

소아 허약 검사를 활용한 허약아 패턴 분석 및 머신러닝 기반 예측 모델 개발

김태환¹ · 윤선우² · 최서연¹ · 방미란³ · 한주희¹ · 장규태^{2,3} · 이진용⁴ · 이선행^{1,2}

¹경희대학교한방병원 한방소아과, ²경희대학교 대학원 소아과학교실,

³강동경희대학교한방병원 한방소아과, ⁴한국한의학연구원

Abstract

Pattern Analysis and Machine Learning-Based Prediction Model for pediatric weakness Using the Pediatric Weakness Scale

Kim Tae Hwan¹ · Yoon Seonu² · Choi Seo Yeon¹ · Bang Mi Ran³ · Han Ju Hui¹ ·

Chang Gyu Tae^{2,3} · Lee Jin Yong⁴ · Lee Sun Haeng^{1,2}

¹Department of Korean Pediatrics, Kyung Hee University Medical Center

²Department of Korean Pediatrics, Graduate School, Kyung Hee University

³Department of Korean Pediatrics, College of Korean Medicine, Kyung Hee University,
Kyung Hee University Hospital at Gangdong

⁴Korea Institute of Oriental Medicine

Objectives

This study aimed to explore the internal structure of the Pediatric Weakness Scale (PWS) through factor analysis, classify pediatric weakness patterns using hierarchical clustering, and evaluate a machine-learning-based predictive model for clinical screening.

Methods

PWS responses from 326 children aged 6-9 years without organic diseases were analyzed. Factor analysis (principal axis factoring and varimax rotation) was used to extract seven latent factors. These factor scores were used for hierarchical cluster analysis (Ward's linkage method and Euclidean distance), resulting in ten clusters each. Cluster characteristics were compared using Multidimensional Fatigue Scale (MFS), Korean Child Behavior Checklist (K-CBCL), Korean version of Children's Eating Behavior Questionnaire (K-CBEQ), respiratory infection history, and growth indices. Machine learning models were trained to predict clusters based on factor scores, and their performance was evaluated using 10-fold cross-validation.

Results

Seven factors were identified: respiratory health, general condition, ocular health, emotional regulation, gastrointestinal function, nutrition, and sleep-related nervous system sensitivity. Ten distinct clusters were derived: healthy children; severe, moderate, and mild complex weakness; liver - lung weakness; emotional dysregulation - heart weakness; neurosensitive heart weakness; and Spleen, Lung, and Kidney - specific weakness. Among the classifiers, the nonlinear support vector machine achieved the highest accuracy (0.890).

Conclusion

This study suggests a new classification and prediction model for pediatric weakness based on PWS data. These results support the potential for early screening and personalized health strategies in pediatric care.

Key words: Weak Children, Pediatric Weakness Scale, Factor Analysis, Hierarchical Cluster Analysis, Machine Learning

•Received: April 24, 2025 •Revised: April 28, 2025 •Accepted: April 30, 2025

*Corresponding Author: Lee Sun Haeng

Department of Korean Pediatrics, College of Korean Medicine, Kyung Hee University,
26-6, Kyungheedaero, Dongdaemun-gu, Seoul, Republic of Korea

Tel.: +82-2-958-9167/ Fax: +82-2-958-9169

E-mail: civil011@khu.ac.kr

© The Association of Pediatrics of Korean Medicine. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. Introduction

소아는 장부 기능이 미숙하고 기혈이 부족하여 질병에 쉽게 이환되는 경향이 있다. 그러나 실제 임상 현장에서는 유난히 또래에 비해 심하게 잔병치레 하는 아이들을 접할 수 있으며, 이들을 허약아(虛弱兒)라 통칭한다. 허약아는 일반적으로 같은 질환을 같은 형태로 반복하는 특징을 가지고 있으며, 잦은 감기, 식욕 부진, 안면의 혈색이 좋지 않음, 쉽게 지치고 피로감을 느끼는 등의 호소로 나타난다. 허약아는 기본적으로 오장육부의 미성숙과 기혈의 부족으로 인해 질병에 쉽게 노출되며 회복이 더뎈 증상이 반복되는 양상을 보인다. 이에 따라 한의학에서는 오장변증을 바탕으로 치료와 관리를 시행하고, 보법과 양생을 중심으로 허약아에 대한 개입을 시도해 왔다¹⁾.

선행 연구에서는 유 등²⁾의 문헌적 고찰과 김 등³⁾의 임상적 고찰을 통해 허약아를 장부별로, 비계허약아(脾系虛弱兒), 폐계허약아(肺系虛弱兒), 심계허약아(心系虛弱兒), 간계허약아(肝系虛弱兒), 신계허약아(腎系虛弱兒)로 분류하고 있다. 또한 개인건강기록(Personal Health Record, PHR)을 이용한 허약아 정보 수집 연구⁴⁾, 허약아의 성장 지표⁵⁾, 허약아의 주의력 간섭검사 결과 분석 연구⁶⁾, 심계허약아의 총 문제행동 점수⁷⁾, 자율신경계 특성⁸⁾, 허약아의 알레르기 질환⁹⁾ 등 허약아의 특성을 다각도로 분석하려는 연구도 이루어졌다. 그러나 선행 연구에서 활용된 허약아 설문지들은 문항 수와 채점 방식이 통일되지 않았고, 임상에서는 여전히 한 의사의 경험과 직관에 기반한 진단이 주를 이루고 있어, 허약아 진단의 객관성과 재현성에 한계가 있다는 지적이 지속되어 왔다.

이러한 문제를 해결하고 소아 허약을 보다 체계적이고 객관적으로 평가하기 위해 2019년 채 등은 간, 심, 비, 폐, 신 각 6문항씩 총 30문항의 소아 허약 검사(Pediatric Weakness Scale, PWS)를 개발했으며 타당도가 검증되었다¹⁰⁾. 그러나, PWS 하위 척도 간 상관관계를 분석한 결과, 폐 - 신 허약지수 간 상관계수가 0.171인 것을 제외하고는 대부분 상관계수가 0.300 이상으로 오장 간 허약이 상호 독립적이지 않음을 시사하였다. 이는 기존 오장허약아 개념의 한계를 보여주며, 오장 간 관계성을 반영한 새로운 허약아 분류 체계의 개발 및 연구의 필요성을 제기한다.

최근에는 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 및 머신러닝 기술이 한의학을 포함한 다양한 의학 분야에

활용되면서, 대규모 데이터를 기반으로 증상의 패턴과 구조를 분석하고 복합적인 관계를 도출하는 연구가 활발히 진행되고 있다¹¹⁾. 이러한 기술은 전통적인 오장 중심의 허약아 분류 체계를 데이터 기반으로 정교화하고, 보다 객관적인 진단 도구로 발전시킬 수 있는 가능성을 제공한다.

본 연구에서는 PWS 30문항에 대한 요인 분석을 통해 설문 내재 구조를 규명하고, 도출된 요인 점수를 바탕으로 계층적 군집 분석을 시행하여 허약아를 유형별로 분류하였다. 더 나아가, PWS 요인 점수를 입력값으로 사용하여 각 아동이 어떤 군집에 속할지 예측하는 머신러닝 모델을 개발하였다. 이를 통해 기존 오장허약아 진단 체계와 현대 데이터 분석 기법을 접목해 허약아의 진단 및 관리에서 보다 정밀하고 정확한 체계를 구축하고자 하였다.

II. Method

1. 연구 설계

본 연구는 PWS 답변 패턴을 통해 허약아의 증상 패턴을 분석하고 이를 군집화하여, 궁극적으로 PWS 30문항을 기반으로 한 머신러닝 예측 모델을 개발하기 위한 단면 연구이다. 본 연구는 2023년 경희대학교 기관생명윤리위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받아 진행된 허약아 설문지 절단값 산정 연구(KHSIRB-23-205)의 데이터를 2차 가공하여 분석한 연구로 개인 식별 정보가 포함되지 않아 경희대학교 기관생명윤리위원회(IRB)의 심의 면제 승인을 받아 진행되었다(KHSIRB-25-152).

2. 연구 대상

본 연구의 대상자는 2023년 11월 9일부터 11월 17일까지 설문조사 기관(Embrain research) 의뢰를 통해 모집되었으며, 만 6세 - 9세 사이 초등학교 자녀를 둔 보호자 326명이 최종적으로 참여하였다. 본 연구의 내용, 목적을 숙지 후, 개인정보 수집, 이용 및 자발적 참여 동의한 보호자 중 연구 대상 선정 기준을 만족하는 대상자가 300명 이상이 될 때까지 모집하였다.

만약 보호자의 자녀가 연구 대상 제외 기준에 해당하는 경우 설문조사 중 자동으로 탈락하도록 하였다.

제의 기준은 다음과 같다. 1) 자녀가 염색체 이상 질환을 가진 경우, 2) 자녀가 비정상적인 외형 (두개 안면 부조화, 고관절 이형성증 등)을 가진 경우, 3) 자녀가 내분비 질환 (소아 당뇨, 고지혈, 고혈압 등)을 가진 경우, 4) 자녀가 성장을 저해하는 질환 (선, 후천적 뇌하수체 질환 등으로 인한 성장호르몬 결핍 등)을 가진 경우, 5) 자녀가 치료를 요하는 임상적으로 유의한 급성 또는 만성 질환 (심뇌혈관계, 면역계, 호흡기계, 간담도계, 신장 및 비뇨기계, 신경정신계, 근골격계, 염증성 및 혈액, 종양성, 위장관계 질환 등)을 가진 경우, 6) 기타 사유로 연구자가 부적합하다고 판단한 자.

설문조사를 통해 일반적 특성과 총 4가지 설문지의 응답을 수집하였다. 일반적 특성은 성별, 연령, 신장, 체중, 출생 시 체중, 재태주수, 부모의 신장, 최근 1년간 호흡기감염의 빈도와 평균 이환 일수를 수집했다. 대상자의 신장과 체중은 2017년 소아청소년 성장도표¹²⁾를 통해 연령별 백분위수가 산출되었다. 설문지는 소아 허약 검사, 다차원 피로 척도, 한국판 부모용 아동 행동평가척도, 한국형 아동 섭취 행동 질문지를 시행했다. 소아 허약 검사 (PWS)는 2019년 채 등¹⁰⁾이 개발하여 타당도를 검증한 설문지로, 간, 심, 비, 폐, 신의 허약 정도를 각각 측정할 수 있는 6문항씩 총 30문항으로 구성되었다. 30번 문항의 경우, 기존 연구에서 'Poor adaption to environmental changes'로 설정하였으나, 이번 연구에서는 역 문항으로 '환경의 변화에 잘 적응한다'로 설정하여 조사의 신뢰성을 높이고자 했다. 각 장부에 따라 해당하는 문항의 점수를 합하여 장부별 허약 지수를 산출했으며, 모든 문항의 점수를 합하여 총 허약 지수를 산출했다. 다차원 피로 척도 (Multidimensional Fatigue Scale, MFS)¹³⁾는 Varni 등¹⁴⁾이 아동을 대상으로 개발한 The PedsQLTM Multidimensional Fatigue scale을 기반으로 하고 있으며, 연구자와 한의사 2인이 한국어로 번역하고 이를 다시 한의사 2인이 역번역한 후 합의 도출한 설문지이다. 본 설문지는 총 18문항으로 구성되어 있으며, 각 문항 당 5점 리커트 척도로 구성되었다. MFS의 값을 점수화 할 때, 0점은 100, 2점은 75, 3점은 25, 4점은 0으로 변환한 뒤, 전체의 평균값과 하위척도 별 평균값을 각각 산출했다. 피로감을 크게 느낄수록 MFS의 점수는 낮아진다. 한국판 부모용 아동 행동평가척도 (Korean Child Behavior Checklist, K - CBCL)는 Achenback와 Edeldrock에 의해 제작된 것을 오 등¹⁵⁾에 의해 한국판으로 표준화하여 사용하고 있다. 본 설문지는 총 119문항으로 구성되어 있으며, 각 문항

당 3점 리커트 척도로 구성되었다. 문제행동 총점은 모든 척도를 합산하여 산출할 수 있다. 본 연구에서는 K - CBCL 분석 기관 (휴노)에 의뢰하여 문제행동 총점의 백분위, T점수를 산출했다. 한국형 아동 섭취 행동 질문지 (Korean version of the Children's Eating Behavior Questionnaire, K - CEBQ)는 Wardle 등¹⁶⁾에 의해 제작된 설문지로, 정 등¹⁷⁾에 의해 한국판으로 표준화하여 사용하고 있다. 본 설문지는 총 35문항으로 구성되어 있으며, 각 문항당 5점 리커트 척도로 구성되었다. K - CEBQ의 하위척도로는 음식 접근 척도 (Food Approach)와 음식 기피 척도 (Food Avoidance)가 있다.

3. 분석 방법

1) 일반적 특성의 통계 분석 및 T 점수 변환

통계 분석에는 Statistical Package for social sciences for Windows (SPSS) version 19.0이 사용되었다. 일반적 특성과 설문 항목의 응답에 대한 평균과 표준편차 (Standard Deviation, SD)를 산출했으며, 표준화 및 항목 간 비교를 위해 T 점수로 변환하여 분석에 활용하였다. T 점수는 원점수를 평균 50, 표준편차 10의 정규 분포로 변환한 지표로, 집단 내 상대적 위치를 판단하는데 유용하다. 일반적 특성의 성별에 따른 차이를 분석하기 위해 독립 표본 t -test를 시행하였다.

2) 요인 분석

소아 허약 검사 (PWS)의 설문 내재 구조를 분석하기 위해 요인 분석 (Factor Analysis)을 시행하였다. PWS는 간, 심, 비, 폐, 신 각각 6문항씩 30문항으로 이루어져 있으나, 각 문항이 통계적으로 어떠한 잠재 구조로 묶이는지 탐색하기 위해 주축 요인 분석 (Principal Axis Factoring)을 사용하고, Varimax 회전을 적용하였다. 고유값이 1 이상인 요인을 기준으로 요인 수를 결정하였으며, 요인 부하량을 통해 각 요인의 의미를 도출하였다. 30문항의 고차원 데이터를 그대로 활용할 경우 모델의 과적합 가능성이 높고 해석이 어려워지며 이후 군집 분석 및 예측 모델에 활용하기에 비효율적이므로¹¹⁾, 본 연구에서는 요인 분석을 통해 문항들이 내포한 공통 요인을 통계적으로 추출하고, 이를 차원 축소된 정제된 변수로 활용하여 이후의 군집 분석 및 예측 모델의 입력 변수로 활용하였다. 또한, 도출된 요인 간의 상관성을 확인하기 위하여, 요인 점수 간 상관계수를 산출하였다. 요인 점수 간 상관계수는 Pearson 상관분

석을 통해 산출하였으며, 히트맵 (Heatmap) 시각화를 통해 요인 간 상관성 구조를 확인하였다.

3) 군집 분석

연구 대상자 326명의 30문항 데이터를 요인 분석을 통해 도출된 요인 점수로 변환한 후 계층적 군집 분석 (Hierarchical clustering)을 시행하였다. 개별 데이터 간 거리 (Euclidean distance)를 기준으로 가장 유사한 개체를 순차적으로 병합하였으며, 군집 간 결합 방식은 Ward 연결법 (Ward's linkage method)을 적용하였다. 계층적 군집 분석의 결과는 덴드로그램 (Dendrogram)을 통해 시각화하였으며, 최적 절단값 설정 후 Cluster 개수를 도출하였다. 각 Cluster 별로 요인 점수의 평균을 산출하여 히트맵 (Heatmap)으로 시각화하고, 독립표본 t - test를 시행하여 통계적으로 유의미한 요인 점수의 차이를 확인했다. 또한 Cluster 별로 PWS의 총점, 간, 심, 비, 폐, 신 하위척도의 평균, 표준편차를 산출하고, MFS, K - CBCL의 문제행동 총점, K - CEBQ의 음식 접근 척도와 음식 기피 척도, 최근 1년간 상기도 감염의 빈도, 하기도 감염의 빈도, 호흡기 감염의 평균 이환 일수의 T점수와 신장, 체중, BMI 백분위수의 평균, 표준편차를 산출하여, 각 Cluster의 임상적 특징을 해석하였다.

4) 머신러닝 예측 모델

PWS 30문항을 통해 산출한 요인 점수를 독립변수로, 계층적 군집 분석의 결과로 도출된 Cluster를 종속변수로 하여, Cluster 분류 예측 모델을 개발하였다. 본 연구에서는 대표적인 지도 학습 기반 머신러닝 알고리즘인 extremely randomized trees (ERT), linear support vector machine (SVM), nonlinear SVM, K - nearest neighbor (KNN), multinomial logistic regression (Mlogit)을 사용하였다. 모든 모델의 하이퍼파라미터 튜닝에는 설정된 매개변수 범위 내에서 가능한 모든 조합을 탐색하여 최적의 조합을 선택하는 그리드 서치 (Grid search)를 사용하였다. 모델의 성능 검증을 위해 k - fold 교차검증 (k = 10)을 실시하였으며, 이는 전체 데이터를 10개의 하위 집단으로 나눈 후, 각 집단을 한 번씩 테스트 세트로 사용하고 나머지 9개 집단을 훈련 세트로 활용하여 총 10회 반복을 통해 모델을 평가하는 방식이다⁸⁾. 평가지표로는 정확도 (accuracy), 정밀도 (precision), 재현율 (recall), F1 - score를 평가하였다⁹⁾. 요인 분석, 군

집 분석, 머신러닝 모델은 Python 3.11.12 기반으로 구현되었다.

III. Result

1. 인구통계학적 특성 및 소아 허약 검사

연구 대상자 326명 중 남자는 170명 (52.1%), 여아는 156명 (47.9%)으로 나타났다. 연구 대상자의 평균 연령은 7.97 ± 0.88 세로 나타났으며, 연령, 신장, 체중에서 성별에 따른 통계적으로 유의미한 차이는 관찰되지 않았다. MFS 총점의 평균은 77.30 ± 14.29 로 나타났다. 이는 Kobayashi 등²⁰⁾의 연구에서 보고된 건강아의 평균 (77.6 ± 16.0)과 유사하며, 만성 질환을 앓는 환아의 평균 (72.3 ± 17.7)보다는 높은 수치로, 본 연구에서 기질적 질환이 없음에도 불구하고 쉽게 피로를 느끼는 아동을 모집하고자 한 연구 목적과 부합한다. K - CEBQ의 음식 접근 척도의 평균은 35.60 ± 11.38 , 음식 회피 척도의 평균은 44.04 ± 9.48 로 나타났다. 이는 고등²¹⁾의 연구에서 보고된 음식 접근 척도의 절단값 (29.5점)보다 높고, 음식 회피 척도의 절단값 (58.5점)보다 낮은 값으로, 연구 대상자 대다수가 정상적인 식습관 범주에 속함을 시사한다. 최근 1년간 상기도감염의 횟수는 2.16 ± 2.33 회, 하기도감염의 횟수는 1.20 ± 1.56 회, 호흡기감염의 평균 이환 일수는 5.30 ± 3.51 으로 조사되었다. Wang 등²²⁾, 한의소아청소년학²³⁾에서 제시한 재발성 호흡기감염 (Recurrent respiratory tract infections, RRTI)의 기준인 1년간 상기도감염 5회 이상, 하기도감염 2회 이상의 기준 미만인 것으로 나타났다. 이러한 결과 역시 본 연구가 기질적 질환이 없는 일반 소아 군을 모집하고자 했던 설계 의도에 부합하며, 실제 모집된 대상자 군이 임상적으로 건강한 일반 소아 군이었음을 뒷받침한다. MFS, K - CEBQ, 최근 1년간 호흡기감염의 지표에서 역시 성별에 따른 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았다 (Table 1).

연구 대상자의 소아 허약 검사 (PWS)의 총점의 평균은 25.59 ± 16.51 로 나타났으며, 남아에서 27.52 ± 16.58 , 여아에서 23.48 ± 16.22 로 나타나 남녀 간 통계적으로 유의미한 차이가 관찰되었다 ($p = 0.027$). 이는 비계 허약지수가 남아에서 4.96 ± 3.91 , 여아에서 3.93 ± 3.75 로 남아가 통계적으로 유의미하게 높은 값을 보였으며 ($p = 0.016$), 폐계 허약지수가 남아에서 $5.73 \pm$

Table 1. The General Demographic Characteristics

	Boys	Girls	Total
Number	170	156	326
Age	7.98 ± 0.88	7.96 ± 0.87	7.97 ± 0.88
Height (cm)	129.90 ± 8.75	129.75 ± 8.95	129.83 ± 8.83
Height percentile (%)	51.68 ± 32.48	53.52 ± 31.86	52.56 ± 32.15
Weight (kg)	29.43 ± 6.61	28.72 ± 6.30	29.09 ± 6.46
Weight percentile (%)	46.99 ± 31.03	49.44 ± 30.86	48.16 ± 30.93
Total fatigue score (MFS)	76.29 ± 13.64	78.41 ± 14.94	77.30 ± 14.29
Food approach (K - CBEQ)	36.65 ± 11.89	34.45 ± 10.72	35.60 ± 11.38
Food avoidance (K - CEBQ)	44.63 ± 9.97	43.39 ± 8.90	44.04 ± 9.48
Frequency of URTI	2.21 ± 2.35	2.11 ± 2.32	2.16 ± 2.33
Frequency of LRTI	1.18 ± 1.58	1.23 ± 1.55	1.20 ± 1.56
Duration of respiratory infections	5.28 ± 3.49	5.33 ± 3.54	5.30 ± 3.51

MFS, PedsQL™ Multidimensional Fatigue Scale; K - CBEQ, Korean version of the Children's Eating Behavior Questionnaire; URTI, Upper Respiratory Tract Infection; LRTI, Lower Respiratory Tract Infection

4.36, 여아에서 4.53 ± 4.14 로 남아가 통계적으로 유의미하게 높은 값을 보였기 때문에 사료된다 ($p = 0.011$). 이에 반해, 간계, 심계, 신계 허약지수의 평균은 각각 3.87 ± 3.64 , 5.25 ± 4.20 , 6.85 ± 3.84 로 나타났으며, 남녀 간 통계적으로 유의미한 차이가 관찰되지 않았다 ($p > 0.05$) (Table 2).

2. 요인 분석

소아 허약 검사 (PWS) 30개 문항에 대해 주축 요인 분석 (Principal Axis Factoring)을 시행하고 Varimax 회전을 적용한 결과, 고유값 1.0 기준으로 총 7개의 요인이 도출되었다. 각 문항의 요인 부하량은 Table 3과 같으며, 각 요인에서 0.4 이상의 높은 요인 부하량을 보인 문항은 Table 4와 같다. Factor 1은 '감기에 자주 걸리고, 걸리면 잘 낫지 않는다.', '찬바람을 맞거나 찬 음식만

먹어도 기침을 한다.', '밤과 새벽에 기침을 자주 한다.' 등 폐계 허약문항이 높은 요인 부하량을 보였다. Factor 1은 잦은 감기, 기침, 한랭 자극에 대한 민감성 등 호흡기의 취약성과 면역력 저하와 관련된 요인으로 해석된다. Factor 2는 '자주 어지럽고 머리가 아프다.', '설사를 자주 한다.', '손톱이나 발톱이 약해서 갈라지거나 부러진다.', '손발이 찬 편이다.' 등 간계, 비계, 신계 허약문항이 고루 나타났다. Factor 2는 어지럼증, 잦은 설사, 수족냉, 손톱과 발톱의 약화 등 신체 기능의 전반적 저하를 시사하는 요인으로 보인다. Factor 3는 '눈이 자주 충혈된다.', '눈병이 자주 생긴다.', '눈의 피로를 빨리 느낀다.' 등 간계 허약문항이 높은 요인 부하량을 보였다. Factor 3는 안구 충혈, 안질환, 눈의 피로와 관련된 문항이 포함되어 안구의 피로 혹은 감염에 취약한 상태를 반영하는 요인으로 해석된다. Factor 4는 '화를 잘

Table 2. Mean Scores of the Pediatric Weakness Scale and its Subscales

PWS	Boys	Girls	Total
Total score of PWS	27.52 ± 16.58*	23.48 ± 16.22*	25.59 ± 16.51
Total score of Liver weakness	4.11 ± 3.59	3.60 ± 3.69	3.87 ± 3.64
Total score of Heart weakness	5.57 ± 4.29	4.90 ± 4.09	5.25 ± 4.20
Total score of Spleen weakness	4.96 ± 3.91*	3.93 ± 3.75*	4.47 ± 3.86
Total score of Lung weakness	5.73 ± 4.36*	4.53 ± 4.14*	5.15 ± 4.30
Total score of Kidney weakness	7.15 ± 3.87	6.53 ± 3.80	6.85 ± 3.84

PWS, Pediatric Weakness Scale; *, p - value < 0.05

낸다.', '예민하고 신경질적이다.', '집중력이 떨어지고 산만하다.' 등 심계 허약문항이 높은 요인 부하량을 보였다. Factor 4는 정서적 불안정성 및 주의력 저하와 관련된 문항들이 포함되어 심리, 정서적 취약성을 반영하는 요인으로 볼 수 있다. Factor 5는 '배가 자주 아프다.', '배에 가스가 자주 찬다.', '설사를 자주 한다.' 등 비계 허약문항이 높은 요인 부하량을 보였다. Factor 5는 복통, 창만, 설사 등 소화기 증상과 관련되어 소화기의 취약성을 반영하는 요인으로 해석된다. Factor 6는 '또래에 비해 체격이 왜소하다.', '밥맛이 없고 편식을 하며 먹는 양이 적다.' 등 신체 허약문항이 높은 요인

부하량을 보였다. Factor 6는 왜소한 체격, 식욕부진, 편식 등 성장 및 영양 상태의 부진을 나타내는 요인으로 해석된다. Factor 7은 '자다가 자주 깨고 울며 보챈다.', '구토나 구역질을 자주 한다.', '잠꼬대를 많이 하거나 자다가 자주 놀란다.'는 문항이 높은 요인 부하량을 보였다. Factor 7은 수면 중 빈각, 잠꼬대, 구토나 구역질 등 수면 및 신경계의 예민성과 관련된 요인으로 해석된다 (Table 3, 4).

요인 분석을 통해 산출된 총 7개의 요인 간 상관성을 확인하기 위하여 요인 점수 간 Pearson 상관계수를 산출하였고, 그 결과를 히트맵으로 시각화하였다 (Figure 1).

Table 3. Factor Loadings of 30 Items of Pediatric Weakness Scale

PWS	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Frequent congestion of the eyes	0.15	0.07	0.77*	0.18	0.2	0.11	0.01
Feeling fatigue in the eyes	0.28	0.23	0.59*	0.22	0.14	0.14	0.05
Frequent eye disease	0.28	0.24	0.62*	0.05	0.03	0.16	0.07
Frequent cramps and spasms	0.29	0.3	0.34	0.15	0.16	0.06	0.2
Frequent fallings and sprains	0.32	0.42*	0.25	0.25	0.15	0.03	0.21
Weak nails and toenails	0.26	0.46*	0.34	0.12	0.09	0.13	0
Frequent sleep talking and crying during sleep	0.35	0.08	0.26	0.26	0.25	0.21	0.28
Frequent waking and crying during sleep	0.34	0.23	0.18	0.12	0.3	0.24	0.57*
Easily gets angered	0.24	0.08	0.15	0.84*	0.1	0.15	0.09
Hard to concentrate and easily distracted	0.16	0.27	0.12	0.55*	0.16	0.13	0.06
Frequent nail bites	0.07	0.36	0.17	0.36	0.07	-0.02	0.07
Sensitive and nervous	0.16	0.29	0.13	0.64*	0.13	0.18	0.23
Frequent abdominal pains	0.25	0.23	0.21	0.18	0.64*	0.13	-0.06
Frequent gas on the stomach	0.28	0.34	0.21	0.18	0.55*	0.16	0.06
Frequent nausea and vomiting	0.4*	0.38	0.19	0.2	0.15	0.13	0.34
Frequent diarrhea	0.23	0.52*	0.18	0.17	0.44*	0.12	0.16
Frequent dizziness and headache	0.06	0.6*	0.23	0.24	0.27	0.05	0.24
Frequent motion sickness	0.19	0.41*	0.05	0.12	0.07	0.08	0.06
Easily gets colds and does not get well	0.7*	0.05	0.13	0.15	0.26	0.11	-0.07
Frequent coughing at night and dawn	0.55*	0.19	0.34	0.22	0.2	0.08	0.08
Coughing due to cold wind and food	0.66*	0.26	0.17	0.21	0.02	0.21	0.06
Frequently develops sputum	0.51*	0.34	0.28	0.17	0.15	0.11	-0.06
Complications (sinusitis, otitis media, and asthma) after experiencing colds	0.44*	0.38	0.23	0.08	0.17	0.04	0.11
Frequently swollen tonsils	0.5*	0.31	0.29	0.03	0.11	0.06	0.02
Smaller than their peers	0.06	-0.01	0.14	0.05	0.07	0.67*	-0.03
No appetite and picky eating	0.14	0.2	0.07	0.18	0.09	0.63*	0.04
Vulnerable to cold weather	0.41*	0.42*	0.04	0.26	0.11	0.3	-0.17
Cold hands and feet	0.24	0.45*	0.09	0.18	0.31	0.32	-0.11
Slow growth of teeth	0.22	0.32	0.15	0.13	0.09	0.29	0.03
Good adaption to environmental changes (R)	-0.05	0.02	-0.01	0.05	-0.04	-0.05	0.28

PWS, Pediatric Weakness Scale; F, Factor; R, Reverse - scored items; *, Factor loading ≥ 0.40

Factor 1과 Factor 2 ($p = 0.04$), Factor 2와 Factor 5 ($p < 0.01$)를 제외한 나머지 Factor 간에는 통계적으로 유의미한 상관관계가 관찰되지 않았다. 요인 간 상관계수는 모두 0.15 이하의 낮은 수준이었다. 이는 도출된 요인들이 상호 독립적인 관계를 가지거나 상관관계를 가지더라도 낮은 정도의 상관관계를 가지고 있음을 시사한다. 이러한 결과는 요인 분석을 통한 차원 축소 과정이 효과적으로 작동하여 각 요인이 서로 다른 특성을 반영하고 있음을 보여주며, 이후 군집 분석 및 예측 모델링 단계에서 개별 요인을 독립적인 변수로 활용할 수 있음을 의미한다.

Table 4. Key Items by Factor in the Pediatric Weakness Scale (Factor Loading ≥ 0.4)

Factor	Pediatric Weakness Scale	Factor loading
Factor 1	Easily gets colds and does not get well	0.7
	Coughing due to cold wind and food	0.66
	Frequent coughing at night and dawn	0.55
	Frequently develops sputum	0.51
	Frequently swollen tonsils	0.5
	Complications (sinusitis, otitis media, and asthma) after experiencing colds	0.44
	Vulnerable to cold weather	0.41
	Frequent nausea and vomiting	0.4
Factor 2	Frequent dizziness and headache	0.6
	Frequent diarrhea	0.52
	Weak nails and toenails	0.46
	Cold hands and feet	0.45
	Vulnerable to cold weather	0.42
	Frequent fallings and sprains	0.42
Factor 3	Frequent motion sickness	0.41
	Frequent congestion of the eyes	0.77
	Feeling fatigue in the eyes	0.62
Factor 4	Frequent eye disease	0.59
	Easily gets angered	0.84
	Sensitive and nervous	0.64
Factor 5	Hard to concentrate and easily distracted	0.55
	Frequent abdominal pains	0.64
	Frequent gas on the stomach	0.55
Factor 6	Frequent diarrhea	0.44
	Smaller than their peers	0.67
Factor 7	No appetite and picky eating	0.63
	Frequent waking and crying during sleep	0.57

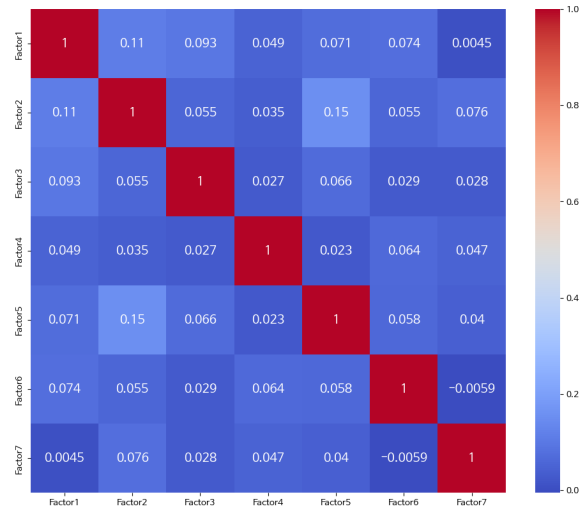


Figure 1. Correlation matrix between factor scores derived from Pediatric Weakness Scale

3. 군집 분석

요인 분석을 통해 산출된 7개의 요인 점수를 바탕으로 계층적 군집 분석 (Hierarchical Cluster Analysis)을 수행하였고, 군집 분석 결과는 덴드로그램으로 시각화하였다. 계층적 군집 분석의 시각화 결과와 임상적 해석 가능성을 종합적으로 고려하여, 덴드로그램에서 절단값을 10으로 설정하였고, 총 10개의 Cluster가 도출되었다 (Figure 2). 덴드로그램상 갈색으로 표시된 군집은 Cluster 1, 보라색 군집은 Cluster 2, 빨간색 군집은 Cluster 3로 나타났다. 초록색 군집은 덴드로그램의 우측에서부터 순서대로 Cluster 4, 5, 6, 노란색 군집은 우측에서부터 Cluster 7, 8, 9, 10으로 나타났다. 특히 초록색 군집 Cluster 4 - 6과 노란색 군집 Cluster 7 - 10은 각각 유사한 요인 점수 패턴을 공유하여 상위 수준에서의 그룹화가 가능한 것으로 관찰되었다. 이는 일부 Cluster들이 비교적 명확한 구조적 유사성을 가지며, 군집 간 계층적 구성이 존재함을 시사한다.

덴드로그램에서 도출된 10개의 Cluster에 대해 군집 각각의 평균 요인 점수를 산출하여 히트맵을 통해 시각화하였다 (Figure 3). 각 Cluster는 서로 상이한 요인 점수 패턴을 보였으며, 이를 통해 Cluster 간 뚜렷한 특성 차이를 확인할 수 있었다. Cluster 1은 Factor 1부터 7까지 모두 낮은 값을 보였다. Cluster 2는 Factor 1, 2, 5, 7에서 0.5 이상의 높은 양의 값을 보였다. Cluster 3는 Cluster 4 - 10과의 독립 표본 t - test 시 Factor 3가 1.47로 통계적으로 유의미하게 높으며, Factor 4, 5가 유의미하게 낮게 나타났다 ($p < 0.05$). Cluster 4 - 6과

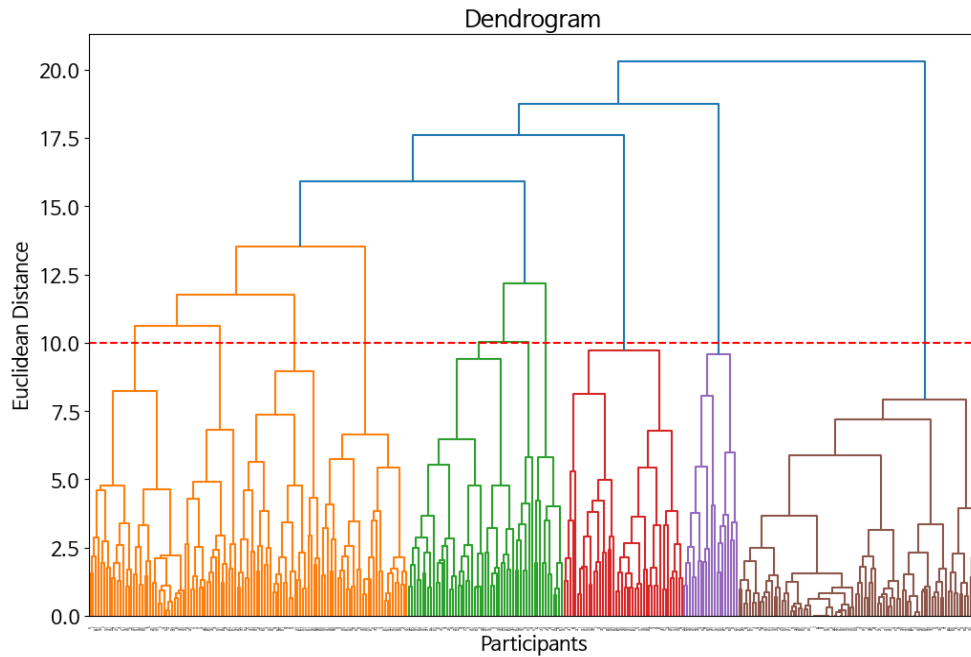


Figure 2. Dendrogram from hierarchical cluster analysis based on factor scores

Cluster 7 - 10은 독립 표본 t - test 시 Factor 1, 3, 4, 5, 6, 7에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다 ($p < 0.05$). Cluster 4 - 6은 Factor 4, 6에서 높은 값을, Cluster 7 - 10은 Factor 1, 3, 5, 7에서 높은 값을 가졌다. 서로 유사한 점수 패턴을 공유하는 Cluster 4 - 6에서도 Cluster 4는 Factor 4가 특히 높게 나타났고, Factor 5 - 6은 Factor 6가 높다는 특성을 공유하면서도 Factor 1과 Factor 4의 점수에서 차이를 보였다. Cluster 7은 Cluster 8 - 10과의 독립 표본 t - test 시 Factor 1, 3, 4, 5, 7에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다 ($p < 0.05$). 특히

Cluster 7은 Cluster 8 - 10에 비해 Factor 1이 높게 나타났다. Cluster 8은 Factor 5, Cluster 9는 Factor 7, Cluster 10은 Factor 2가 특징적으로 높게 나타났다.

덴드로그램에서 도출된 10개의 Cluster에 대해 군집 각각의 소아 허약 검사 (PWS)의 총점과 하위 척도 별 평균 점수를 산출하였고 (Table 5), MFS, K - CBCL의 문제행동 총점, K - CEBQ의 음식 접근 척도와 음식 기피 척도, 최근 1년간 상기도 감염의 빈도, 하기도 감염의 빈도, 호흡기 감염의 평균 이환 일수의 T 점수와 신장, 체중, BMI 백분위수의 평균, 표준편차를 산출하여 다차원 건강 지표를 나타내었다 (Table 6).

Cluster 1은 모든 요인과 PWS에서 낮은 값을 보였으며, 다차원 건강 지표의 대다수에서 평균 혹은 평균보다 양호한 값이 나타나 '건강아' 군으로 볼 수 있다. Cluster 2는 Factor 1, 2, 5, 6, 7에서 높은 값을 나타냈으며, PWS의 모든 장부에서 높은 값을 나타냈다. 다차원 건강 지표의 대다수에서 평균보다 부진한 값이 나타나, 모든 장부가 허약하고 기능이 떨어지는 '고도 복합 허약아' 군으로 해석할 수 있다. Cluster 3는 안구의 질환과 관련된 Factor 3과 PWS의 간계, 폐계 허약지수가 높게 나타났다. 다차원 건강 지표에서는 상, 하기도감염의 빈도는 평균보다 높고, 피로도는 평균 수준이었다. 이는 피로에 의해 눈이 충혈되는 상황이 아니라 호흡기감염과 알레르기 질환으로 안구 질환에 취약한 '간

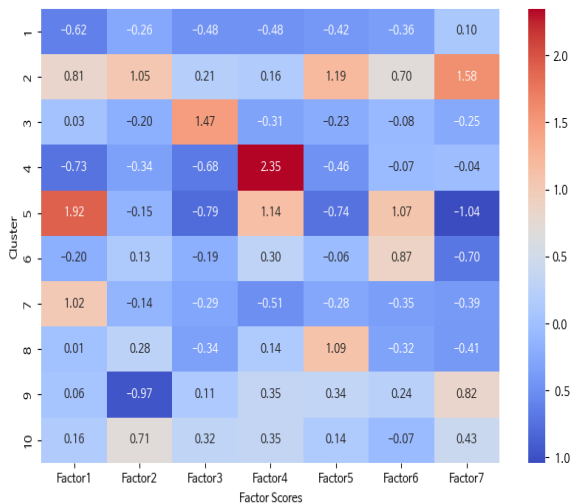


Figure 3. Heatmap of mean factor scores by cluster

Table 5. Comparison of Mean Scores of Pediatric Weakness Scale by Cluster

	Cluster10	Cluster9	Cluster8	Cluster7	Cluster6	Cluster5	Cluster4	Cluster3	Cluster2	Cluster1
PWS total	38.3 ± 9	25.8 ± 7.2	29.4 ± 15.4	23.6 ± 9.7	29 ± 9	42.6 ± 7.4	23.7 ± 11.5	29.2 ± 14.5	56.4 ± 16	8.5 ± 5
PWS Liver	6.7 ± 2.5	3.5 ± 1.9	3.6 ± 2.9	3.2 ± 2.6	3.9 ± 2.6	4.4 ± 2.3	1.5 ± 1.4	7.4 ± 3.3	8.7 ± 4.4	0.6 ± 1.1
PWS Heart	8.2 ± 2.7	7.3 ± 3.8	5.7 ± 3.8	3.5 ± 2.9	5.7 ± 3.2	8.9 ± 1.2	10.4 ± 3.8	4.7 ± 3.2	12.1 ± 4.4	1.7 ± 1.7
PWS Spleen	7.4 ± 2.3	4.1 ± 1.8	7.6 ± 3.6	3.3 ± 2.6	4.5 ± 2.2	4.7 ± 2.4	3.3 ± 3.5	4.3 ± 3.1	12.2 ± 3.2	1.2 ± 1.7
PWS Lung	7.5 ± 2.1	4.6 ± 3.1	5.7 ± 4.1	7.8 ± 3.1	4.5 ± 2.5	11.7 ± 2.5	2.6 ± 1.9	6.6 ± 4.5	11.6 ± 4.2	1.1 ± 1.5
PWS Kidney	8.5 ± 2.5	6.5 ± 2.2	6.8 ± 3.6	5.7 ± 2.4	10.4 ± 2.9	12.9 ± 4.6	6.1 ± 4.6	6.3 ± 3.5	11.9 ± 3.6	3.9 ± 2

PWS, Pediatric Weakness Scale

Table 6. Comparison of Mean Scores of Multidimensional Health Indicators by Cluster

	Cluster10	Cluster9	Cluster8	Cluster7	Cluster6	Cluster5	Cluster4	Cluster3	Cluster2	Cluster1
Number	35	19	31	32	39	7	11	44	20	88
MFS - T	43.6 ± 5.6	50.4 ± 7.6	49.6 ± 8.7	54.6 ± 6.3	48 ± 7.7	41.7 ± 8	48.3 ± 9.6	49.3 ± 9.8	33.3 ± 11.9	56.8 ± 6.9
TBP - T	53.2 ± 13.3	50 ± 13.2	51.8 ± 11.8	45.7 ± 7.2	51.1 ± 7.5	59.1 ± 3.3	57.5 ± 12.4	49.6 ± 15	67.3 ± 15.9	43.2 ± 8.7
FAP - T	54 ± 12.3	52 ± 9.9	50.8 ± 10.3	51.4 ± 9.5	46 ± 8.3	51.2 ± 12	48.8 ± 12.5	48.1 ± 7.4	54.8 ± 12.4	48.8 ± 9.1
FAV - T	52.2 ± 9.4	51.9 ± 9.2	48.1 ± 9.4	46.2 ± 8.8	55.8 ± 10.6	65.6 ± 12.6	46.7 ± 10.2	49.3 ± 7.9	58.4 ± 11.1	45.8 ± 7.4
URTI - T	49.8 ± 8	49.8 ± 11.7	49 ± 10.6	54.9 ± 13.1	51 ± 11.9	55.4 ± 6.9	50.9 ± 5.8	53.2 ± 11.3	50.4 ± 9.1	46 ± 6.1
LRTI - T	49.8 ± 8.4	51.1 ± 9.1	49.8 ± 9.2	51.9 ± 10.4	50.2 ± 9.1	51.5 ± 11	48.7 ± 7.6	53.2 ± 12.2	55.4 ± 11.3	46.4 ± 9
DRI - T	48.8 ± 5.2	50.1 ± 8.9	49.9 ± 7.8	53.5 ± 8.7	49.4 ± 6.4	67.5 ± 26.8	48.1 ± 5.6	50.5 ± 8.5	55.6 ± 20.2	46.8 ± 7.4
Height (%)	61.6 ± 30.6	51.6 ± 25.5	62.1 ± 28.2	67.4 ± 28.8	40.3 ± 31.6	27.5 ± 14.3	46 ± 36.5	56.6 ± 33	47.6 ± 38.7	47.8 ± 31.9
Weight (%)	50.2 ± 26.6	45.7 ± 26.8	55.1 ± 28.6	69.4 ± 26.6	24.6 ± 24	25.4 ± 26.3	47.3 ± 37.5	54.1 ± 30.8	50.1 ± 36.7	46.7 ± 29.9
BMI (%)	43.6 ± 28.8	42.8 ± 32.4	48.3 ± 29.8	64.9 ± 29.1	26.1 ± 28.1	31.4 ± 31.2	56.9 ± 35.1	52 ± 30.3	53.2 ± 34.2	53.5 ± 32.4

T, T score; MFS, PedsQL™ Multidimensional Fatigue Scale; TBP, Total behavior problems; FAP, Food Approach; FAV, Food Avoidance; URTI, Upper Respiratory Tract Infection; LRTI, Lower Respiratory Tract Infection; DRI, Duration of Respiratory Infections; BMI, Body Mass Index

폐 허약야로 볼 수 있다. Cluster 4는 정서적 불안정성, 주의력 저하 등을 나타내는 Factor 4와 PWS에서 심계 허약지수가 높게 나타났다. 다차원 건강 지표에서는 문제행동 총점 T 점수가 57.45점으로 높게 나타났으며, 이외의 지표는 평균 정도 수준이었다. 이에 Cluster 4는 ‘정서불안형 심계허약야로 볼 수 있다. Cluster 5는 정서적 불안정성, 주의력 저하 등을 나타내는 Factor 4와 더불어 호흡기의 취약성을 보여주는 Factor 1, 영양 상태 부진을 나타내는 Factor 6, PWS에서는 심계, 폐계, 신계 허약지수가 높게 나타났다. 다차원 건강 지표에서는 피로도가 높고, 문제행동 총점, 음식 기피, 상기도 감염의 빈도와 평균 이환 일수가 높고, 신장, 체중, BMI 백분위수가 낮게 나타났다. 이에 Cluster 5는 잦은 호흡기감염으로 면역력이 취약하며 피로도가 높고 심리 정서적으로 취약하며 성장 지표가 낮은 ‘중등도 복합 허약야로 볼 수 있다. Cluster 6는 성장 및 영양 상태의 부진을 나타내는 Factor 6가 높게, PWS에서 신계 허약지수가 높게 나타났다. K - CEBQ의 음식 접근 정도

의 T 점수가 46으로 낮게, 음식 기피 척도의 T 점수가 55.8로 높게, 신장, 체중, BMI 백분위수가 낮게 나타났다. 이에 Cluster 6는 체구가 왜소하며 식욕부진을 동반한 ‘신계허약야로 볼 수 있다. Cluster 4 - 6은 군집 간 높은 유사성을 보이지만, ‘정서불안형 심계허약야는 문제행동 총점이 높고, 성장 지표는 평균 정도의 백분위수를 보인 반면, ‘신계허약야는 문제행동 총점이 평균 정도이고, 성장 지표는 낮았다. ‘중등도 복합 허약야는 둘 사이 교집합으로 문제행동 총점도 높으며 성장 지표도 낮게 나타나는 것이 특징이었다. Cluster 7은 호흡기의 취약성을 나타내는 Factor 1과 PWS의 폐계 허약지수가 높게 나타났다. 다차원 건강 지표에서는 상기도감염의 빈도와 평균 이환 일수가 높게 나타났으나, 피로도, 문제행동 총점, 성장 지표는 양호하였다. 이는 Cluster 7이 잦은 호흡기감염으로 면역력이 취약하지만, 피로, 문제행동, 성장 지표 등에서는 문제를 찾을 수 없는 ‘폐계허약야라 볼 수 있다. Cluster 8은 소화기의 취약성을 반영하는 Factor 5와 비계 허약지수가

Table 7. Overall Classification Performance of Each Machine Learning Algorithms

Model	Precision	Recall	F1 Score	Accuracy
ERT	0.844 ± 0.052	0.831 ± 0.045	0.822 ± 0.044	0.831 ± 0.045
SVM (linear)	0.856 ± 0.082	0.844 ± 0.072	0.837 ± 0.078	0.844 ± 0.072
SVM (nonlinear)	0.888 ± 0.074	0.890 ± 0.062	0.880 ± 0.070	0.890 ± 0.062
KNN	0.878 ± 0.058	0.865 ± 0.057	0.856 ± 0.059	0.865 ± 0.057
Mlogit	0.843 ± 0.077	0.831 ± 0.070	0.823 ± 0.074	0.831 ± 0.070

ERT, Extremely Randomized Trees; SVM, Support Vector Machine; KNN, K - Nearest Neighbor; Mlogit, Multinomial Logistic Regression

높게 나타났다. 다차원 건강 지표에서는 신장, 체중 백분위수가 평균 이상이었으며, 이외의 지표는 평균 수준이었다. Cluster 8은 잦은 복통, 창만, 설사 등의 기능적 소화기 증상만을 호소하며, 식습관, 성장 지표에는 영향을 끼치지 않는 수준의 ‘비계허약아’라 볼 수 있다. Cluster 9은 수면 및 신경계의 예민성과 관련된 Factor 7과 PWS의 심계 허약지수가 높게 나타났다. 다차원 건강 지표에서는 BMI 백분위수가 평균 이하였으며, 이외의 지표는 평균 수준이었다. Cluster 9은 신경계의 예민성으로 수면 중 다소 깨는 양상을 보이지만, 그것이 피로도, 문제행동, 식습관에 영향을 미치지 않는 수준의 ‘신경과민형 심계허약아’라 볼 수 있다. Cluster 10은 신체 기능의 전반적 저하를 시사하는 Factor 2와 PWS의 간계, 심계, 신계 허약지수가 높게 나타났다. 다차원 건강 지표에서 피로도, 문제행동 총점이 평균보다 약간 높았으며, BMI 백분위수가 평균 이하로 나타났다. Cluster 10이 Cluster 2와 Cluster 5와 같이 오장 전반에 걸쳐 허약함이 나타나지만 정도가 심하지 않은 ‘경증 복합 허약아’로 분류할 수 있다.

4. 머신러닝 모델 개발

요인 분석을 통해 도출된 7개의 요인 점수를 독립 변수로, 계층적 군집 분석의 결과로 도출된 10개의 Cluster를 종속변수로 하여 Cluster 분류 예측 모델을 구축하였으며, 총 5가지 머신러닝 알고리즘 (ERT, SVM (linear), SVM (nonlinear), KNN, Mlogit)에 대해 10 - fold 교차검증을 통해 분류 성능을 비교하였다 (Table 7). SVM (nonlinear) 모델이 가장 우수한 성능을 보였으며, 정확도 (Accuracy) 0.890 ± 0.062 , 정밀도 (Precision) 0.888 ± 0.074 , 재현율 (Recall) 0.890 ± 0.062 , F1 점수 (F1 - score) 0.880 ± 0.070 으로 나타났다. 그 뒤를 이어 KNN 모델이 정확도 0.865 ± 0.057 , F1 점수 0.856 ± 0.059 로 높은 성능을 보였다. 반면 ERT 및 Mlogit 모델

은 상대적으로 낮은 성능을 보였으며, 각각의 정확도는 0.831 ± 0.045 및 0.831 ± 0.070 으로 확인되었다. SVM (linear) 역시 비교적 안정적인 성능 (정확도 0.844 ± 0.072 , F1 - score 0.837 ± 0.078)을 보였으나, SVM (nonlinear) 모델에 비해 다소 낮은 수치를 기록하였다. 이러한 결과는 PWS 요인 점수를 입력 변수로 사용할 때, 비선형 경계 기반 분류 기법이 Cluster 분류에 더욱 적합함을 시사한다.

IV. Discussion

최근 한의학을 활용한 예방 중심의 영유아 건강관리 정책이 시도되고 있다. 대한한 의사협회는 ‘어린이집 한의사 주치의’ 제도를 통해 한의사가 월 1회 이상 어린이집을 방문하여 한의약 기반의 영유아 건강 증진을 시도하였으며²⁴⁾, 보건복지부 역시 ‘영유아 대상 한의약 건강 증진 프로그램 개발’, ‘소아 성장 한의약 건강 증진 프로그램 개발’ 등의 연구 과제를 추진함으로써 치료 이전 단계에서의 예방 및 생활 관리 중심의 한의학적 개입을 제도적으로 지원하고 있다²⁵⁾. 특히, ‘보육시설 아동의 감염성 질환 예방 관리를 위한 한의사 주치의 프로그램 개발’ 연구에서는 실험군의 총 결석 및 조퇴·지각 일수의 발생률이 0.37배 감소하였고, 총 의료이용 일수는 대조군이 2.26일에서 2.46일로 증가한 반면 실험군은 2.39일에서 1.95일로 유의하게 감소하였다. 또한 학부모 대상 만족도 조사에서는 보육시설을 대상으로 한 한방 의료의 예방적 사업에 대해 높은 필요성을 인식하고 있었으며, 프로그램의 적절성에 대한 평가에서도 ‘기간이 짧았다’는 의견이 많아 더 장기적이고 정례화된 한방 건강관리 개입의 필요성을 시사하였다²⁶⁾.

한편, 현재 시행되고 있는 영유아 건강검진은 만족도가 낮고 이행률이 저조한 실정이다. 실제로 7차까지의 모든 차수를 완료한 비율은 6.64%에 불과하며, 전반적인 만족도에서 긍정 응답은 26.3%에 그쳤다²⁷⁾. 검진 비용을 본인이 부담하지 않음에도 불구하고 미수검률이 높게 나타난 원인으로는 검진 절차, 주기, 수검 편의성의 미흡, 불충분한 육아 상담 등이 있었다. 반면, 한방 영유아 건강검진에 대한 수요는 높은 것으로 나타났다. 환자의 보호자를 대상으로 한 설문조사에서 88.1%가 한방 검진이 건강관리와 육아에 도움이 된다고 응답하였으며, 한방 영유아 건강검진의 장점으로 ‘질병의 예방법에 대한 교육이 가능’이 가장 많았다²⁸⁾. 이는 보호자들이 단순한 진단이나 치료보다는 아이의 체질과 생활 습관에 맞춘 예방적이고 개별화된 건강관리 방안을 필요로 하고 있음을 시사한다. 또한, 가장 중점적으로 상담받고 싶은 항목으로는 ‘감기 등 잦은 잔병치레로 인한 허약한 부분에 대한 상담’이 1위로 꼽혔다²⁸⁾. 이에 유 등²⁷⁾은 한방 영유아 건강검진 방안으로 설문 도구를 통한 허약아 검진을 제안했다.

기존 허약아 관련 선행 연구는 문헌적 고찰²⁾, 임상적 고찰³⁾이나 자율신경계⁸⁾, 성장 지표⁵⁾, 수면 특성²⁹⁾ 등과 같은 허약아의 특성 분석 연구가 대부분이었다. 하지만 이들 연구는 허약아 진단의 기준과 방법론이 통일되어 있지 않아 임상적 활용에 어려움이 있었다. 이에 2019년 채 등¹⁰⁾은 총 30문항의 소아 허약 검사(PWS)를 개발하고 타당화 과정을 거친 바 있다. PWS는 간, 심, 비, 폐, 신의 다섯 장부의 허약을 각 6문항씩 구성하여 총 30문항으로 이루어져 있으며, 장부별 허약 정도를 점수화할 수 있는 설문 도구이다. 그러나 PWS에서 제시한 장부 간의 상관계수는 대개 0.300 이상으로 통계적으로 유의미하게 나타나 ($p < 0.01$) 실제로는 간계허약아, 심계허약아, 비계허약아 등으로 뚜렷하게 분류하기 어려운 한계를 지닌다. 본 연구는 이러한 점을 극복하고 정확하게 허약아를 진단하기 위해, 각 문항 간 통계적 연관성을 바탕으로 요인 구조를 재탐색하고, 도출된 요인을 기반으로 계층적 군집 분석을 통해 허약아 유형을 보다 객관적으로 분류하고자 하였다. 즉, 이론이나 개인의 경험이 아닌 설문 데이터 기반의 패턴 분석을 통해 허약아를 분류함으로써 보다 객관적이고 재현성 있는 허약아 진단 체계를 제시하고자 하였다.

최근 인공지능(AI) 기술의 발전은 의료 분야 전반에 걸쳐 적용 가능성을 넓히고 있으며, 한의학 분야에서

도 AI 기반 기술을 활용한 연구가 활발히 이루어지고 있다¹¹⁾. 특히 머신러닝 기법은 기존의 대규모 데이터를 기반으로 패턴을 탐색하고 규칙을 학습하여 예측하는데 강점을 지니기 때문에, 이러한 특성은 사상체질 진단과 같은 분야에서 뚜렷하게 활용되고 있다. 실제로 한의임상정보은행(Korean Medicine Data Center, KDC)의 3,891명 체질 확진자의 340개 특성을 기반으로 하는 사상체질 예측 모델 개발¹⁹⁾, 치험례 텍스트 마이닝을 통한 사상체질 진단 모델 개발³⁰⁾, 본초의 성분 분석을 통한 적합한 사상체질 예측 연구³¹⁾ 등이 보고된 바 있다. 그러나 데이터가 많다고 해서 항상 더 정확한 예측이 가능한 것은 아니다. 특성(feature)의 개수가 많은 고차원 데이터일수록 차원의 저주(curse of dimensionality) 때문에 모델의 학습 효율이 저하되고, 과적합(overfitting)의 위험이 증가할 수 있다¹¹⁾. 실제로 한의학에서도 환자의 다양한 증상과 징후를 ‘변증’이라는 방식으로 요약하고, 이를 한열(寒熱), 표리(表裏) 등 상징적인 체계로 분류하여 진단과 치료에 활용해 왔다³²⁾. 이와 같이 정보의 핵심을 추출하고 축소하는 과정은 현대 데이터 분석에서도 필수적이며, 머신러닝 모델의 성능 향상을 위해서도 효과적인 차원 축소 기법이 요구된다.

본 연구에서는 만 6세 - 9세 사이 초등학교 자녀를 둔 보호자 326명을 대상으로 PWS와 MFS, K - CBCL, K - CEBQ 등 다차원 건강 지표가 수집되었다. PWS 30문항의 응답 데이터를 기반으로 주축 요인 분석(Principal Axis Factoring)을 통해 데이터의 핵심 정보는 보존하면서도 분석 효율성과 해석 가능성을 높이고자 하였고, 그 결과 총 7가지 요인이 도출되었다. 총 7개의 요인은 호흡기와 면역력의 취약성, 신체 기능의 전반적 저하, 안구 건강, 심리 정서적 취약성, 소화기의 취약성, 성장 및 영양 상태의 부진, 수면 및 신경계의 예민성으로 관련된 요인으로 해석되었다. 326명의 PWS 응답 데이터를 7가지 요인 점수로 변환 후 계층적 군집 분석을 시행했고, 그 결과 10개의 Cluster가 도출되었다. 총 10개의 Cluster는 건강아, 고도 복합 허약아, 중등도 복합 허약아, 경도 복합 허약아, 간폐 허약아, 정서불안형 심계허약아, 신경과민형 심계허약아, 신계허약아, 폐계허약아, 비계허약아로 해석되었다. 각 Cluster의 특징은 다차원 건강 지표 분석을 통해 이루어졌으며, 각 Cluster 별 특징을 재확인할 수 있었다. 7가지 요인 점수를 독립변수로 10가지 Cluster를 분류하는 머신러닝 모델을 구축한 결과, 총 5가지 머신러닝 알고리즘 중

SVM (nonlinear) 모델이 0.890으로 가장 높은 정확도 (Accuracy)를 보여 향후 임상에서의 적용 가능성을 보였다.

본 연구에서는 소아 허약 검사 (PWS)의 요인 구조를 분석하여 7개의 주요 요인을 도출하고, 이를 기반으로 10개의 군집 (Cluster)을 분류하였다. Cluster 별 요인 점수 및 다차원 건강 지표 (MFS, K - CBCL, K - CEBQ, 성장 지표 등)를 종합적으로 분석함으로써, 기존의 오장변증 기반 분류보다 한층 정교한 임상적 해석이 가능해졌다. 이를 통해 도출된 임상적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구는 단일 장부의 허약뿐 아니라 두 개 이상의 장부가 복합적으로 허약한 상태를 세분화하여, 복합 허약아의 경중을 객관적으로 구분할 수 있는 가능성을 제시하였다. 기존의 오장허약아 이론은 간, 심, 비, 폐, 신 각각의 장부 허약을 변별하고 진단하는 데 집중해 왔지만, 실제 임상에서는 여러 장부 기능이 동시에 저하된 복합 허약 양상이 빈번하게 관찰된다. 본 연구에서는 PWS 점수 기반으로 Cluster 2 ‘고도 복합 허약아’는 평균 56.4점, Cluster 5 ‘중등도 복합 허약아’는 42.6점, Cluster 10 ‘경도 복합 허약아’는 38.3점을 나타냈다. 이는 동일하게 ‘복합 허약아’라는 범주에 속하면서도, PWS 총점에 따라 그 심각도를 정량적으로 계층화할 수 있음을 의미한다. 나아가 이를 기준으로 임상에서는 고도 복합 허약아군에 대해서는 보다 집중적인 처방과 장기적인 관리가 요구되며, 경도 허약군은 생활 습관 개선이나 단기적 개입만으로도 허약의 정도를 개선할 수 있을 것으로 예측할 수 있다. 이와 같이 PWS를 활용한 복합 허약아의 정량적 경중 판단은 향후 진단 기준의 객관화 및 개별화된 치료 전략 수립에 핵심적인 역할을 할 수 있다.

둘째, 본 연구에서 도출된 Cluster 중 Cluster 4 ‘정서 불안형 심계허약아’와 Cluster 9 ‘신경과민형 심계허약아’는 모두 심계 허약지수가 높은 군집이었으나, 요인 점수의 양상과 다차원 건강 지표에서 뚜렷한 차이를 보였다. ‘정서불안형 심계허약아’는 ‘화를 잘 낸다.’, ‘예민하고 신경질적이다.’ 등 외현화된 정서적 불안정성이 중심 증상으로 나타났으며, K - CBCL의 문제행동 점수가 유의하게 높았다. 반면 ‘신경과민형 심계허약아’는 문제행동 총점은 평균 수준으로 나타났으나, ‘자다가 자주 깨고 울며 보챈다.’, ‘잠꼬대를 많이 하거나 자다가 자주 놀란다.’, ‘구토나 구역질을 자주 한다.’ 등 수면 및 자율신경계 기능과 관련된 요인 점수 (Factor 7)가

높게 나타났다. 이러한 결과는 전통적인 심계허약아의 개념이 단일 양상으로 환자군을 설명하기에는 임상적 이질성이 크다는 점을 보여준다. 즉, 심계허약아 하나의 진단 범주 안에도 외부 행동으로 표현되는 정서불안형과 내부 자율신경계 불안정이 추가 되는 신경과민형이 공존하며 각각 다른 진단과 치료 접근이 필요함을 시사한다.

셋째, 본 연구에서 도출된 7가지 요인은 전통적인 오장변증 이론과 일부 일치하면서도, 기존 이론으로 설명되지 않는 새로운 병태의 가능성을 제시하였다. 특히 Factor 3은 ‘눈이 자주 충혈된다.’, ‘눈병이 자주 생긴다.’, ‘눈의 피로를 빨리 느낀다.’는 안구 관련 문항들로 구성된 독립된 요인으로 도출되었으며, 이는 일반적으로 간계 허약의 표현으로 간주하는 증상군이다. 그러나 Factor 3의 점수가 높게 나타난 Cluster 3 ‘간폐 허약아’는 간계뿐 아니라 폐계 허약 점수도 함께 높았고, 호흡기 감염의 빈도와 이환 기간 역시 다른 군에 비해 길게 나타났다. 이러한 결과는 안구 증상이 단순히 간계 허약으로만 해석되기보다, 간계와 폐계의 연계 병리 구조 속에서 재해석될 필요가 있음을 시사한다. 예를 들어, 알레르기성 결막염과 비염이 함께 나타나는 경우처럼, 눈 증상은 호흡기 면역력 취약성과 관련된 임상적 병태를 시사하는 단서가 될 수 있다. 이로써 Cluster 3은 간계의 기혈 순환 문제와 폐계의 위기 (衛氣) 약화를 동시에 반영하는 복합 허약아 군으로 해석된다. 안구 관련 문항이 독립된 요인으로 도출된 연구 결과는 특발성 저신장증 아동을 대상으로 한 연구에서도 관찰된 바 있다. 해당 연구에서 도출된 5가지 요인은 각각 ‘신음허화왕’, ‘비위습담’, ‘간기범비’, ‘비위 허약’, ‘안구 증상’으로, 안구 증상군이 다른 변증과 독립적인 요인으로 추출되었다³³⁾. 이와 같은 반복적 발견은 두 가지 해석 가능성을 가진다. 먼저, 요인 분석이라는 통계적 분석 방법의 구조적 특성일 수 있으며, 소아기에 특이적으로 나타나는 병태 표현의 가능성일 수 있다. 두 관점 모두 해석이 필요하며 소아 임상에서 안구 증상이 단순 피로를 반영하는 지표가 아닌 성장, 내분비계, 면역계, 자율신경계 등의 이상을 시사하는 조 기 지표일 가능성을 제시한다.

넷째, 소아의 피로는 단일 장부 기능의 문제를 의미하기보다는, 여러 장부 기능이 동시에 저하되어 축적된 결과로써의 ‘복합 허약아’의 지표일 가능성이 높다. 본 연구에서는 MFS 점수가 낮을수록 (즉, 피로도가 높을수록) 해당 아동이 단일 장부 허약이 아닌, 여러 요인

에서 높은 점수를 보이는 복합 허약아 군에 속할 확률이 높았으며, 피로도가 단독으로 높고 나머지 장부 기능은 정상이었던 Cluster는 존재하지 않았다. 특히 Cluster 2 (고도 복합 허약아), Cluster 5 (중등도 복합 허약아), Cluster 10 (경도 복합 허약아)는 모두 피로도가 높은 군집이었으며, 이들 모두 PWS 총점이 높은 동시에 다수의 요인 점수가 함께 상승되어 있었다. 이는 소아의 피로 호소가 단순히 '피곤하다'는 주관적 증상 그 이상으로써, 오장 기능의 누락된 부조화를 나타내는 최종 표현일 수 있음을 의미한다. 소아의 피로 호소는 단일 장부의 허약보다 복합적인 허약 양상을 시사하는 경우가 많아, 임상적은 단편적인 증상 대응보다 전체 장부 기능의 통합적 평가에 기반한 진단이 요구된다.

다섯째, Cluster 4 (정서불안형 심계허약아), Cluster 5 (중등도 복합 허약아), Cluster 6 (신계허약아)는 모두 심계 또는 신계 허약지수가 주요하게 작용하는 군집으로, 군집 간 유사성이 높았으나, 정서적 문제와 성장 지표에 따라 서로 다른 임상적 양상을 보였다. 정서불안형 심계허약아는 문제행동 총점이 높고 성장 지표는 평균 수준, 신계허약아는 문제행동은 평균이나 성장 지표가 평균 이하, 중등도 복합 허약아는 두 항목 모두 부진한 양상을 보였다. 특히 중등도 복합 허약아는 식욕부진과 호흡기 감염의 빈도와 이환 기간도 높게 나타났다는데, 이는 정서적 불안정 → 식욕 저하 → 성장 지표 저하 및 면역력 약화로 이어지는 연쇄적 허약 경로가 존재할 수 있음을 시사한다. 이를 기반으로 임상에서는 증상의 유사성에 안주하지 않고, 정서, 식욕, 성장, 면역의 연계 구조를 해석하는 통합적 진단 전략이 요구된다.

여섯째, Cluster 7 (폐계허약아), Cluster 8 (비계허약아), Cluster 9 (신경과민형 심계허약아)는 각각 특정 장부 기능의 단일 취약성을 중심으로 분화되었으며, 다차원 건강 지표상 정서, 수면, 성장, 문제행동 등의 다른 영역은 비교적 평균 수준을 유지하고 있었다. 이는 복합 허약아 군과는 달리, 아직 병태가 장부 하나에 국한되어 있는 초기 단계의 허약아로 해석할 수 있으며, 해당 장부의 기능만 적절히 보완하고 관리하면 전체적인 건강 상태를 안정적으로 유지할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 이러한 단일 장부 허약아 군을 초기에 식별하고, 해당 장부에 맞는 처방과 생활지도를 선제적으로 제공하는 것은, 시간이 지남에 따라 다른 장부로 병태가 확산되며 '복합 허약아'로 이행되거나, 더 중

중의 건강 문제를 겪게 되는 것을 사전에 차단할 수 있는 중요한 임상 전략이 된다. 이러한 점에서 PWS를 활용한 소아 허약의 진단은 단순 진단을 넘어서, 허약아의 단계적 진행 경로를 차단하기 위한 조기 스크리닝과 개입 시스템으로 발전할 수 있는 임상적 기반이 될 수 있다.

종합적으로 볼 때 본 연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같은 의의가 있다. 첫째, 본 연구는 기존의 한방병원 내 환자 군이 아닌 일반 소아 군을 대상으로 시행되었다는 점에서 높은 외연 확장성을 가진다. 환자 군 대상 연구가 아니기 때문에 임상 현장에서의 즉각적인 활용도는 낮을 수 있지만, 일반 소아 군 대상이라는 점은 대규모 스크리닝에 유용하며 한방 영유아 건강검진의 기초자료로 활용될 수 있다. PWS 외에도 MFS, K - CBCL, K - CBEQ, 성장 지표 등 다양한 평가 도구를 함께 분석하여 PWS 응답 패턴의 의미를 심층적으로 파악하고자 했기 때문에, 단일 도구에 의존하지 않고 소아의 전반적인 건강 상태를 종합적으로 평가함으로써 일반 소아 군의 허약 특성을 다각적으로 조망했다는 점에서 기존 연구와 차별화된다. 둘째, 요인 분석을 활용하여 PWS 설문지의 내재 구조를 탐색하였다. 요인 분석은 문항 간 상관성에 기반해 잠재적 구조를 도출하는 통계적 기법으로, 응답자의 답변 패턴을 해석하는 데 적합하며 차원 축소의 효과 또한 지닌다. 도출된 7개 요인은 상호 독립적이거나 상관계수가 낮아 이를 계층적 군집 분석과 머신러닝의 변수로 활용하기에 적합하였다. 특히 요인 분석 결과는 전통적인 오장 이론과 유사한 측면도 있었으나, 일부 요인은 오장 이론과 다른 구조를 보이기도 하였다. 셋째, 본 연구에서 도출된 10개의 Cluster는 임상 현장에서 다방면으로 활용 가능성이 있다. 각 Cluster에 대표 처방을 대응시켜 진료 보조 시스템으로 활용할 수 있으며, 한의학 변증의 보조 수단으로 활용할 수 있다. PWS 30문항의 설문 답변만 입력한다면 Cluster를 분류할 수 있기 때문에 대규모 스크리닝에 활용할 수 있고, 자가 진단 방식으로도 활용할 수 있어 허약아의 조기 개입 및 개인 맞춤형 접근도 가능하다. 넷째, 머신러닝 기반 예측 모델에서 SVM (nonlinear) 기준 최대 89% 이상의 정확도를 보였다. 이는 기존의 머신러닝을 통해 사상체질을 진단하려던 연구¹⁹⁾의 정확도가 60.4%로 나타났던 것을 참고할 때 높은 수준이며, PWS 설문 응답만으로도 허약아 군집 분류가 가능함을 시사한다. 특히 소아 진료에 익숙하지 않은 한의사라 할지라도 동일한 설문 응답을

기반으로 동일한 분류 결과를 얻을 수 있기 때문에, 쉽고 객관적이고 재현 가능하며 신뢰할 수 있는 도구로 활용될 수 있다.

본 연구는 다음과 같은 한계를 가진다. 첫째, 본 연구는 PWS의 장부별 절단값 산출을 위해 얻어진 데이터를 2차 가공한 연구이다. Clark and Watson 등³⁴⁾의 연구에 따라 설문 도구의 신뢰도 높은 절단값 산정을 위해 300명 이상의 연구 대상자를 모집했지만, 군집 분석 및 머신러닝 예측 모델의 안정성을 확보하기에는 다소 작은 규모일 수 있다. 향후 보다 대규모의 표본을 확보한 후속 연구를 통해 모델의 재현성 및 일반화 가능성을 검증할 필요가 있다. 둘째, 본 연구는 설문 응답 데이터에 의존하였기 때문에, 실제 아이의 객관적 상태라기보다는 보호자가 아이를 어떻게 인식하고 있는지가 응답 패턴으로 드러난 결과일 가능성이 높다. 특히, ‘밥맛이 없고 편식을 하며 먹는 양이 적다.’, ‘예민하고 신경질적이다.’, ‘집중력이 떨어지고 산만하다.’ 등의 문항들이 다소 주관적이고 부모의 인식이 편향될 가능성이 높다. 따라서 향후 연구에서는 설문 응답 외에도 생리학적 지표 (심박 변이도, 뇌파 등)나 임상적 평가 지표를 병행하여 객관적인 자료를 확보할 필요가 있다. 셋째, Cluster 수 결정 및 절단값 산정이 연구자의 임의 판단에 기반하였으며, Cluster 별 인원수가 7명부터 88명까지 편차가 크게 나타났다. Cluster 별 인원수가 비슷하게 나타나도록 절단값을 조절함이 필요하며, 임상적 유용성과 군집 해석 가능성을 높이기 위해서는 전문가 집단의 합의 과정을 통해 Cluster 수와 절단값을 정교화할 필요가 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 설문 응답 패턴에 기반한 허약아 군집을 수학적으로 도출하고, 이를 예측 가능한 머신러닝 모델로 확장하였다는 점에서 의의가 있으며, 향후 대규모 임상 자료와의 연계를 통해 더욱 발전된 도구로서의 가능성을 제시하였다.

V. Conclusion

본 연구는 2023년 11월 9일부터 11월 17일까지 수집된 설문 응답 자료를 바탕으로, 소아 허약 검사 (Pediatric Weakness Scale, PWS) 30문항에 대한 요인 분석을 실시하여 설문 내재 구조를 규명하였다. 도출된 요인 점수를 활용하여 계층적 군집 분석을 수행함으로

써 허약아 유형을 군집화하였으며, 해당 요인 점수를 독립변수로 하여 Cluster를 예측하는 머신러닝 기반 모델을 구축하고 그 정확도를 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 전체 대상자의 성별 분포는 남아 170명 (52.1%), 여아 156명 (47.9%)으로 나타났고, 평균 연령은 7.97세로 나타났으며, 성별에 따른 연령, 신장, 체중에서 통계적으로 유의미한 차이는 관찰되지 않았다. 다차원 피로 척도, 음식 접근 척도, 음식 회피 척도, 최근 1년간 상, 하기도감염의 횟수, 호흡기감염의 평균 이환 일수, 성장 지표의 평균값은 선행 연구에서 제안한 이상치 미만으로 나타나 기질적 질환이 없는 일반 소아 군을 모집하고자 했던 설계 의도에 부합한다.
2. PWS 30문항에 대한 요인 분석 결과, 총 7가지 요인이 도출되었다. Factor 1은 호흡기의 취약성과 면역력 저하, Factor 2는 신체 기능의 전반적 저하, Factor 3는 안구의 피로 혹은 염증, Factor 4는 심리 정서적 취약성, Factor 5는 소화기의 취약성, Factor 6는 영양 상태의 부진, Factor 7은 수면 및 신경계의 예민성과 관련된 요인으로 해석된다.
3. 7가지 요인을 기반으로 계층적 군집 분석 후 덴드로그램으로 시각화하였다. 임상적 해석 가능성을 고려하여 절단값 10으로 설정했을 때, 총 10개의 Cluster가 도출되었다. Cluster 1은 건강아, Cluster 2는 고도 복합 허약아, Cluster 3는 눈 증상과 잦은 호흡기 감염이 특징인 간헐 허약아로 볼 수 있다. Cluster 4, 5, 6는 문제행동 총점과 성장 지표에서 각기 다른 특징을 보여 정서불안형 심계허약아, 중등도 복합 허약아, 신계허약아로 볼 수 있다. Cluster 7, 8, 9는 단일 장부에서 취약성이 나타나 폐계허약아, 비계허약아, 신경과민형 심계허약아로 볼 수 있고, Cluster 10은 경도 복합 허약아로 볼 수 있다.
4. 요인 점수를 입력 변수로 하여 ERT, SVM, KNN, Mlogit 머신러닝 모델을 개발하고 성능을 비교한 결과, SVM (nonlinear) 모델이 가장 우수한 분류 성능 (정확도 $89.0 \pm 6.2\%$)을 보였다. 이는 PWS

응답 패턴을 기반으로 한 객관적이고 재현성 있는 자동 분류 시스템 개발 가능성을 시사한다.

5. 본 연구 결과는 허약아의 조기 스크리닝, 맞춤형 건강관리 및 한의약 기반 생활 습관 디칭에 유용한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 보다 대규모 표본과 객관적 생리 지표를 포함한 후속 연구를 통해 진단 도구로서 실용성과 정확성을 높일 수 있을 것으로 기대된다.

VI. Acknowledgements

이 과제는 2023학년도 경희대학교 교비 연구비 지원에 의한 결과임 (KHU-20231173).

VII. References

1. Department of Pediatrics, Nationwide Korean Medicine College. Pediatrics of Korean Medicine. 4th ed. Seoul: Ui Sung Dang Publishing Co. 2025:116-22.
2. Yu TS, Kim YS, Bae JH, Kim DG. A literary investigation of weak children. J Pediatr Korean Med. 1990; 4(1):67-78.
3. Kim DG, Kim YS, Jeong GM. The clinical study of weak children. J Pediatr Korean Med. 1989;3(1):79-83.
4. Lee SH, Kim AN, Jang HC, Jeong MJ. Study on weak children information collection using personal health record (PHR). J Pediatr Korean Med. 2017;31(3):46-63. DOI: <http://dx.doi.org/10.7778/jpkm.2017.31.3.046>
5. Lee HL, Han JK, Kim YH. A Study on comparison between growth indices of weak children groups via analyzing bone age and body composition. J Pediatr Korean Med. 2014;28(2):1-22. DOI: <https://doi.org/10.7778/jpkm.2014.28.2.001>
6. Gok SY, Lyu SA, Lee SH. The correlation study between interference test with the weak children (虛弱兒) symptoms. J Pediatr Korean Med. 2009;23(3):71-88.
7. Jeong MJ, Lim JH, Hwang BM, Yun YJ, Kim KB. Set the cut off values for diagnosing heart weak children; by using K-CBCL total behavior problems score. J Pediatr Korean Med. 2010;24(3):58-67.
8. Lee HL, Han JK, Kim YH. The characters of autonomic nervous system in heart weak children through analysis of heart rate variability. J Pediatr Korean Med. 2013; 27(3):1-11. DOI: <https://doi.org/10.7778/jpkm.2013.27.3.001>
9. Park YJ, Yoon JY, Myoung SM. The relationships between allergy and weakness in children in Seong-dong district. J Pediatr Korean Med. 2010;24(2):112-25.
10. Chae H, Han SY, Cheon JH, Kim KB. Development and validation of Pediatric Weakness Scale (PWS). J Pediatr Korean Med. 2019;33(3):30-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.7778/jpkm.2019.33.3.030>
11. Bae HJ, Park SY, Kim CE. A practical guide to implementing artificial intelligence in traditional East Asian medicine research. Integr Med Res. 2024;13(3): 101067. DOI: 10.1016/j.imr.2024.101067
12. Korea Centers for Disease Control and Prevention. Clinical and Experimental Pediatrics, 2017 Child and adolescent growth chart. Cheongju: Korea Centers for Disease Control and Prevention. 2017:1-121.
13. Han YJ, Lee SH, Lee JY. A study on the influence of irritable bowel syndrome on dietary habits and fatigue in children and adolescents. J Pediatr Korean Med. 2017;31(3):1-13. DOI: <http://dx.doi.org/10.7778/jpkm.2017.31.3.001>
14. Varni JW, Burwinkle TM, Katz ER, Meeske K, Dickinson P. The PedsQL in pediatric cancer: reliability and validity of the pediatric quality of life inventory generic core scales, multidimensional fatigue scale, and cancer module. Cancer. 2002;94(7):2090-106. DOI: <http://doi.org/10.1002/cncr.10428>
15. Oh KJ, Ha EH, Lee HL, Hong KE. K-CBCL, Child behavior checklist. Seoul: Hunoconsulting. 2007.
16. Wardle J, Guthrie CA, Sanderson S, Rapoport L. Development of the children's eating behaviour questionnaire. J Child Psychol Psychiatry. 2001;42(7):963-70. DOI: <http://doi.org/10.1111/1469-7610.00792>
17. Chung KM, Choo JH. A psychometric evaluation of the Korean version children's eating behaviour questionnaire. The Korean Journal of Health Psychology. 2012;17(4):943-61.

18. Kim EJ, Park YB, Choi KH, Lim YW, Ok JM, Noh EY, Song TM, Kang JH, Lee HS, Kim SY. Application of machine learning to predict weight loss in overweight, and obese patients on korean medicine weight management program. *J Korean Med.* 2020;41(2):58-79. DOI: <http://dx.doi.org/10.13048/jkm.20015>
19. Park SY, Park M, Lee WY, Lee CY, Kim JH, Lee S, Kim CE. Machine learning-based prediction of Sasang constitution types using comprehensive clinical information and identification of key features for diagnosis. *Integr Med Res.* 2021;10(3):100668. DOI: 10.1016/j.imr.2020.100668
20. Kobayashi K, Okano Y, Hohashi N. Reliability and validity of the PedsQL Multidimensional Fatigue Scale in Japan. *Qual Life Res.* 2011;20(7):1091-102. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11136-010-9834-y>
21. Ko MM, Lee SH, Chang GT, Lee B. Reliability and validity of a Korean version of the children's eating behavior questionnaire in anorexia context. *Front Nutr.* 2023;10:1247630. DOI: <http://doi.org/10.3389/fnut.2023.1247630>
22. Yang J, Wang L. General situation in research of children's recurrent respiratory tract infection. *Jiangsu J Tradit Chin Med.* 2008;40(9):95-7.
23. Department of Pediatrics, Nationwide Korean Medicine College. *Pediatrics of Korean Medicine.* 4th ed. Seoul: Ui Sung Dang Publishing Co. 2025:256.
24. Lee YJ. Infant and child health is in the hands of "Korean Medicine Doctor" [Internet]. *The Minjok Medicine News.* 2012 [cited 2025 Apr 23]. Available from: <https://www.mjmedi.com/news/articleView.html?idxno=22232>.
25. Jang SB, Lee JH, Park SK, Lee BR. Development of Korean medicine health promotion program for short stature children. *SPKOM.* 2022;26(1):1-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.25153/spkom.2022.26.1.001>
26. Park JM, Park MJ, Cho BH. Development and evaluation of comprehensive health care program for infectious disease management in child care centers by doctor of Korean medicine. *Korean J Health Educ Promot.* 2013; 30(1):65-81. DOI: <https://doi.org/10.14367/kjhep.2013.30.1.065>
27. Yu SJ, Cheon JH, Kim KB. Research for health examinations for infants and children by Korean medicine. *J Pediatr Korean Med.* 2016;30(2):10-22. DOI: <http://dx.doi.org/10.7778/jpkm.2016.30.2.010>
28. Choi JY, Min SY, Kim EJ. Survey on parent's recognition for necessity of health examinations for infants and children by Korean medicine. *J Pediatr Korean Med.* 2021; 35(3):100-17. DOI: <http://dx.doi.org/10.7778/jpkm.2021.35.3.100>
29. Kim MJ, Lee SH, Lee JY. A study on sleep habits of weak children groups. *J Pediatr Korean Med.* 2015;29(4):1-11. DOI: <http://dx.doi.org/10.7778/jpkm.2015.29.4.001>
30. Kim JS, Park SH, Jeong RA, Lee ES, Kim YS, Sung HD, Yu JS. Application of text-mining technique and machine-learning model with clinical text data obtained from case reports for Sasang constitution diagnosis: a feasibility study. *J Korean Med.* 2024;45(3):193-210. DOI: <http://dx.doi.org/10.13048/jkm.24049>
31. Park SY, Kim YW, Song YR, Bak SB, Jang YP, Kim IK, Kim JH, Kim CE. Compound-level identification of sasang constitution type-specific personalized herbal medicine using data science approach. *Heliyon.* 2023; 9(2):e13692. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13692
32. Bae HJ, Lee SH, Lee CY, Kim CE. A novel framework for understanding the pattern identification of traditional Asian medicine from the machine learning perspective. *Front Med (Lausanne).* 2021;8:763533. DOI: 10.3389/fmed.2021.763533
33. Liao TS, Tsai LP, Tzeng IS, Hsu YT, Hsieh PC, Wu HC. Factor analysis of traditional Chinese medicine symptoms for identification of syndrome patterns associated with idiopathic short stature in children. *Tzu Chi Med J.* 2024;36(4):433-9. DOI: 10.4103/tcmj.tcmj_277_23
34. Clark LA, Watson D. *Constructing validity: Basic issues in objective scale development.* Washington, DC, US: American Psychological Association. 2016:187-203.