6			2.6~2.7	2.6
			0.5~0.7			2.5	
0.5~0.8		2.4					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
안전	26	14.0	0.5~0.9	15	15	2.3	2.6	
			0.5~1.0			2.2		
	28	5.0	10	0.5~1.0	10	10	2.6	3.0
				0.5~0.7			2.9	
				0.5~1.0			2.8	2.9
				0.5~0.7			3.2	
				0.5~1.0			3.1	2.8
				0.5~0.6			3.6	
				0.5~1.0			3.5	2.7
				0.5~1.0			3.6	
				0.5~0.8			2.5	3.0
				0.5~1.0			2.4	
				0.5~1.0			2.7	2.9
				0.5~0.8			3.0	
				0.5~1.0			2.9	2.8
				0.5~0.7			3.3	
				0.5~0.8			3.1~3.2	2.7
				0.5~0.9			3.0	
				0.5~1.0			2.9	2.6
				0.5~0.6			3.5	
				0.5~0.7			3.3~3.4	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	28	5.0	0.5~0.8	12	10	3.1~3.2	2.6
			0.5~0.9			2.9~3.0	
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.7			2.3	3.0
			0.5~1.0			2.2	
			0.5~0.6			2.5	
			0.5~0.9			2.4	2.9
			0.5~1.0			2.3	
			0.5~0.7			2.6~2.7	2.8
			0.5~0.8	2.5			
			0.5~0.9	2.3~2.4			
			0.5~1.0	2.2			
			0.5	2.8~3.0			
			0.5~0.6	2.6~2.7		2.7	
			0.5~0.7	2.5			
			0.5~0.8	2.4			
			0.5~0.9	2.3			
			0.5~1.0	2.2			
			0.5	2.8~3.0		2.6	
			0.5~0.6	2.6~2.7			
0.5~0.7	2.5						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
안전	28	5	0.5~0.8	15	10	2.3~2.4	2.6	
			0.5~0.9			2.2		
			0.5~1.0			2.1		
			0.5~1.0	10		0.5~1.0	2.6	3.0
			0.5~1.0			2.8	2.9	
			0.5~1.0			3.1	2.8	
			0.5~1.0			3.5	2.7	
			0.5~1.0			3.6	2.6	
			0.5			2.5	3.0	
			0.5~1.0			2.4		
			0.5~0.8	2.7	2.9			
			0.5~1.0	2.6				
			0.5~0.9	12		0.5~0.9	2.9	2.8
			0.5~1.0			2.8		
			0.5~0.7	12		0.5~0.7	3.2~3.3	2.7
			0.5~0.8			3.0~3.1		
			0.5~0.9			2.9		
			0.5~1.0			2.8		
			0.5~0.6			0.5~0.6	3.4~3.5	2.6
			0.5~0.7			3.1~3.3		
			0.5~0.8			3.0		

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	28	5.0	0.5~0.9	12	12	2.8~2.9	2.6
			0.5~1.0			2.7	
			0.5~1.0	15		2.2	3.0
			0.5~0.9			2.3~2.4	2.9
			0.5~1.0			2.2	
			0.5~0.6			2.7	2.8
			0.5~0.7			2.5~2.6	
			0.5~0.8			2.4	
			0.5~0.9			2.3	
			0.5~1.0			2.2	
			0.5			2.8~3.0	2.7
			0.5~0.6			2.6~2.7	
			0.5~0.7	2.4~2.5			
			0.5~0.8	2.3			
			0.5~0.9	2.2			
			0.5~1.0	2.1			
			0.5	2.7~2.9		2.6	
			0.5~0.6	2.5~2.6			
			0.5~0.7	2.4			
			0.5~0.8	2.3			
0.5~0.9	2.2						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
안전	28	5.0	0.5~1.0	15	12	2.1	2.6	
			0.5~0.6			2.6	3.0	
			0.5~1.0			2.5		
			0.5~1.0			2.8	2.9	
			0.5~0.9			3.1	2.8	
			0.5~1.0			3.0		
			0.5~0.7			10	3.5	2.7
			0.5~0.9			3.4		
			0.5~1.0			3.3		
			0.5~0.8			3.6		
			0.5~0.9			3.3~3.5	2.6	
			0.5~1.0			3.2		
			0.5~1.0					2.4
			0.5~1.0	2.6	2.9			
			0.5~0.9	2.8~2.9	2.8			
			0.5~1.0	12			2.7	2.8
			0.5				3.1~3.3	2.7
			0.5~0.8				2.9~3.0	
			0.5~0.9				2.8	
			0.5~1.0				2.7	
0.5	3.5	2.6						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	28	5.0	0.5	12	15	3.5	2.6
			0.5~0.6			3.2~3.4	
			0.5~0.7			3.0~3.1	
			0.5~0.8			2.8~2.9	
			0.5~0.9			2.7	
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~1.0			2.2	
			0.5~0.8	2.4		2.9	
			0.5~0.9	2.3			
			0.5~1.0	2.2			
			0.5~0.6	2.6		2.8	
			0.5~0.7	2.4~2.5			
			0.5~0.8	2.3			
			0.5~0.9	2.2			
			0.5~1.0	2.1			
			0.5	2.7~2.9		2.7	
			0.5~0.6	2.5~2.6			
			0.5~0.7	2.4			
			0.5~0.8	2.2~2.3			
			0.5~0.9	2.1			
			0.5~1.0	2.0			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
안전	28	5.0	0.5	15	15	2.6~2.7	2.6
			0.5~0.6			2.4~2.5	
			0.5~0.7			2.3	
			0.5~0.8			2.2	
			0.5~0.9			2.1	
			0.5~1.0			2.0	
불안전	26	5.0	0.5~1.0	10	10	3.0	3.0
			0.5~1.0			3.3	2.9
			0.5~1.0			3.7	2.8
			0.5~1.0			3.9	2.7
			0.5~1.0			3.9	2.6
			0.5~1.0			2.9	3.0
			0.5~1.0			3.2	2.9
			0.5~0.6	3.6		2.8	
			0.5~1.0	3.5			
			0.5~0.9	12		3.9	2.7
			0.5~1.0			3.8	
			0.5~0.9			3.8~3.9	2.6
			0.8~1.0	3.7			
			0.5~0.9	15		2.8	3.0
			0.5~1.0			2.7	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5.0	0.5~0.9	15	10	3.0	2.9
			0.5~1.0			2.9	
			0.5~0.8			3.1~3.3	2.8
			0.8~0.9			3.0	
			0.8~1.0			2.9	
			0.5~0.6			3.5~3.7	2.7
			0.5~0.7			3.4	
			0.7			3.3	
			0.7~0.8			3.1~3.2	
			0.8~0.9			2.9~3.0	
			0.8~1.0			2.8	
			0.5			3.7~3.8	2.6
			0.5~0.6			3.6	
			0.6			3.4~3.5	
			0.7			3.2~3.3	
			0.7~0.8	3.0~3.1			
			0.8~0.9	2.9	3.0		
			0.8~1.0	2.8			
			0.5~1.0	3.0			
			0.5~1.0	10	12	3.3	2.9
0.5~0.8			3.7	2.8			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5.0	0.5~1.0	10	12	3.6	2.8
			0.5~1.0			3.9	2.7
			0.5~1.0			3.9	2.6
			0.5~1.0	12		2.9	3.0
			0.5~1.0			3.2	2.9
			0.5~1.0			3.5	2.8
			0.5~0.9			3.7~3.9	2.7
			0.8~1.0			3.6	
			0.5~0.9			3.7~3.9	2.6
			0.8~0.9	3.6			
			0.9~1.0	3.5			
			0.5~0.6	15		2.8	3.0
			0.5~1.0			2.7	
			0.5~0.9			3.0	2.9
			0.5~1.0			2.9	
			0.5~0.7			3.3	2.8
			0.5~0.8			3.1~3.2	
			0.7~0.8			3.0	
			0.8~0.9			2.9	
			0.9~1.0			2.8	
			0.5			3.7	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5.0	0.5~0.6	15	12	3.4~3.6	2.7
			0.6~0.7			3.1~3.3	
			0.7~0.8			3.0	
			0.7~0.9			2.9	
			0.8~0.9			2.8	
			0.8~1.0			2.7	
			0.5			3.6~3.8	
			0.5~0.6	3.4~3.5			
			0.6	3.3			
			0.6~0.7	3.1~3.2			
			0.7~0.8	2.9~3.0			
			0.8~0.9	2.8			
			0.8~1.0	2.7			
			0.5~1.0	3.0	3.0		
			0.5~1.0	3.3	2.9		
			0.5	3.7	2.8		
			0.5~1.0	3.6			
			0.5~1.0	3.9			
			0.5~1.0	3.9			
			0.5~1.0	2.9		3.0	
0.5~1.0	3.2	2.9					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5.0	0.5~1.0	12	15	3.5	2.8
			0.5~0.8			3.8~3.9	2.7
			0.5~0.9			3.7	
			0.8~0.9			3.6	
			0.9~1.0			3.5	
			0.5~0.7			3.9	
			0.5~0.8			3.7~3.8	
			0.7~0.8			3.6	
			0.8~0.9			3.5	
			0.8~1.0			3.4	
			0.5~1.0			2.7	3.0
			0.5~0.7			3.0	2.9
			0.5~0.9	2.9			
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~0.7	3.1~3.3	2.8		
			0.5~0.8	3.0			
			0.8	2.9			
			0.8~0.9	2.8			
			0.9~1.0	2.7			
			0.5	3.6	2.7		
0.5~0.6	3.4~3.5						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	5.0	0.6	15	15	3.3	2.7	
			0.6~0.7			3.1~3.2		
			0.7			3.0		
			0.7~0.8			2.9		
			0.7~0.9			2.8		
			0.8~0.9			2.7		
			0.9~1.0			2.6		
			0.5			3.4~3.6		2.6
			0.5~0.6			3.2~3.3		
			0.6			3.1		
		0.6~0.7	2.9~3.0					
		0.6~0.8	2.8					
		0.6~0.9	2.7					
		0.8~1.0	2.6					
		14.0	0.5~1.0	10	10	3.0	3.0	
			0.5~1.0			3.3	2.9	
			0.5~1.0			3.6	2.8	
			0.5~1.0			3.8	2.7	
			0.5~1.0			3.8	2.6	
			0.5~1.0			2.9	3.0	
			0.5~0.8			12	3.2	2.9

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14.0	0.5~1.0	12	10	3.1	2.9
			0.5~1.0			3.5	2.8
			0.5~0.9			3.7~3.8	2.7
			0.8~1.0				
			0.5~0.8			3.8	2.6
			0.5~0.9			3.7	
			0.8~0.9			3.6	
			0.9~1.0			3.5	
			0.5~1.0			2.7	3.0
			0.5~0.9			2.9	2.9
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~0.7	3.2	2.8		
			0.5~0.8	3.0~3.1			
			0.8~0.9	2.9			
			0.8~1.0	2.5			
			0.5~0.6	3.4~3.6	2.7		
			0.5~0.7	3.3			
			0.6~0.7	3.2			
			0.7	3.1			
			0.7~0.8	3.0			
0.7~0.9	2.9						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14.0	0.8~0.9	15	10	2.8	2.7
			0.8~1.0			2.7	
			0.5			3.6~3.7	2.6
			0.5~0.6			3.4~3.5	
			0.6			3.3	
			0.6~0.7			3.1~3.2	
			0.7			3.0	
			0.7~0.8			2.9	
			0.8~0.9			2.8	
			0.8~1.0			2.7	
			0.5~1.0	3.0	3.0		
			0.5~0.7	3.3	2.9		
			0.5~1.0	3.2			
			0.5~1.0	3.6	2.8		
			0.5~1.0	2.9	3.0		
			0.5	3.2	2.9		
			0.5~1.0	3.1			
			0.5~1.0	3.5	2.8		
			0.5~0.8	3.8	2.7		
			0.5~0.9	3.6~3.7			
0.8~1.0	3.5						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~0.8	12	12	3.7~3.8	2.6
			0.8~0.9			3.5~3.6	
			0.8~1.0			3.4	
			0.5~0.8			2.7	3.0
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.9			2.9	
			0.5~1.0	2.8		2.9	
			0.5~0.7	3.1~3.2			
			0.5~0.8	3.0		2.8	
			0.8	2.9			
			0.8~0.9	2.8			
			0.8~1.0	2.7			
			0.5	3.6			
			0.5~0.6	3.3~3.5		2.7	
			0.6~0.7	3.1~3.2			
			0.7	3.0			
			0.7~0.8	2.9			
			0.8~0.9	2.7~2.8			
			0.9~1.0	2.6			
			0.5	3.4~3.7		2.6	
0.5~0.6	3.3						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.6	15	12	3.1~3.2	2.6
			0.6~0.7			3.0	
			0.7			2.9	
			0.7~0.8			2.8	
			0.8~0.9			2.7	
			0.8~1.0			2.6	
			0.5~0.7	3.0	3.0		
			0.5~1.0	2.9			
			0.5~1.0	3.2	2.9		
			0.5~1.0	3.6	2.8		
			0.5~1.0	3.8	2.7		
			0.5~1.0	3.8	2.6		
			0.5~0.8	2.9	3.0		
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~1.0	3.1	2.9		
			0.5~0.8	3.5	2.8		
			0.5~1.0	3.4			
			0.5~0.8	3.7~3.8	2.7		
			0.5~0.9	3.6			
			0.8~0.9	3.4~3.5			
			0.9~1.0	3.3			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~0.7	12	15	3.7~3.8	2.6
			0.7~0.8			3.5~3.6	
			0.8~0.9			3.3~3.4	
			0.9~1.0			3.2	
			0.5			2.7	3.0
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.8			2.9	
			0.5~0.9			2.8	2.9
			0.5~1.0			2.7	
			0.5~0.7			3.0~3.2	
			0.5~0.8	15		2.9	2.8
			0.8			2.8	
			0.8~0.9			2.7	
			0.9~1.0			2.6	
			0.5			3.4~3.5	2.7
			0.5~0.6			3.3	
			0.6			3.1~3.2	
			0.6~0.7			3.0	
			0.7			2.9	
			0.7~0.8			2.8	
0.7~0.9	2.7						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	14	0.8~0.9	15	15	2.6	2.7	
			0.9~1.0			2.5		
			0.5			3.3~3.5	2.6	
			0.5~0.6			3.1~3.2		
			0.6			3.0		
			0.6~0.7			2.8~2.9		
			0.7~0.8			2.7		
			0.7~0.9			2.6		
			0.8~1.0			2.5		
			0.5~1.0			2.9		3.0
			0.5~0.7			3.2	2.9	
			0.5~1.0			3.1		
			0.5~0.9			10	3.5	2.8
			0.5~1.0			3.4		
	28	5	0.5~1.0	10	10	3.7	2.7	
			0.5~1.0			3.7	2.6	
			0.5~1.0			2.7	3.0	
			0.5~0.9			3.0	2.9	
			0.5~1.0			2.9		
			0.5~0.9			3.3	2.8	
0.5~1.0	3.2							

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~0.8	12		3.6~3.7	2.7
			0.5~0.9			3.4~3.5	
			0.8~1.0			3.3	
			0.5~0.7			3.7	2.6
			0.5~0.8			3.6	
			0.7~0.8			3.5	
			0.8~0.9			3.3~3.4	
			0.9~1.0			3.2	
			0.5~1.0			2.5	3.0
			0.5~0.9			2.7	2.9
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.7			2.9~3.0	2.8
			0.5~0.8	2.8			
			0.8~0.9	2.6~2.7			
			0.9~1.0	2.5			
			0.5~0.6	3.1~3.3	2.7		
			0.6~0.7	2.8~3.0			
			0.7~0.8	2.7			
			0.7~0.9	2.6			
			0.8~1.0	2.5			
0.5	3.2~3.5	2.6					
			15				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	28	5	0.5~0.6	15	10	3.1	2.6		
			0.6			3.0			
			0.6~0.7			2.8~2.9			
			0.7~0.8			2.6~2.7			
			0.8~0.9			2.5			
			0.9~1.0			2.4			
			0.5~0.6	10	12	2.9	3.0		
			0.5~1.0			2.8			
			0.5~1.0			3.1	2.9		
			0.5~0.6			3.5	2.8		
			0.5~1.0			3.4			
			0.5~1.0			3.7	2.7		
			0.5~1.0			3.7	2.6		
			0.5~1.0			2.7	3.0		
			0.5			12	12	3.0	2.9
			0.5~1.0					2.9	
			0.5					3.3	2.8
			0.5~1.0					3.2	
			0.5~0.7	3.6	2.7				
			0.5~0.8	3.4~3.5					
			0.8~0.9	3.2~3.3					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.9~1.0	12	12	3.1	2.7
			0.5~0.7			3.6	2.6
			0.7~0.8			3.4~3.5	
			0.8~0.9			3.2~3.3	
			0.8~1.0			3.1	
			0.5~1.0	2.8	3.0		
			0.5~0.9	3.1	2.9		
			0.5~1.0	3.0			
			0.5~1.0	3.4	2.8		
			0.5~1.0	3.7	2.7		
			0.5~1.0	3.7	2.6		
			0.5~0.8	2.7	3.0		
			0.5~1.0	2.6			
			0.5~1.0	2.9	2.9		
			0.5~0.9	3.2	2.8		
			0.5~1.0	3.1			
			0.5~0.7	3.5~3.6	2.7		
			0.5~0.8	3.4			
			0.6~0.8	3.3			
			0.6~0.9	3.1~3.2			
			0.9~1.0	3.0			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~0.6	12	15	3.6	2.6
			0.6~0.7			3.5	
			0.7			3.4	
			0.7~0.8			3.2~3.3	
			0.8~0.9			3.0~3.1	
			0.9~1.0			2.9	
			0.5	2.5		3.0	
			0.5~1.0	2.4			
			0.5~0.7	2.7		2.9	
			0.5~0.9	2.5~2.6			
			0.9~1.0	2.4			
			0.5~0.7	2.8~2.9		2.8	
			0.5~0.8	2.7			
			0.7~0.8	2.6			
			0.8~0.9	2.5			
			0.8~1.0	2.4			
			0.5	3.1~3.3			2.7
			0.5~0.6	3.0			
			0.6	2.8~2.9			
			0.6~0.7	2.7			
			0.7~0.8	2.5~2.6			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	28	5	0.8~0.9	15	15	2.4	2.7		
			0.9~1.0			2.3			
			0.5			2.9~3.1	2.6		
			0.5~0.6			2.8			
			0.6			2.7			
			0.6~0.7			2.6			
			0.7~0.8			2.5			
			0.7~0.9			2.4			
			0.8~1.0			2.3			
			0.5~1.0			3.7		2.8	
			0.5~1.0			10		3.9	2.7
			0.5~1.0			3.9		2.6	
			0.9~1.0			3.2	2.9		
			0.5~0.6			3.6	2.8		
	0.5~0.9	14	10	3.9	2.7				
	1.0	12	3.8						
	0.5~0.9	3.9	2.6						
	0.9	3.8							
	1.0	3.7							
	0.5~0.9	15	2.8	3.0					
	0.5~0.9	3.0	2.9						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	24	14	1.0	15	10	2.9	2.9		
			0.5~0.8			3.3	2.8		
			0.8			3.2			
			0.9			3.0			
			1.0			2.9			
			0.5~0.6			3.7			
			0.7			3.4	2.7		
			0.8			3.1~3.2			
			0.9			3.0			
			1.0			2.8			
			0.5			3.8			
			0.6			3.6	2.6		
			0.7			3.3			
			0.8			3.0~3.1			
			0.9			2.9			
			1.0			2.8			
			0.8~1.0			10	12	3.3	2.9
			0.5~0.8					3.7	2.8
			0.5~1.0					3.9	2.7
			0.5~1.0					3.9	2.6
			0.6~1.0					12	3.2

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.5~0.9	12		3.9	2.7
			0.9			3.8	
			1.0			3.6	
			0.5~0.9			3.9	2.6
			0.9			3.7~3.8	
			1.0			3.5	
			0.5~0.6			2.8	3.0
			0.9~1.0			2.7	
			0.5~0.9			3.0	2.9
			1.0			2.9	
			0.5~0.7			3.3	2.8
			0.8			3.1~3.2	
			0.9	2.9			
			1.0	2.8			
			0.5	3.7	2.7		
			0.6	3.6			
			0.7	3.3			
			0.8	3.0			
			0.9	2.9			
			1.0	2.7			
0.5	3.8	2.6					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.6	15	12	3.4~3.5	2.6
			0.7			3.1~3.2	
			0.8			2.9~3.0	
			0.9			2.8	
			1.0			2.7	
			0.9~1.0	2.9	3.0		
			0.5~1.0	3.2	2.9		
			0.9~1.0	3.5	2.8		
			0.5~0.8	3.9	2.7		
			0.9	3.7			
			1.0	3.5			
			0.5~0.7	3.9	2.6		
			0.8	3.7~3.8			
			0.9	3.5			
			1.0	3.4			
			0.6~1.0	2.7	3.0		
			0.5~0.7	3.0	2.9		
			0.9	2.9			
			1.0	2.8			
			0.5~0.7	3.3	2.8		
			0.8	3.0			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24		0.9	15	15	2.8	2.8	
			1.0			2.7		
			0.5			3.6	2.7	
			0.6			3.4~3.5		
			0.7			3.1~3.2		
			0.8			2.9		
			0.9			2.8		
			1.0			2.6		
			0.5			3.6	2.6	
			0.6			3.3		
			0.7			3.0		
			0.8			2.8		
			0.9			2.7		
			1.0			2.6		
	26			0.5~1.0	10	10	2.9	3.0
				0.5~0.7			3.2	2.9
				0.8~1.0			3.1	
				0.5~0.9			3.5	2.8
				1.0			3.4	
				0.6~1.0			2.7	3.0
				0.5~0.9			12	3.0

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x				
불안전	26	14	1.0	12	10	2.9	2.9				
			0.5~0.9			3.3	2.8				
			1.0			3.2					
			0.5~0.8			3.7		2.7			
			0.8			3.6					
			0.9			3.4~3.5					
			1.0			3.3					
			0.5~0.7			3.7	2.6				
			0.8			3.6					
			0.9			3.4					
			1.0			3.2					
			0.5~1.0			2.5		3.0			
			0.5~0.9	2.7		2.9					
			1.0	2.6							
			0.5~0.7	3.0			2.8				
			0.8	2.8							
			0.9	2.7							
			1.0	2.5							
			0.5~0.6	3.3		2.7					
			0.6	3.2							
			0.7	2.9~3.0							
								15			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.8	15	10	2.7	2.7
			0.9			2.6	
			1.0			2.5	
			0.5			3.4~3.5	2.6
			0.6			3.1	
			0.7			2.9	
			0.8			2.7	
			0.9			2.5	
			1.0			2.4	
			0.5~0.6			2.9	
			0.9~1.0	2.8			
			0.5~1.0	10	3.1	2.9	
			0.5~0.6	3.5	2.8		
			0.7~1.0	3.4			
			0.5~1.0	12	12	2.7	3.0
			0.5			3.0	2.9
			0.8~1.0			2.9	
			0.5			3.3	2.8
			0.7~1.0			3.2	
			0.5~0.7			3.6	
0.8	3.5	2.7					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.9	12	12	3.3	2.7
			1.0			3.1	
			0.8			3.4~3.5	2.6
			0.9			3.2~3.3	
			1.0			3.1	
			0.5~0.8			2.5	
			0.5~0.9	2.7		2.9	
			1.0	2.5			
			0.5~0.6	3.0		2.8	
			0.8	2.7~2.8			
			0.9	2.6			
			0.5	3.3			2.7
			0.6	3.1			
			0.7	2.9			
			0.8	2.7			
			0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.5	3.3		2.6	
			0.6	3.0			
			0.7	2.8			
0.8	2.6						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.9	15	12	2.5	2.6
			1.0			2.4	
			0.5~1.0	10		2.8	3.0
			0.5~0.9			3.1	2.9
			0.5~1.0			3.4	2.8
			1.0			3.7	2.7
			1.0			3.7	2.6
			0.5~0.8			2.7	3.0
			0.5~1.0			2.9	2.9
			0.5~0.9	3.2	2.8		
			1.0	3.1			
			0.5~0.7	12		3.6	2.7
			0.8			3.4	
			0.9			3.2	
			1.0			3.0	
			0.7			3.5	
			0.8			3.3	
			0.9			3.1	
			1.0	2.9	2.6		
			0.5	15			2.5
1.0	2.4	3.0					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x				
불안전	26	14	0.5~0.7	15	15	2.7	2.9				
			0.9			2.6					
			0.5~0.7			2.9	2.8				
			0.8			2.7					
			0.9			2.5					
			1.0			2.4					
			0.5			3.3	2.7				
			0.6			3.0					
			0.7			2.7					
			0.8			2.6					
			0.9			2.4					
			1.0			2.3					
			0.5			3.1	2.6				
			0.6			2.8					
			0.7			2.6					
			0.8			2.5					
			0.9			2.4					
			1.0			2.3					
			24			5	0.7~1.0	12	10	3.6	2.8
							1.0			3.9	2.7
1.0	3.8~3.9	2.6									

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	1.0	15	10	2.8	3.0
			1.0			3.0	2.9
			0.9~1.0			3.1~3.3	2.8
			1.0				
			0.7~1.0			3.5~3.7	2.7
			0.8~1.0			3.3~3.4	
			0.9~1.0			3.1~3.2	
			1.0			2.9~3.0	
			0.6~1.0			3.7~3.8	2.6
			0.7~1.0			3.4~3.6	
			0.8~1.0	3.2~3.3			
			0.9~1.0	3.0~3.1			
			1.0	2.9			
			0.9~1.0	10	3.7	2.8	
			0.7~1.0	15	12	2.8	3.0
			1.0			3.0	2.9
			0.8~1.0			3.3	2.8
			0.9~1.0			3.0~3.2	
			1.0			2.9	
			0.6~1.0			3.7	2.7
0.7~1.0	3.4~3.6						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24	5	0.8~1.0	15	12	3.1~3.3	2.7	
			0.9~1.0			3.0		
			1.0			2.8~2.9		
			0.6~1.0			3.6~3.8	2.6	
			0.7~1.0			3.3~3.5		
			0.8~1.0			3.1~3.2		
			0.9~1.0			2.9~3.0		
			1.0			2.8		
			0.7~1.0			10		3.7
			0.9~1.0			12	3.8~3.9	2.7
			1.0			3.6~3.7		
			0.8~1.0			3	2.9	
			1.0	2.9				
			0.8~1.0	15	15	3.1~3.3	2.8	
			0.9~1.0			2.9~3.0		
			1.0			2.8		
			0.6~1.0			3.6	2.7	
			0.7~1.0			3.3~3.5		
			0.8~1.0			3.0~3.2		
			0.9~1.0			2.9		
			1.0			2.7~2.8		

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24	5	0.6~1.0	15	15	3.4~3.6	2.6	
			0.7~1.0			3.1~3.3		
			0.8~1.0			2.9~3.0		
			0.9~1.0			2.8		
			1.0			2.7		
		14	0.8~0.9	12	3.2	2.9		
			1.0		3.7~3.8	2.7		
			0.9~1.0		3.8	2.6		
			1.0		3.6~3.7			
			1.0		2.9	2.9		
			0.8~1.0		3.2	2.8		
			0.9~1.0		3.0~3.1			
			1.0		2.9			
			10		0.7~1.0	15	3.4~3.6	2.7
					0.8~1.0		3.1~3.3	
		0.9~1.0		3.0				
		1.0		2.8~2.9	2.6			
		0.6~1.0		3.6~3.7				
		0.7~1.0		3.3~3.5				
		0.8~1.0		3.0~3.2				
		0.9~1.0		2.9				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	1.0	15	10	2.8	2.6
			0.8~1.0	10	12	3.3	2.9
			0.6~1.0	12	3.2	2.9	
				0.9~1.0	3.8	2.7	
				1.0	3.6~3.7		
				0.9~1.0	3.7~3.8	2.6	
				1.0	3.5~3.6		
				15	2.7	3.0	
			1.0	2.9	2.9		
			0.8~1.0	3.1~3.2	2.8		
			0.9~1.0	2.9~3.0			
			1.0	2.8			
			0.6~1.0	3.6	2.7		
			0.7~1.0	3.3~3.5			
			0.8~1.0	3.0~3.2			
			0.9~1.0	2.9			
			1.0	2.7~2.8			
			0.6~1.0	3.4~3.7		2.6	
			0.7~1.0	3.1~3.3			
			0.8~1.0	2.9~3.0			
0.9~1.0	2.8						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	1.0	15	12	2.7	2.6
			0.9~1.0	12		2.9	3.0
			0.9~1.0			3.5	2.8
			0.9~1.0			3.7~3.8	2.7
			1.0			3.4~3.6	
			0.8~1.0			3.7~3.8	2.6
			0.9~1.0			3.5~3.6	
			1.0			3.3~3.4	
			0.6~1.0			2.7	
			0.9~1.0			2.9	2.9
			1.0			2.8	
			0.8~1.0			3.0~3.2	2.8
			0.9~1.0			2.8~2.9	
			1.0	2.7			
			0.6~1.0	3.4~3.5	2.7		
			0.7~1.0	3.1~3.3			
			0.8~1.0	2.9~3.0			
			0.9~1.0	2.8			
			1.0	2.6~2.7			
			0.6~1.0	3.3~3.5	2.6		
			0.7~1.0	3.0~3.2			

클래스	V_O	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24	14	0.8~1.0	15	15	2.8~2.9	2.6	
			0.9~1.0			2.7		
			1.0			2.6		
	26	5	10	0.8~1.0	10	10	3.2	2.9
				1.0			3.5	2.8
				1.0	3.0		2.9	
				1.0	3.3		2.8	
				0.9~1.0	12		3.6~3.7	2.7
				1.0			3.4~3.5	
				0.8~1.0	10		3.7	2.6
				0.9~1.0			3.5~3.6	
				1.0			3.3~3.4	
				1.0	2.7		2.9	
				0.8~1.0	15		2.9~3.0	2.8
				0.9~1.0			2.8	
				1.0			2.6~2.7	
				0.7~1.0			3.1~3.3	
				0.8~1.0			2.8~3.0	
				0.9~1.0	2.7		2.7	
				1.0	2.6			
				0.6~1.0	3.2~3.5			2.6

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x			
불안전	26	5	0.7~1.0	15	10	3.0~3.1	2.6			
			0.8~1.0			2.8~2.9				
			0.9~1.0			2.6~2.7				
			1.0			2.5				
			0.7~1.0	12	10	0.7~1.0	2.9	3		
			0.7~1.0			3.5	2.8			
			0.6~1.0			3.0	2.9			
			0.6~1.0			3.3	2.8			
			0.8~1.0			3.6	2.7			
			0.9~1.0			3.4~3.5				
			1.0			3.2~3.3				
			0.8~1.0			3.6	2.6			
			0.9~1.0			3.4~3.5				
			1.0			3.2~3.3				
			0.9~1.0	15	12	0.9~1.0	2.5	3		
			1.0			2.6~2.7	2.9			
			0.7~1.0			3.0	2.8			
			0.8~1.0			2.9				
			0.9~1.0			2.7~2.8				
			1.0			2.5~2.6				
			0.6~1.0					0.6~1.0	3.2~3.3	2.7

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5	0.7~1.0	15	12	3.0~3.1	2.7
			0.8~1.0			2.8~2.9	
			0.9~1.0			2.6~2.7	
			1.0			2.5	
			0.6~1.0	10	15	3.1~3.3	2.6
			0.7~1.0			2.9~3.0	
			0.8~1.0			2.7~2.8	
			0.9~1.0			2.6	
			1.0	12	15	2.5	2.9
			1.0			3.1	
			0.9~1.0			2.7	
			1.0			3.0	
			1.0	15	15	3.2	2.8
			0.8~1.0			3.5~3.6	
			0.9~1.0			3.3~3.4	
			1.0			3.1~3.2	
			0.7~1.0	15	15	3.6	2.7
			0.8~1.0			3.4~3.5	
			0.9~1.0			3.2~3.3	
			1.0			3.0~3.1	
			0.6~1.0	15	15	2.5	3.0
			0.8~1.0			2.7	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	26	5	1.0	15	15	2.5~2.6	2.9		
			0.8~1.0			2.8~2.9	2.8		
			0.9~1.0			2.6~2.7			
			1.0			2.5			
			0.6~1.0			3.1~3.3	2.7		
			0.7~1.0			2.8~3.0			
			0.8~1.0			2.7			
			0.9~1.0			2.5~2.6			
			1.0			2.4			
			0.6~1.0			2.9~3.1	2.6		
			0.7~1.0			2.7~2.8			
			0.8~1.0			2.6			
			0.9~1.0			2.5			
		1.0	2.4						
		14		10	0.8~1.0	10	10	3.1	2.9
					1.0			3.4	2.8
				12	0.6~1.0	12		2.7	3
					1.0			2.9	2.9
					1.0			3.2	2.8
					0.8~1.0			3.6	2.7
					0.9~1.0			3.4~3.5	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	14	1.0	12		3.2~3.3	2.7	
			0.8~1.0			3.6	2.6	
			0.9~1.0			3.4~3.5		
			1.0			3.2~3.3		
			1.0	2.6		2.9		
			0.8~1.0	2.8~2.9		2.8		
			0.9~1.0	2.7				
			1.0	2.5~2.6				
			0.6~1.0	3.2		2.7		
			0.7~1.0	2.9~3.1				
			0.8~1.0	2.7~2.8				
			0.9~1.0	2.6				
			1.0	2.5				
			0.6~1.0	3.1~3.3		2.6		
			0.7~1.0	2.9~3.0				
			0.8~1.0	2.7~2.8				
			0.9~1.0	2.5~2.6				
			1.0	2.4				
			0.9~1.0	2.8		3		
			0.7~1.0	10		12	3.4	2.8
			0.8~1.0	12			2.9	2.9

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.7~1.0	12		3.2	2.8
			0.8~1.0			3.5	2.7
			0.9~1.0			3.3~3.4	
			1.0			3.1~3.2	
			0.8~1.0			3.4~3.6	2.6
			0.9~1.0			3.2~3.3	
			1.0			3.1	
			1.0			2.5~2.6	2.9
			0.8~1.0			2.7~2.9	2.8
			0.9~1.0			2.6	
			1.0			2.5	
			0.6~1.0			3.1~3.2	2.7
		0.7~1.0	2.9~3.0				
		0.8~1.0	2.7~2.8				
		0.9~1.0	2.5~2.6				
		1.0	2.4				
		0.6~1.0	3.0~3.2	2.6			
		0.7~1.0	2.8~2.9				
		0.8~1.0	2.6~2.7				
		0.9~1.0	2.5				
		1.0	2.4				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	14	1.0	10	15	3.7	2.7	
			1.0			3.7	2.6	
			1.0	12		3.1	2.8	
			0.8~1.0			3.4~3.5	2.7	
			0.9~1.0			3.2~3.3		
			1.0			3.0~3.1		
			0.7~1.0			3.5~3.6		
			0.8~1.0			3.3~3.4	2.6	
			0.9~1.0			3.1~3.2		
			1.0			2.9~3.0		
			1.0			2.4		3.0
			0.9~1.0			2.6	2.9	
			1.0			2.5		
			0.8~1.0			2.7~2.8		
			0.9~1.0	2.5~2.6		2.8		
			1.0	2.4				
			0.6~1.0	3.0~3.2		2.7		
			0.7~1.0	2.7~2.9				
			0.8~1.0	2.6				
			0.9~1.0	2.4~2.5				
			1.0	2.3				
			1.0	15			2.7~2.8	15
			0.9~1.0			2.5~2.6	2.8	
			1.0			2.4	2.7	
			0.6~1.0			3.0~3.2	2.7	
			0.7~1.0			2.7~2.9	2.6	
0.8~1.0	2.6	2.4						
0.9~1.0	2.4~2.5	2.3						
1.0	2.3	2.3						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	14	0.6~1.0	15	15	2.8~3.0	2.6	
			0.7~1.0			2.6~2.7		
			0.8~1.0			2.5		
			0.9~1.0			2.4		
			1.0			2.6		
	28	5	0.8~1.0	10	12	10	2.9	2.9
			0.8~1.0				3.2	2.8
			0.7~1.0				3.6	2.7
			0.9~1.0	2.5			3	
			0.9~1.0	3.0			2.8	
			0.8~1.0	3.3			2.7	
			0.9~1.0	3.1~3.2				
			1.0	3.0				
			0.7~1.0	3.5			2.6	
			0.8~1.0	3.3~3.4				
			0.9~1.0	3.1~3.2				
			1.0	2.9~3.0				
			0.8~1.0	15			2.6	3
			0.7~1.0				2.5	2.9
			1.0				2.4	
			0.8~1.0				2.6~2.7	2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.9~1.0	15	10	2.5	2.8
			1.0			2.3~2.4	
			0.6~1.0			2.8~3.0	2.7
			0.7~1.0			2.6~2.7	
			0.8~1.0			2.5	
			0.9~1.0			2.4	
			1.0			2.3	
			0.6~1.0			2.8~3.0	
			0.7~1.0			2.6~2.7	
			0.8~1.0			2.5	
			0.9~1.0			2.3~2.4	
			1.0			2.2	
			0.6~1.0			2.5	3
			0.9~1.0			2.7	2.9
			1.0			2.9	2.8
			0.8~1.0			3.2~3.3	2.7
			0.9~1.0			3.0~3.1	
			1.0			2.9	
			0.7~1.0			3.4~3.5	2.6
			0.8~1.0			3.1~3.3	
0.9~1.0	3.0						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	28	5	1.0	12	12	2.8~2.9	2.6	
			1.0			2.3~2.4	2.9	
			0.7~1.0			2.7	2.8	
			0.8~1.0			2.5~2.6		
			0.9~1.0			2.4		
			1.0			2.3		
			0.6~1.0			2.8~3.0		
			0.7~1.0	15		2.6~2.7	2.7	
			0.8~1.0			2.4~2.5		
			0.9~1.0			2.3		
			1.0			2.2		
			0.6~1.0			2.7~2.9		
			0.7~1.0			2.5~2.6	2.6	
			0.8~1.0			2.4		
			0.9~1.0			2.3		
			1.0			2.2		
			0.7~1.0	10		2.6		3
			1.0			3.1	2.8	
			0.8~1.0			15	3.5	2.7
			1.0				3.4	
			0.9~1.0				3.6	2.6

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	1.0	10	15	3.3~3.5	2.6
			1.0	12		2.8~2.9	2.8
			0.6~1.0			3.1~3.3	2.7
			0.9~1.0			2.9~3.0	
			1.0			2.8	
			0.6~1.0			3.5	2.6
			0.7~1.0	3.2~3.4			
			0.8~1.0	3.0~3.1			
			0.9~1.0	2.8~2.9			
			1.0	2.7			
			0.9~1.0	2.4		2.9	
			1.0	2.3			
			0.7~1.0	2.6		2.8	
			0.8~1.0	2.4~2.5			
			0.9~1.0	2.3			
			1.0	2.2			
			0.6~1.0	2.7~2.9			2.7
			0.7~1.0	2.5~2.6			
			0.8~1.0	2.4			
			0.9~1.0	2.2~2.3			
			1.0	2.1			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.6~1.0	15	15	2.6~2.7	2.6
			0.7~1.0			2.4~2.5	
			0.8~1.0			2.3	
			0.9~1.0			2.2	
			1.0			2.1	
	24	5	0.5~1.0	12	10	3	3
			0.5~1.0			3.3	2.9
			0.5~1.0			3.7	2.8
			1.0			3.9	2.7
			1.0			3.9	2.6
			0.5~1.0			2.9	3
			0.5~1.0			3.2	2.9
			0.5~0.6			3.6	2.8
			0.5~1.0			3.5	
			0.5~0.9	15	10	3.9	2.7
			0.5~1.0			3.8	
			0.5~0.9			3.9	2.6
			0.6~0.9			3.8	
			0.6~1.0			3.7	
			0.5~1.0			12	12
			0.5~1.0	3.3	2.9		

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24	5	0.5~0.8	12		3.7	2.8	
			0.5~1.0			3.6		
			0.5~1.0			2.9	3	
			0.5~1.0			3.2	2.9	
			0.5~1.0			3.5	2.8	
			0.5~0.9			12	3.8~3.9	2.7
			0.6~0.9				3.7	
			0.7~1.0	15		3.6		
			0.5~0.9			3.9		
			0.6~0.9			3.6~3.8	2.6	
			0.7~1.0			3.5		
			0.5~1.0			3	3	
			0.5~1.0			3.3	2.9	
			0.5	12		3.7	2.8	
			0.9~1.0			3.6		
			0.9			15	3.9	2.7
			0.8~1.0				3.9	2.6
			0.5~1.0			15	2.9	3
			0.5~1.0	3.2			2.9	
			0.5~1.0	3.5			2.8	
0.5~0.8	3.9	2.7						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24	5	0.5~0.8	15	15	3.8	2.7	
			0.5~0.9			3.7		
			0.6~0.9			3.6		
			0.7~1.0			3.5		
			0.5~0.7			3.9	2.6	
			0.5~0.8			3.7~3.8		
			0.6~0.8			3.6		
			0.6~0.9			3.5		
		0.6~1.0	3.4	12	3	3		
		0.5~1.0	3.3		2.9			
		0.5~1.0	3.6		2.8			
		1.0	3.8		2.7			
		0.9~1.0	3.8		2.6			
		14	0.5~1.0		15	10	2.9	3
			0.5~0.8				3.2	2.9
			0.5~1.0				3.1	
			0.5~1.0	3.5			2.8	
			0.5~0.9	3.7~3.8			2.7	
			0.7~1.0	3.6				
			0.5~0.8	3.8				2.6

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	24	14	0.6~0.9	15	10	3.6~3.7	2.6		
			0.7~1.0			3.5			
			0.5~1.0	12	12	3.0	3.0		
			0.5~0.7			3.3			
			0.6~1.0			3.2	2.9		
			0.5~1.0			3.6			
			0.9~1.0			3.8	2.7		
			0.9~1.0			3.8	2.6		
			0.5~1.0			2.9	3.0		
			0.5			3.2			
			0.5~1.0	12	12	3.1	2.9		
			0.5~1.0			3.5			
			0.5~0.8			3.8	2.8		
			0.5~0.9			3.7			
			0.6~0.9			15	15	3.6	2.7
			0.7~1.0					3.5	
			0.5~0.8			12	12	3.8	2.6
			0.6~0.8					3.7	
			0.6~0.9	3.5~3.6					
			0.6~1.0	3.4					
0.5~0.7	12	15	3.0	3.0					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x			
불안전	24	14	0.9~1.0	12	15	2.9	3.0			
			0.5~1.0			3.2	2.9			
			0.5~1.0			3.6	2.8			
			0.9~1.0			3.8	2.7			
			0.8~1.0			3.8	2.6			
			0.5~0.8			2.9	3.0			
			0.5~1.0	2.8						
			0.5~1.0	3.1		2.9				
			0.5~0.8	3.5		2.8				
			0.5~1.0	3.4						
			0.5~0.8	3.7~3.8		2.7				
			0.5~0.9	3.6						
			0.6~0.9	3.4~3.5						
			0.7~1.0	3.3						
			0.5~0.7	3.7~3.8						
			0.5~0.8	3.6		2.6				
			0.6~0.8	3.5						
			0.6~0.9	3.3~3.4						
			0.7~1.0	3.2						
			0.5~1.0	2.9			3.0			
			0.5~0.7	3.2		2.9				
			26	5			0.5~1.0	12	10	2.9
						0.5~0.7			3.2	2.9

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x			
불안전	26	5	0.5~1.0	12		3.1	2.9			
			0.5~0.9			3.5	2.8			
			0.5~1.0			3.4				
			0.9~1.0			3.7	2.7			
			0.8~1.0			3.7	2.6			
			0.5~1.0	2.7		3.0				
			0.5~0.9	3		2.9				
			0.5~1.0	2.9						
			0.5~0.9	3.3		2.8				
			0.5~1.0	3.2						
			0.5~0.8	3.6~3.7		2.7				
			0.5~0.9	3.4~3.5						
			0.7~1.0	3.3						
			0.5~0.7	3.7						
			0.5~0.8	3.6						
			0.6~0.8	3.5		2.6				
			0.6~0.9	3.3~3.4						
			0.6~1.0	3.2						
			0.5~0.6	2.9		12	12	12	2.9	3.0
			0.5~1.0	2.8						
0.5~1.0	3.1	2.9								

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5	0.5~0.6	12		3.5	2.8
			0.5~1.0			3.4	
			0.5~1.0			3.7	2.7
			0.5~1.0			3.7	2.6
			0.5~1.0	2.7		3.0	
			0.5	3		2.9	
			0.5~1.0	2.9			
			0.5	3.3		2.8	
			0.5~1.0	3.2			
			0.5~0.7	3.6		2.7	
			0.5~0.8	3.4~3.5			
			0.6~0.9	3.2~3.3			
			0.6~1.0	3.1			
			0.5~0.7	3.6		2.6	
			0.5~0.8	3.4~3.5			
			0.6~0.9	3.2~3.3			
			0.6~1.0	3.1			
			0.5~1.0	2.8		3.0	
			0.5~0.9	3.1		2.9	
			0.5~1.0	3			
0.5~1.0	3.4	2.8					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	26	5	0.5~1.0	12	15	3.7	2.7		
			0.5~1.0			3.7	2.6		
			0.5~0.8			2.7	3.0		
			0.5~1.0			2.6			
			0.5~1.0			2.9	2.9		
			0.5~0.9			3.2	2.8		
			0.5~1.0	3.1					
			0.5~0.7	15		3.5~3.6	2.7		
			0.5~0.8			3.4			
			0.6~0.8			3.3			
			0.6~0.9			3.1~3.2			
			0.7~1.0			3			
		0.5~0.6	3.6						
		0.5~0.7	3.4~3.5	2.6					
		0.5~0.8	3.2~3.3						
		0.6~0.9	3.0~3.1						
		0.6~1.0	2.9						
		14			0.5~1.0	12	10	2.8	3.0
					0.5~0.7			3.1	2.9
					0.5~1.0			3	
0.5~0.9	3.4				2.8				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~1.0	12	10	3.3	2.8
			0.5~1.0			3.7	2.7
			0.5~1.0			3.7	2.6
			0.5	15		2.7	3.0
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.9			2.9	2.9
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.9			3.2	2.8
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~0.7			3.6	2.7
			0.5~0.8			3.4~3.5	
			0.5~0.9			3.3	
			0.6~0.9			3.2	
			0.7~1.0	3.1			
			0.5~0.7	3.6		2.6	
			0.5~0.8	3.4~3.5			
			0.6~0.9	3.3			
			0.6~0.9	3.2			
			0.6~1.0	3.1			
			0.5~0.8	12		12	2.8
0.5~1.0	2.7						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~1.0	12		3	2.9
			0.5~0.6			3.4	2.8
			0.5~1.0			3.3	
			0.5~1.0			3.7	2.7
			0.5~1.0			3.7	2.6
			0.5~1.0			2.6	3.0
			0.5~0.7	2.9	2.9		
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~0.6	3.2	2.8		
			0.5~1.0	3.1			
			0.5~0.7	3.5	2.7		
			0.5~0.8	3.3~3.4			
			0.6~0.9	3.1~3.2			
			0.7~1.0	3			
			0.5~0.7	3.4~3.6			
			0.5~0.8	3.3	2.6		
			0.6~0.8	3.2			
			0.6~0.9	3.1			
			0.6~1.0	3			
			0.5~1.0	2.7		3.0	
0.5~1.0	12	15	3	2.9			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x			
불안전	26	14	0.5~1.0	12	15	3.3	2.8			
			0.5~0.9			3.7	2.7			
			0.5~1.0			3.6				
			0.5~0.9			3.7		2.6		
			0.7~1.0			3.6				
			0.5~1.0			2.6	3.0			
			0.5~1.0	2.8		2.9				
			0.5~0.9	3.1		2.8				
			0.5~1.0	3						
			0.5~0.7	3.4~3.5		2.7				
			0.5~0.8	3.3						
			0.6~0.8	3.2						
			0.6~0.9	3.0~3.1						
			0.7~1.0	2.9						
			0.5~0.6	3.5~3.6			2.6			
			0.5~0.7	3.3~3.4						
			0.5~0.8	3.1~3.2						
			0.6~0.9	2.9~3.0						
			0.6~1.0	2.8						
			0.5~1.0	2.6		3.0				
			28	5		0.5~1.0	12	10	2.6	3.0
						0.5~0.7			2.9	2.9

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~1.0	12		2.8	2.9
			0.5~0.7			3.2	2.8
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~0.6			3.6	2.7
			0.5~1.0			3.5	
			0.5~1.0			3.6	2.6
			0.5~0.8			2.5	3.0
			0.5~1.0			2.4	
			0.5~1.0			2.7	2.9
			0.5~0.8			3	2.8
			0.5~1.0	2.9			
			0.5~0.7	3.3	2.7		
			0.5~0.8	3.1~3.2			
			0.6~0.9	3			
			0.6~1.0	2.9			
			0.5~0.6	3.5	2.6		
			0.5~0.7	3.3~3.4			
			0.5~0.8	3.1~3.2			
			0.6~0.9	2.9~3.0			
			0.6~1.0	2.8			
0.5~1.0	12	12	2.6	3.0			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~1.0	12	12	2.8	2.9
			0.5~1.0			3.1	2.8
			0.5~1.0			3.5	2.7
			0.5~1.0			3.6	2.6
			0.5			2.5	3.0
			0.5~1.0			2.4	
			0.5~0.8			2.7	2.9
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.9			2.9	2.8
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.7			3.2~3.3	2.7
			0.5~0.8			3.1	
			0.6~0.8			3	
			0.6~0.9			2.9	
			0.6~1.0			2.8	
			0.5~0.6			3.4~3.5	2.6
			0.5~0.7			3.1~3.3	
			0.5~0.8			3	
			0.6~0.9			2.8~2.9	
			0.6~1.0			15	
0.5~0.6	12	15	2.6	3.0			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~1.0	12	15	2.5	3.0
			0.5~1.0			2.8	2.9
			0.5~0.9			3.1	2.8
			0.5~1.0			3	
			0.5~0.7			3.5	2.7
			0.5~0.9			3.4	
			0.6~1.0			3.3	
			0.5~0.8			3.6	2.6
			0.6~0.9			3.5	
			0.7~0.9			3.3~3.4	
			0.7~1.0			3.2	
			0.5~1.0			2.4	3.0
			0.5~1.0	2.6		2.9	
			0.5~0.9	2.8~2.9		2.8	
			0.5~1.0	2.7			
			0.5	3.1~3.3		2.7	
			0.5~0.8	3			
			0.6~0.8	2.9			
			0.6~0.9	2.8			
			0.6~1.0	2.7			
0.5	3.5	2.6					
0.5			15				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28		0.5~0.6	15	15	3.2~3.4	2.6
			0.5~0.7			3.0~3.1	
			0.5~0.8			2.8~2.9	
			0.6~0.9			2.7	
			0.6~1.0			2.6	
	24	5	0.9~1.0	10	12	3.7	2.8
			0.5~0.6	3.6			
			1.0	12		3.8	2.7
			1.0	3.7		2.6	
			0.7~0.9	2.8		3	
			0.8	3.3		2.8	
			0.9	3			
			1.0	2.9			
			0.6	3.7		2.7	
			0.7	3.4			
			0.8	3.1~3.2			
			0.9	3			
			1.0	2.8			
			0.6	3.6		2.6	
			0.7	3.3			
			0.8	3.1			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.9	15	12	2.9	2.6
			1.0			2.8	
			0.6~0.8	12	15	3.7	2.8
			0.9			3.8~3.9	2.7
			1.0			3.6	
			0.8~0.9			3.9	2.6
			0.9			3.6~3.8	2.6
			1.0			3.5	
			0.5~0.6			2.8	3
			0.8~0.9			3	2.9
			1.0	2.9			
			0.8	15	12	3.1~3.2	2.8
			0.9			2.9	
			1.0			2.8	
			0.5	15	12	3.7	2.7
			0.6			3.6	
			0.7			3.3	
			0.8			3	
			0.9			2.9	
			1.0			2.7	
0.5	3.7~3.8	2.6					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.6	15	15	3.4~3.5	2.6
			0.7			3.1~3.2	
			0.8			2.9~3.0	
			0.9			2.8	
			1.0			2.7	
		14	0.8~1.0	10	3.3	2.9	
			0.6~0.8	3.2			
			0.9	12	3.8	2.7	
			1.0		3.6		
			0.9		3.7	2.6	
			1.0		3.5		
			0.9~1.0	2.7	3		
			14	0.8	12	3.1	2.8
		0.9		2.9			
		1.0		2.8			
		0.6		3.6		2.7	
		0.7		3.3			
		0.8		3			
		0.9		2.9			
		1.0		2.7			
		0.6	3.4~3.5	2.6			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.7	15	12	3.1~3.2	2.6
			0.8			2.9	
			0.9			2.8	
			1.0			2.7	
			0.9~1.0			2.9	3
			0.5			3.2	2.9
			0.9~1.0			3.5	2.8
			0.9	12		3.7	2.7
			1.0		3.5		
			0.8		3.7~3.8		
			0.9			3.5~3.6	2.6
			1.0			3.4	3
			0.6~0.8	15	2.7		
			0.9			2.9	2.9
			1.0			2.8	2.8
			0.8	15		3	
			0.9		2.8		
			1.0		2.7		
			0.5		3.6		
			0.6			3.4~3.5	2.7
0.7			3.1~2.3				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24	14	0.8	15	15	2.9	2.7	
			0.9			2.8		
			1.0			2.6		
			0.5			3.6~3.7	2.6	
			0.6			3.3		
			0.7			3		
			0.8			2.8		
			0.9			2.7		
			1.0			2.6		
			0.7~1.0			2.9		3
			0.5~0.7			3.2	2.9	
			0.7~0.9			3.5	2.8	
			0.6~0.9			3	2.9	
			0.6~0.9			3.3	2.8	
	0.5~0.8	3.7	2.7					
	0.8	3.6						
	0.9	3.4~3.5						
	26	5	12	1.0	12	12	3.3	2.6
				0.5~0.7			3.7	
				0.8			3.6	
0.9				3.4				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	5	1.0	12	12	3.2	2.6	
			0.9~1.0	15		2.5	3	
			1.0			2.6	2.9	
			0.7			3	2.8	
			0.9			2.7		
			1.0			2.5		
			0.6			3.1~3.3		
			0.7			2.9~3.0	2.7	
			0.8			2.7		
			0.9			2.6		
			0.9~1.0			2.5		
			0.5	3.4~3.5				
			0.6	3.1		2.6		
			0.7	2.9				
			0.8	2.7				
			0.5~0.6	10			2.9	3
			1.0			3.1	2.9	
			0.5~0.6			3.5	2.8	
			0.9~1.0	12		15	2.7	3
			0.5				3	2.9
			0.5				3.3	2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5	1.0	12	15	3.2	2.8
			0.8			3.5	2.7
			0.9			3.3	
			1.0			3.1	
			0.7			3.6	2.6
			0.8			3.4~3.5	
			0.9			3.2~3.3	
			1.0			3.1	
			0.6~0.8			2.5	3
			0.8~0.9			2.7	2.9
			1.0			2.5	
			0.5~0.6			3	2.8
			0.8	2.8			
			0.9	2.6			
			0.6	15	3.1	2.7	
			0.7	2.8~2.9			
			0.8	2.7			
			0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.5	3.2~3.3	2.6		
0.6	2.9~3.0						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5	0.7	15	15	2.7~2.8	2.6
			0.8			2.6	
			0.9			2.5	
			1.0			2.4	
		14	0.9~1.0	10	2.8	3	
			0.5~0.7		3.1	2.9	
			0.7~0.9		3.4	2.8	
			0.5	12	2.7	3	
			0.8~0.9		2.9	2.9	
			0.7~0.9		3.2	2.8	
			0.5~0.7		3.6	2.7	
			0.8		3.5		
			0.9		3.3		
			1.0		3.1		
			15	0.8	15	3.4~3.5	2.6
				0.9		3.2~3.3	
		1.0		3.1			
		1.0		2.5		2.9	
		0.8		2.7	2.8		
		0.9		2.6			
		1.0		2.4			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.6	15	12	3.1	2.7
			0.9			2.5	
			1.0			2.4	
			0.5			3.3	2.6
			0.6			3.0	
			0.7			2.8	
			0.9	2.6			
			0.5~0.8	10	2.8	3	
			0.5~0.6		3.4	2.8	
			1.0		3.7	2.7	
			1.0		3.7	2.6	
			0.5~0.7		2.9	2.9	
			0.5~0.6		3.2	2.8	
			1.0		3.1		
			0.8		15	3.4	2.7
			0.9	3.2			
			1.0	3			
			0.7	3.5~3.6		2.6	
			0.8	3.3			
			0.9	3.1			
			1.0	3.0			
			0.8	12			3.4
			0.9	3.2		3	2.6
			1.0	3.5~3.6		3.3	2.6
0.7	3.1	3.0	2.6				
0.8	3.0	3.0	2.6				
0.9	3.0	3.0	2.6				
1.0	3.0	3.0	2.6				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x				
불안전	26	14	1.0	15	15	2.4	3.0				
			0.9			2.6	2.9				
			0.5~0.7			2.9	2.8				
			0.9			2.5					
			1.0			2.4					
			0.6			3.0	2.7				
			0.7			2.7~2.8					
			0.8			2.6					
			0.9			2.4					
			1.0			2.3					
			0.5			3.2	2.6				
			0.5			3.1					
			0.6			2.8~2.9					
			0.7			2.6~2.7					
			0.8			2.5					
			0.9			2.4					
			1.0			2.3					
			28			5		0.5~0.7	10	12	2.9
							0.5~0.7	3.2			2.8
							0.5~0.6	3.6			2.7
0.6~0.8	12	2.5		3.0							

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.9~1.0	12	12	2.7	2.9
			0.5~0.8			3.0	2.8
			1.0			2.9	
			0.8			3.2	
			0.9			3.0	2.7
			1.0			2.9	
			0.7			3.4	
			0.8			3.1~3.2	2.6
			0.9			3.0	
			1.0			2.8	
			0.5~0.7			2.3	3.0
			0.5~0.6			2.5	
			1.0	2.3			
			0.7	2.7	2.8		
			0.8	2.5			
			0.9	2.4			
			0.8	2.4	2.7		
			0.9	2.3			
			1.0	2.2			
			0.5	3.0	2.6		
0.6	2.7						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.7	15	12	2.5	2.6
			0.8			2.4	
			0.7~1.0	10		2.6	3.0
			1.0			3.1	2.8
			0.8~1.0			3.5	2.7
			0.9~1.0			3.6	2.6
			0.5			2.5	3.0
			0.5~0.8	2.7	2.9		
			1.0	2.8	2.8		
			0.6~0.7	3.2~3.3	2.7		
			0.6~0.8	3.1			
			0.9	2.9			
			1.0	2.8			
			0.6	3.5	2.6		
			0.7	3.2~3.3			
			0.9	2.8~3.0			
			1.0	2.7			
			0.9	2.4	2.9		
			0.5~0.6	2.7	2.8		
			0.7	2.6			
0.8	2.4						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	28		0.9	15	15	2.3	2.8	
			1.0			2.2		
			0.5			3.0	2.7	
			0.6			2.7		
			0.7			2.5		
			0.9			2.2		
			1.0			2.1		
			0.5			2.8~2.9		
			0.6			2.6	2.6	
			0.7			2.4		
	0.8	2.3						
	0.9	2.2						
	24		5	0.5~1.0	10	10	3.1	3.0
				0.5~1.0			3.4	2.9
				0.5~1.0			3.8	2.8
				0.5~1.0			4.0	2.7
				0.5~1.0			4.0	2.6
				0.5~1.0			3.0	3.0
				0.5~1.0			3.3	2.9
				0.5~0.6			3.7	2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.7~1.0	12	10	3.6	2.8
			0.5~0.9			4.0	2.7
			1.0			3.9	
			0.5~0.9			4.0	
			1.0			3.8	
			0.5~0.9			2.9	3.0
			1.0	2.8			
			0.5~0.9	3.1		2.9	
			1.0	3.0			
			0.5~0.8	3.4		2.8	
			0.9	3.1			
			1.0	3.0			
			0.5~0.6	3.8			
			0.7	3.5		2.7	
			0.8	3.3			
			0.9	3.1			
			1.0	2.9			
			0.5	3.9			
			0.6	3.7		2.6	
			0.7	3.4			
0.8	3.2						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.9	15	10	3.0	2.6
			1.0			2.9	
			0.5~1.0	10		3.1	3.0
			0.5~1.0			3.4	2.9
			0.5~0.8			3.8	2.8
			0.9~1.0			3.7	
			0.5~1.0			4.0	2.7
			0.5~1.0			4.0	2.6
			0.5~1.0			3.0	3.0
			0.5~1.0	3.3	2.9		
			0.5~1.0	3.6	2.8		
			0.5~1.0	12		4.0	2.7
			0.5~1.0			4.0	2.6
			0.5~0.6	15		2.9	3.0
			0.7~1.0			2.8	
			0.5~0.9			3.1	2.9
			1.0			3.0	
			0.5~0.7			3.4	2.8
			0.8			3.3	
			0.9			3.0	
1.0	2.9						
0.5~1.0	12		4.0	2.7			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.5	15	12	3.8	2.7
			0.6			3.7	
			0.7			3.4	
			0.8			3.1	
			0.9			3.0	
			1.0			2.8	
			0.5			3.9	2.6
			0.6			3.6	
			0.7			3.3	
			0.8			3.1	
			0.9	2.9			
			1.0	2.8			
			0.5~1.0	3.1	3.0		
			0.5~1.0	3.4	2.9		
			0.5	10	15	3.8	2.8
			0.6~1.0			3.7	
			0.5~1.0			4.0	2.7
			0.5~1.0			4.0	2.6
			0.5~1.0	12	15	3.0	3.0
			0.5~1.0			3.3	2.9
0.5~1.0	3.6	2.8					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.5~0.8	12	15	4.0	2.7
			0.9			3.8	
			1.0			3.6	
			0.5~0.7			4.0	2.6
			0.8			3.9	
			0.9			3.6	
			1.0	3.5			
			0.5~1.0	2.8		3.0	
			0.5~0.7	3.1		2.9	
			0.8~0.9	3.0			
			1.0	2.9			
			0.5~0.7	3.4		2.8	
			0.8	3.1			
			0.9	2.9			
			1.0	2.8			
			0.5	3.7		2.7	
			0.6	3.6			
			0.7	3.3			
			0.8	3.0			
			0.9	2.9			
			1.0	2.7			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.5	15	15	3.7	2.6
			0.6			3.4	
			0.7			3.1	
			0.8			2.9	
			0.9			2.8	
			1.0			2.7	
		0.5~1.0	3.1	3.0			
		0.5~1.0	3.4	2.9			
		0.5~1.0	10	3.7	2.8		
		0.5~1.0	3.9	2.7			
		0.5~1.0	3.9	2.6			
		0.5~1.0	3.0	3.0			
		0.5~0.8	3.3	2.9			
		14	10		3.2		
		0.5~1.0	3.6	2.8			
		0.5~0.9	12		3.9		
		1.0	3.7				
		0.5~0.8	3.9	2.6			
		0.9	3.8				
		1.0	3.6				
		0.5~1.0	15	2.8	3.0		

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x			
불안전	24	14	0.5~0.9	15	10	3.0	2.9			
			1.0			2.9				
			0.5~0.7			3.3	2.8			
			0.8			3.2				
			0.9			3.0				
			1.0			2.9				
			0.5~0.6			3.7	2.7			
			0.7			3.4				
			0.8			3.1				
			0.9			3.0				
			1.0			2.8	2.6			
			0.5			3.8				
			0.6			3.6				
			0.7			3.3				
			0.8			3.0				
			0.9			2.9				
			1.0			2.8	10	12	3.1	3.0
			0.5~0.7			3.4			2.9	
			0.8~1.0			3.3				
			0.5~1.0			3.7			2.8	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.5~1.0	10	12	3.9	2.7
			0.5~1.0			3.9	2.6
			0.5~1.0	12		3.0	3.0
			0.5			3.3	2.9
			0.6~1.0			3.2	
			0.5~1.0			3.6	2.8
			0.5~0.8			3.9	2.7
			0.9			3.8	
			1.0	3.6			
			0.5~0.8	3.9		2.6	
			0.9	3.7			
			1.0	3.5			
			0.5~0.8	2.8		3.0	
			0.9~1.0	2.7			
			0.5~0.9	3.0		2.9	
			1.0	2.9			
			0.5~0.7	3.3		2.8	
			0.8	3.1			
			0.9	2.9			
			1.0	2.8			
			0.5	3.7			2.7

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.6	15	12	3.6	2.7
			0.7			3.3	
			0.8			3.0	
			0.9			2.9	
			1.0			2.7	
			0.5			3.8	2.6
			0.6			3.4	
			0.7			3.1	
			0.8			2.9	
			0.9			2.8	
			1.0	2.7			
			0.5~0.8	3.0	3.0		
			0.9~1.0	2.9			
			0.5~1.0	3.2	2.9		
			0.5~0.8	3.6	2.8		
			0.9~1.0	3.5			
			0.5~0.8	3.9			
			0.9	3.7			
			1.0	3.4			
			0.5~0.7	3.9	2.6		
0.8	3.7						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.9	12	15	3.5	2.6
			1.0			3.3	
			0.5			2.8	3.0
			0.6~1.0			2.7	
			0.5~0.8	3.0		2.9	
			0.9	2.9			
			1.0	2.8			
			0.5~0.7	3.3			
			0.8	3.0		2.8	
			0.9	2.8			
			1.0	2.7			
			0.5	15			3.6
			0.6	3.4			
			0.7	3.1			
			0.8	2.9			
			0.9	2.8			
			1.0	2.6			
			0.5	3.6		2.6	
			0.6	3.3			
			0.7	3.0			
0.8	2.8						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x						
불안전	24	14	0.9	15	15	2.7	2.6						
			1.0			2.6							
	26	5	10	0.5~1.0	10	10	3.0	3.0					
				0.5~0.7			3.3	2.9					
				0.8~1.0			3.2						
				0.5~0.9			3.6	2.8					
				1.0			3.5						
				0.5~1.0			3.8	2.7					
				0.5~1.0			3.8	2.6					
				0.5~1.0			2.8	3.0					
				0.5~0.9			3.1	2.9					
				1.0			3.0						
				0.5~0.9			3.4	2.8					
				1.0			3.3						
				12			12	12	0.5~0.8	12	12	3.8	2.7
									0.9			3.6	
									1.0			3.4	
									0.5~0.7			3.8	
									0.8			3.7	2.6
									0.9			3.5	
									1.0			3.3	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5	0.5~1.0	15	10	2.6	3.0
			0.5~0.9			2.8	2.9
			1.0			2.7	
			0.5~0.7			3.1	
			0.8			2.9	
			0.9			2.8	
			1.0			2.6	
			0.5~0.6			3.4	2.7
			0.7			3.1	
			0.8			2.8	
			0.9			2.7	
			1.0			2.6	
			0.5			3.6	
			0.6			3.2	
			0.7			3.0	
			0.8	2.8			
			0.9	2.6			
			1.0	2.5			
			0.5~0.6	3.0	10	12	3.0
			0.7~1.0	2.9			
			0.5~1.0	3.2			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	5	0.5~0.6	10	12	12	3.6	2.8
			0.7~1.0				3.5	
			0.5~1.0				3.8	2.7
			0.5~1.0				3.8	2.6
			0.5~1.0	2.8			3.0	
			0.5	3.1			2.9	
			0.6~1.0	3.0				
			0.5	3.4			2.8	
			0.6~1.0	3.3				
			0.5~0.7	3.7			2.7	
			0.8	3.6				
			0.9	3.4				
			1.0	3.2				
			0.5~0.7	3.7			2.6	
			0.8	3.6				
			0.9	3.4				
			1.0	3.2			3.0	
			0.5~0.8	2.6				
			0.9~1.0	2.5				
			0.5~0.9	2.8			2.9	
1.0	2.6							

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5	0.5~0.6	15	12	3.1	2.8
			0.7			3.0	
			0.8			2.9	
			0.9			2.7	
			1.0			2.5	
			0.5			3.4	2.7
			0.6			3.2	
			0.7			3.0	
			0.8			2.8	
			0.9			2.6	
			1.0			2.5	2.6
			0.5			3.4	
			0.6			3.1	
			0.7			2.9	
			0.8			2.7	
			0.9			2.6	3.0
			1.0			2.5	
			0.5~1.0			2.9	
			0.5~0.9			3.2	
			1.0			3.1	2.9
0.5~1.0	3.5						
				10	15		2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	5	0.5~1.0	10	15	3.8	2.7	
			0.5~1.0			3.8	2.6	
			0.5~0.8			2.8	3.0	
			0.9~1.0			2.7		
			0.5~1.0			3.0	2.9	
			0.5~0.9			3.3	2.8	
			1.0	3.2				
			0.5~0.7	12		3.7	2.7	
			0.8			3.5		
			0.9			3.3		
			1.0			3.1		
			0.5~0.6			3.7		2.6
			0.7			3.6		
			0.8	3.4				
			0.9	3.2				
			1.0	3.0				
			0.5	15		2.6	3.0	
			0.6~1.0			2.5		
			0.5~0.7			2.8	2.9	
			0.8~0.9			2.7		
			1.0			2.5		

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	26	5	0.5~0.7	15	15	3.0	2.8		
			0.8			2.8			
			0.9			2.6			
			1.0			2.5			
			0.5			3.4	2.7		
			0.6			3.1			
			0.7			2.8			
			0.8			2.7			
			0.9			2.5			
			1.0			2.4			
		0.5	3.2	2.6					
		0.6	2.9						
		0.7	2.7						
		0.8	2.6						
		0.9	2.5						
		1.0	2.4						
		14			0.5~1.0	10	10	2.9	3.0
					0.5~0.7			3.2	2.9
					0.8~1.0			3.1	
					0.5~0.9			3.5	2.8
1.0	3.4								

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~1.0	10	10	3.8	2.7
			0.5~1.0			3.8	2.6
			0.5	12		2.8	3.0
			0.6~1.0			2.7	
			0.5~0.9			3.0	2.9
			1.0			2.9	
			0.5~0.9	3.3		2.8	
			1.0	3.2			
			0.5~0.7	3.7		2.7	
			0.8	3.6			
			0.9	3.4			
			1.0	3.2			
			0.5~0.7	3.7		2.6	
			0.8	3.6			
			0.9	3.4			
			1.0	3.2			
			0.5~1.0	15		2.5	3.0
			0.5~0.9			2.7	2.9
			1.0			2.6	
			0.5~0.7			3.0	2.8
			0.8			2.8	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.9	15	10	2.7	2.8
			1.0			2.5	
			0.5			3.3	2.7
			0.6			3.2	
			0.7			2.9	
			0.8			2.7	
			0.9			2.6	
			1.0			2.5	
			0.5			3.4	2.6
			0.6			3.1	
			0.7	2.9			
			0.8	2.7			
			0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.5~0.8	10	12	2.9	3.0
			0.9~1.0			2.8	
			0.5~1.0			3.1	2.9
			0.5~0.6			3.5	2.8
			0.7~1.0			3.4	
			0.5~1.0			3.8	2.7
			0.5~1.0			3.8	2.6

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~1.0	12	12	2.7	3.0
			0.5~0.7			3.0	2.9
			0.8~1.0			2.9	
			0.5~0.6			3.3	2.8
			0.7~1.0			3.2	
			0.5~0.7			3.6	2.7
			0.8			3.5	
			0.9			3.3	
			1.0			3.1	
			0.5~0.7			3.7	2.6
			0.8			3.4	
			0.9			3.2	
			1.0	3.1			
			0.5~1.0	2.5	3.0		
			0.5~0.9	2.7	2.9		
			1.0	2.5			
			0.5~0.7	3.0	2.8		
			0.8	2.7			
			0.9	2.6			
			1.0	2.5			
			0.5	3.3		2.7	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.6			3.1	2.7
			0.7			2.9	
			0.8			2.7	
			0.9			2.5	
			1.0			2.4	
			0.5	15	12	3.3	2.6
			0.6	3.0			
			0.7	2.8			
			0.8	2.6			
			0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.5~1.0			2.8	3.0
			0.5~1.0			3.1	2.9
			0.5~1.0			3.4	2.8
			0.5~0.9	10	15	3.8	2.7
			1.0	3.7			
			0.5~0.9			3.8	2.6
			1.0	3.7			
			0.5~1.0			2.7	3.0
			0.5~1.0	12		2.9	2.9
			0.5~0.9			3.2	2.8

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	1.0	12	15	3.1	2.8
			0.5~0.7			3.6	2.7
			0.8			3.4	
			0.9			3.2	
			1.0			3.0	
			0.5~0.6			3.7	
			0.7			3.5	
			0.8			3.3	
			0.9			3.1	
			1.0			2.9	
			0.5~0.9			2.5	3.0
			1.0			2.4	
			0.5~0.8	2.7	2.9		
			0.9	2.6			
			1.0	2.5	15	2.8	
			0.5~0.7	2.9			
			0.8	2.7			
			0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.5	3.3			2.7
0.6	3.0						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	14	0.7	15	15	2.7	2.7	
			0.8			2.6		
			0.9			2.4		
			1.0			2.3		
			0.5			3.1	2.6	
			0.6			2.8		
			0.7			2.6		
			0.8			2.5		
			0.9			2.4		
			1.0			2.3		
			0.5~1.0			2.7		3.0
			0.5~0.7			3.0		2.9
			0.8~1.0			2.9		
			0.5~0.7			3.3		2.8
	0.8~1.0	3.2						
	28	5	0.5~0.6	10	10	3.7	2.7	
			0.7~1.0			3.6		
			0.5~1.0			3.7	2.6	
			0.5~0.8			2.6	3.0	
			0.9~1.0			2.5		
			0.5~1.0			2.8		2.9

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~0.8	12	10	3.1	2.8
			0.9~1.0			3.0	
			0.5~0.7			3.4	2.7
			0.8			3.3	
			0.9			3.1	
			1.0			3.0	
			0.5~0.6			3.6	2.6
			0.7			3.5	
			0.8			3.3	
			0.9			3.1	
			1.0			2.9	
			0.5~0.7			2.4	3.0
			0.8~1.0	2.3			
			0.5~0.6	2.6		2.9	
			0.7~0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.5~0.7	2.8		2.8	
			0.8	2.6			
			0.9	2.5			
			1.0	2.3			
0.5	3.1	2.7					
				15			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	28	5	0.6	15	10	2.8	2.7	
			0.7			2.6		
			0.8			2.5		
			0.9			2.4		
			1.0			2.3		
			0.5	10	3.1	2.6		
			0.6		2.8			
			0.7		2.6			
			0.8		2.5			
			0.9		2.3			
			1.0		2.2			
			0.5~1.0		2.7		3.0	
			0.5~1.0		2.9		2.9	
			0.5~1.0		12		3.2	2.8
			0.5~1.0				3.6	2.7
			0.5~1.0	3.7		2.6		
			0.5	2.6		3.0		
			0.6~1.0	2.5				
			0.5~0.8	12	2.8	2.9		
			0.9~1.0		2.7			
			0.5~0.9		3.0	2.8		

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	1.0	12	12	2.9	2.8
			0.5~0.7			3.4	2.7
			0.8			3.2	
			0.9			3.0	
			1.0			2.9	
			0.5~0.6			3.6	
			0.7			3.4	
			0.8			3.1	
			0.9			3.0	
			1.0			2.8	
			0.5~1.0			2.3	3.0
			0.5~0.9			2.5	2.9
			1.0	2.3			
			0.5~0.6	2.8	2.8		
			0.7	2.7			
			0.8	2.5			
			0.9	2.4			
			1.0	2.3			
			0.5	3.1	2.7		
			0.6	2.8			
0.7	2.6						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.8	15	12	2.4	2.7
			0.9			2.3	
			1.0			2.2	
			0.5			3.0	2.6
			0.6			2.7	
			0.7			2.5	
			0.8			2.4	
			0.9			2.3	
			1.0			2.2	
			0.5~0.6			2.7	3.0
			0.7~1.0	2.6			
			0.5~1.0	2.9	2.9		
			0.5~0.9	3.2			
			1.0	3.1			
			0.5~0.7	10	15	3.6	2.7
			0.8~0.9			3.5	
			1.0			3.4	
			0.5~0.8			3.7	2.6
			0.9	3.6			
			1.0	3.3			
0.5~1.0	12		2.5	3.0			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x				
불안전	28	5	0.5~1.0	12	15	2.7	2.9				
			0.5~0.9			3.0	2.8				
			1.0			2.8					
			0.5			3.4		2.7			
			0.6~0.8			3.1					
			0.9			2.9					
			1.0			2.8					
			0.5			3.6	2.6				
			0.6			3.5					
			0.7			3.2					
			0.8			3.0					
			0.9			2.8					
			1.0	2.7							
			0.5~1.0	2.3		3.0					
			0.5~0.8	2.5		2.9					
			0.9	2.4							
			1.0	2.3							
			0.5~0.6	2.7		2.8					
			0.7	2.6							
			0.8	2.4							
			0.9	2.3							
								15			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28		1.0	15	15	2.2	2.8
			0.5			3.0	2.7
			0.6			2.7	
			0.7			2.5	
			0.8			2.4	
			0.9			2.2	
			1.0			2.1	
			0.5			2.8	2.6
			0.6			2.6	
			0.7			2.4	
			0.8			2.3	
			0.9			2.2	
			1.0			2.1	
			24				0.5~1.0
	0.5~1.0	3.7		2.85			
	0.5~1.0	3.9		2.75			
	0.5~1.0	3.2		2.95			
	0.5~0.6	3.6		2.85			
	0.5~1.0	3.5					
	0.5~0.9	3.9		2.75			
	0.5~1.0	3.8					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	5	0.5~0.9	15	10	3.0	2.95
			0.5~1.0			2.9	
			0.5~0.8			3.1~3.3	2.85
			0.5~0.6			3.5~3.7	2.75
			0.5~0.7			3.4	
			0.5			3.8	2.65
			0.8			3.3	2.75
			1.0			2.9	
			0.6			3.7	2.65
			0.7			3.4	
			0.8			3.2	
			0.9			3.0	
			0.5~1.0			3.3	2.95
			0.5~0.8			3.7	2.85
			0.5~1.0			3.6	
			0.5~1.0	3.9	2.75		
			0.5~1.0	3.2	2.95		
			0.5~1.0	12	3.5	2.85	
			0.5~1.0	3.9	2.75		
			0.5~0.9	3.0	2.95		
			0.5~1.0	15		2.9	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	24	5	0.5~0.7	15	12	3.3	2.85		
			0.5~0.8			3.2			
			0.5~0.8			3.1			
			0.9			3.0			
			1.0			2.9			
			0.5			3.7	2.75		
			0.5~0.6			3.4~3.6			
			0.8			3.1~3.2			
			1.0			2.8			
			0.5			3.8	2.65		
			0.6			3.6			
			0.7			3.3			
			0.9			2.9			
			0.5~1.0			3.3	2.95		
			0.5			10	3.7	15	2.85
			0.5~1.0				3.6		
			0.5~1.0				3.9		
			0.5~1.0			12	3.2	15	2.95
			0.5~1.0				3.5		2.85
			0.5~0.8				3.8~3.9		2.75
0.5~0.9	3.6~3.7								

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	24	5	0.8	12	15	3.9	2.65		
			0.9			3.6~3.7			
			0.5~0.7	15		3.0	2.95		
			0.5~0.9			2.9			
			0.5~1.0			2.8			
			0.5~0.7			3.1~3.3	2.85		
			0.8			3.0			
			0.9			2.9			
			1.0			2.8	2.75		
			0.7			3.3			
			0.8			3.0			
			1.0			2.7			
		0.5	3.6						
		0.5~0.6	3.4~3.5						
		0.6	3.4~3.5	2.65					
		0.7	3.1~3.2						
		0.8	2.9						
		0.9	2.8						
		0.5~1.0	3.3		2.95				
		14	10	10	0.5~1.0	10	10	3.6	2.85
					0.5~1.0			3.8	2.75
					0.5~1.0				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.5~0.8	12		3.2	2.95
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~1.0			3.5	2.85
			0.5~0.9			3.7~3.8	2.75
			0.5~1.0			3.6	
			0.9			3.8	2.65
			1.0			3.6	2.65
			0.5~0.9	2.9	2.95		
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~0.7	3.2	2.85		
			0.5~0.8	3.0~3.1			
			0.5~0.6	3.6	2.75		
			0.5~0.6	3.4~3.5			
			0.5~0.7	3.3			
			0.8	3.1			
			1.0	2.8			
			0.5	3.7		2.65	
			0.6	3.6			
			0.7	3.3			
			0.8	3.0			
			0.9	2.9			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	24	14	0.5~0.7	10	12	3.3	2.95
			0.5~1.0			3.2	
			0.5~1.0			3.6	2.85
			0.5~1.0			3.8	2.75
			0.5	12		3.2	2.95
			0.5~1.0			3.1	
			0.5~1.0			3.5	2.85
			0.5~0.8	12		3.8	2.75
			0.5~0.9			3.6~3.7	
			0.9	12		3.7	2.65
			1.0			3.5	
			0.5~0.9	12		2.9	2.95
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.7	15		3.1~3.2	2.85
			0.5~0.8			3.0	
			0.9			2.9	
			1.0			2.8	
			0.5			3.6	2.75
			0.5~0.6			3.3~3.5	
			0.8			3.0	
1.0	2.7						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	24	14	0.5	15	12	3.7	2.65		
			0.6			3.4~3.5			
			0.7			3.1~3.2			
			0.8			2.9			
			0.9			2.8			
			0.5~1.0	12	15	3.1	2.95		
			0.5~0.8			3.5	2.85		
			0.5~1.0			3.4			
			0.5~0.8			3.7~3.8	2.75		
			0.5~0.9			3.6			
			0.9			3.5			
			1.0			3.4			
			0.8			3.7~3.8			
			0.9			3.5~3.6	2.65		
			1.0			3.3			
			0.5~0.8			15	15	2.9	2.95
			0.5~0.9					2.8	
			0.6~1.0	2.7					
			0.5~0.7	3.0~3.2	2.85				
			0.9	2.8					
			1.0	2.7					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	24	14	0.5	15	15	3.4~3.5	2.75	
			0.5~0.6			3.3		
			0.7			3.1~3.2		
			0.8			2.9		
			1.0			2.6		
			0.6			3.3		2.65
			0.7			3.0		
			0.8			2.8		
			0.9			2.7		
			0.5~0.7			3.2		
	26	5	0.5~1.0	10	10	3.1	2.95	
			0.5~0.9			3.5		
			0.5~1.0			3.4	2.85	
			0.5~1.0			3.7		
			0.5~0.9			3.0	2.95	
			0.5~1.0			2.9		
			0.5~0.9			3.3	2.85	
			0.5~1.0			3.2		
			0.5~0.8			3.6~3.7	2.75	
			0.5~0.9			3.4~3.5		
1.0	3.3							

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	5	0.8	12	10	3.7	2.65
			0.9			3.5	
			1.0			3.3	
			0.5~0.9	15		2.7	2.95
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.7			2.9~3.0	
			0.5~0.8	2.8		2.85	
			1.0	2.6			
			0.5~0.6	15		3.1~3.3	2.75
			0.8			2.8	
			0.9			2.7	
			0.6	15		3.2~3.3	2.65
			0.7			3.0	
			0.9			2.6	
			1.0	2.5			
			0.5~1.0	10		3.1	2.95
			0.5~0.6			3.5	2.85
			0.5~1.0			3.4	
			0.5~1.0	12		3.7	2.75
			0.5			3.0	2.95
			0.5~1.0			2.9	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x			
불안전	26	5	0.5	12		3.3	2.85			
			0.5~1.0			3.2				
			0.5~0.7			3.6	2.75			
			0.5~0.8			3.4~3.5				
			1.0			3.2				
			0.5~0.9	2.6~2.7		2.95				
			0.9~1.0	2.5						
			0.5~0.6	3.0		2.85				
			0.5~0.7	2.9						
			0.5~0.8	2.8						
			0.9	2.7						
			1.0	2.5						
			0.5	3.2~3.3		2.75				
			0.5~0.6	3.1						
			0.8	2.8						
			0.9	2.6						
			0.9	2.5		2.65				
			1.0	2.4						
			0.5~0.9	3.1		10	15		3.1	2.95
			0.5~1.0	3.0						
0.5~1.0	3.4	2.85								

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	5	0.5~1.0	10	15	3.7	2.75	
			0.5~1.0	12		2.9	2.95	
			0.5~0.9			2.85	3.2	
			0.5~1.0				3.1	
			0.5~0.7			3.5~3.6	2.75	
			0.5~0.8			3.3~3.4		
			1.0			3.1		
			0.7			3.6	2.65	
			0.8			3.4		
			0.9			3.2		
			1.0			3.0		
			0.5~0.7			2.7	2.95	
			0.5~0.9			2.6		
			0.6~0.9	2.5				
			0.5~0.7	2.8~2.9				
			0.8	2.7		2.85		
			0.9	2.6				
			0.5	3.1~3.3			2.75	
			0.5~0.6	3.0				
			0.7	2.8~2.9				
			0.8	2.7				
			0.8					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x		
불안전	26	5	0.9	15	15	2.5	2.75		
			1.0			2.4			
			0.5			10	10	3.2~3.3	2.65
			0.6					2.9~3.0	
			0.7					2.7	
			0.8					2.6	
		0.5~0.7	3.1	2.95					
		0.5~1.0	3.0	2.85					
		0.5~0.9	3.4						
		0.5~1.0	3.3	2.75					
		0.5~1.0	3.7	2.95					
		0.5~0.9	2.9						
		0.5~1.0	2.8	2.85					
		0.5~0.9	3.2						
		14	0.5~1.0	12	3.1	2.75			
			0.5~0.7		3.6				
			0.5~0.8		3.4~3.5	2.95			
			0.5~0.9		3.3				
			0.5~0.9	15	2.6	2.85			
			0.5~1.0		2.5				
			0.5~0.7		2.8~2.9				

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~0.8	15	10	2.7	2.85
			1.0			2.5	
			0.5			3.2	2.75
			0.5~0.6			3.0~3.1	
			0.7			2.9	
			0.8			2.7	
			0.9			2.6	
			0.5			3.3	
			0.6			3.1	
			1.0			2.4	
			0.5~1.0	3.0	2.95		
			0.5~0.6	3.4	2.85		
			0.5~1.0	3.3			
			0.5~1.0	3.7	2.75		
			0.5~0.7	2.9	2.95		
			0.5~1.0	2.8			
			0.5~0.6	3.2	2.85		
			0.5~1.0	3.1			
			0.5~0.7	3.5	2.75		
			0.5~0.8	3.3~3.4			
			0.7~0.9	3.2			

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	1.0	12		3.1	2.75
			0.5~0.7			3.6	2.65
			0.8			3.4	
			0.9			3.2	
			0.5~0.9	2.5~2.6		2.95	
			0.5~0.7	2.7~2.9		2.85	
			0.9	2.6			
			0.5	3.1~3.2			2.75
			0.5~0.6	3.0			
			0.7	2.9			
			0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.6	3.0		2.65	
			0.7	2.8			
			0.8	2.6			
			0.5~1.0	3.0			2.95
			0.5~1.0	3.3		2.85	
			0.5~0.9	3.7		2.75	
			0.5~1.0	3.6			
			0.5~1.0	2.8		2.95	
0.5~0.9	3.1	2.85					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	26	14	0.5~1.0	12	15	3.0	2.85
			0.5~0.7			3.4~3.5	2.75
			0.5~0.8			3.2~3.3	
			1.0			3.0	
			0.5~0.6			3.6	
			0.7			3.5	
			0.8			3.3	
			0.9			3.1	
			1.0			2.9	2.95
			0.5~0.8			2.6	
			0.5~0.9			2.5	
			1.0			2.4	
			0.5~0.7	2.7~2.8		2.85	
			0.9	2.5			
			1.0	2.4			
			0.5	3.0~3.2			2.75
			0.5~0.6	2.9			
			0.7	2.7~2.8			
			0.8	2.6			
			0.9	2.4			
			1.0	2.3			
			15	15		15	

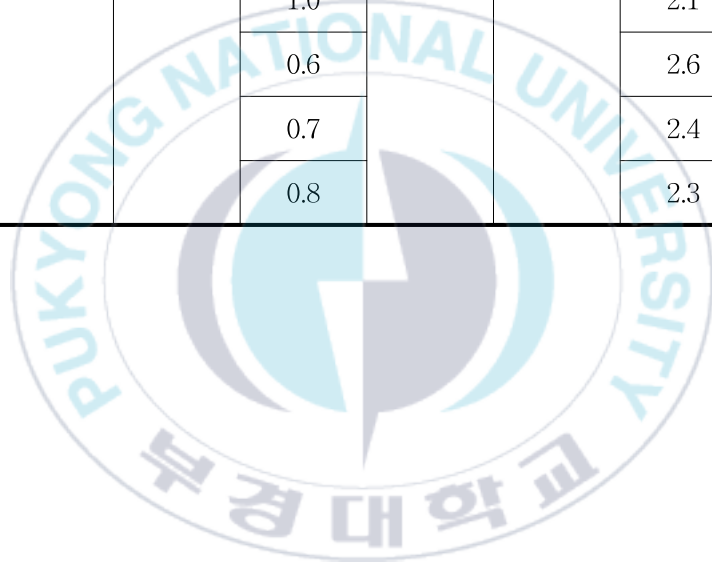
클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x	
불안전	26	14	0.5	15	15	3.1~3.2	2.65	
			0.6			2.8~2.9		
			0.7			2.6		
			0.8			2.5		
	28	5	0.5~0.7	10	10	2.9	2.95	
			0.5~1.0			2.8		
			0.5~0.7			3.2	2.85	
			0.5~1.0			3.1		
			0.5~0.6			3.6	2.75	
			0.5~1.0			3.5		
			0.7~1.0			3.6	2.65	
			0.5~1.0			2.7	2.95	
			0.5~0.8			3.0	2.85	
			0.5~1.0			2.9		
			0.5~0.7			3.3	2.75	
			0.5~0.8			3.1~3.2		
			0.9			3.0		
			0.5~0.6			3.5	2.65	
			0.5~0.7			3.4		
			1.0			2.9		
			0.5~0.6			15		2.5

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~0.9	15	10	2.4	2.95
			0.8~1.0			2.3	
			0.5~0.7			2.6~2.7	2.85
			0.7~0.8			2.5	
			1.0			2.3	
			0.5			2.8~3.0	
			0.7			2.6~2.7	2.75
			0.8			2.5	
			0.9			2.4	
			0.9			2.3	2.65
			1.0	2.2			
			0.5~1.0	2.8	2.95		
			0.5~1.0	3.1	2.85		
			0.5~1.0	3.5	2.75		
			0.5~1.0	3.6	2.65		
			0.5~0.8	10	12	2.7	2.95
			0.5~1.0			2.6	
			0.5~0.9			2.9	2.85
			0.5~1.0			2.8	
			0.5~0.7			3.2~3.3	
0.5~0.8	3.0~3.1	2.75					

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.5~0.6	12		3.4~3.5	2.65
			0.8			3.1	
			1.0			2.8	
			0.5~0.9			2.4	2.95
			0.5~0.9			2.3	2.95
			0.5~0.6			2.7	2.85
			0.5~0.7	2.5~2.6			
			0.9	2.4			
			0.5	15		2.8~3.0	2.75
			0.7			2.6	
			0.8			2.4	
			0.9			2.3	
			1.0			2.2	
			0.6			2.7	2.65
			0.7			2.5	
			0.5~1.0			10	2.8
			0.5~0.9	3.1			2.85
			0.5~1.0	3.0			
			0.5~0.7	3.5			2.75
			0.5~0.9	3.4			
0.5~1.0	3.3						

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.8~0.9	10	15	3.5	2.65
			1.0			3.3	
			0.5~1.0	12		2.6	2.95
			0.5~0.9			2.9	2.85
			0.5~0.9			2.8	
			0.5~1.0			2.7	
			0.5			3.1~3.3	
			0.5~0.8			3.0	2.75
			0.9			2.9	
			0.5			3.5	2.65
			0.5~0.6			3.4	
			0.6			3.2~3.3	
			0.6~0.7			3.1	
			0.8			3.0	
			0.9	2.8			
			1.0	2.7			
			0.5~0.8	15		2.4	
			0.5~0.9			2.3	
			0.5~0.6			2.6	2.85
			0.5~0.7			2.5	
			0.8			2.4	

클래스	V_o	$H1$	$H2$	$M.A$	$R.A$	D_y	D_x
불안전	28	5	0.9	15	15	2.3	2.85
			1.0			2.2	
			0.5			2.7~2.9	2.75
			0.7			2.5	
			0.9			2.2	
			1.0			2.1	
			0.6			2.6	2.65
			0.7			2.4	
			0.8			2.3	



감사의 글

학위논문을 작성하고 석사과정을 마무리하면서 지난 시간을 되돌아보니, 제 주변에 계신 정말 좋은 분들 덕분에 지금의 저로 성장할 수 있었다는 것을 깨닫게 되었습니다. 지금까지 제가 해왔던 모든 선택에 조언과 격려, 응원을 주셨던 분들께 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

먼저, 제가 선택한 모든 방향에 대해 항상 저를 믿고 밀어주신 부모님께 감사드립니다. 앞으로도 자랑스러운 아들이 될 수 있도록 하겠습니다.

석사과정을 진행하는데 많은 도움을 주시고 다양한 경험을 할 수 있도록 도움과 조언을 주신 정철우 교수님께 감사드립니다. 구조 분야에 대하여 더 넓은 범위에 대해 공부할 수 있는 안목을 길러주시고, 석사 과정을 진행하면서 좀 더 발전된 연구와 석사과정의 마무리를 할 수 있게 도움과 조언을 주신 이창환 교수님께 감사드립니다. 그리고 기계학습 분야의 전반적인 공부부터 석사과정의 마무리까지, 부족한 저에게 많은 조언과 도움을 주시고, 많은 부분을 지도해주신 박민재 교수님께 큰 감사의 말씀드립니다. 교수님들의 지도와 격려 아래 본 논문을 마무리할 수 있었습니다.

논문 작성에 대한 많은 도움을 준 요기형, 수현, 저의 실험과 연구를 위해 옆에서 도와준 랑 박사님, 형준, 상섭, 동현, 혁, 명후, 도진, 재관, 재근 이까지 덕분에 즐겁게 연구실 생활을 할 수 있었습니다. 제가 어디에 있던 옆에서 많은 도움을 주고 응원과 격려를 해준 선배, 동기, 후배들에게 고맙다고 전하고 싶습니다.