

Semantics Network Analysis of Achievement Standards in Physics of 2022 Revised Curriculum

Jibeom SEO

Department of Physics, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea

Jun CHO

Singil Middle School, Ansan 15401, Korea

Sukyung HAN

Namhan High School, Hanam 12978, Korea

Meesoon HA*

Department of Physics Education, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

(Received 2 June 2024 : revised 4 July 2024 : accepted 3 August 2024)

We investigate semantics networks of achievement standards for physics subjects in the 2022 revised curriculum to derive information embedded in the curriculum. We extract each subject's keywords with node strength and random-walk betweenness, detect communities of physics terms by the optimized greedy algorithm, and find the connectivity of physics subjects using bipartite networks. The network analysis reveals three remarkable results: First, keywords are about scientific thinking and practices, evolving to a higher level as the grades increase. Second, there is a lack of connection to learning content in physics. Lastly, achievement standards for 'Integrated Science' are inadequate to fulfill the intended purpose of the curriculum. This is attributed to the reduced learning volume in the 2022 revised curriculum. Our study implies that the curriculum and achievement standards should be improved for the better connectivity of subjects.

Keywords: 2022 revised curriculum, Semantics network, Physics term, Achievement standard, Connectivity

언어 네트워크를 활용한 2022 개정 교육과정 물리학 분야 성취기준 분석

서지범

성균관대학교 물리학과, 수원 16419, 대한민국

조준

신길중학교, 안산 15401, 대한민국

한수경

남한고등학교, 하남 12978, 대한민국



하미순*

조선대학교 물리교육과, 광주 61452, 대한민국

(2024년 6월 2일 받음, 2024년 7월 4일 수정본 받음, 2024년 8월 3일 게재 확정)

2022 개정 교육과정 물리학 분야 과목의 성취기준을 토대로 언어 네트워크를 생성하여 교육과정에 내재된 정보를 도출하였다. 노드 연결강도와 랜덤워크 매개 중심성을 활용하여 각 과목의 핵심 단어를 추출하고, 최대 모듈도를 찾는 알고리즘을 활용하여 물리학 용어의 단어 커뮤니티를 탐색하였다. 물리학 분야 과목 간의 연계성은 이분 네트워크를 활용하여 분석하였다. 네트워크 분석은 주요 세 가지 결과들을 보여주었다. 첫째, 물리학 분야 성취기준을 구성하는 핵심 단어들은 과학적 사고와 기능에 관한 것으로, 학년이 올라감에 따라 고차원적인 수준으로 변한다. 둘째, 물리학 분야 과목의 학습 내용 연계가 부족한 부분이 있다. 마지막으로, ‘통합과학’의 성취기준이 교육과정이 의도한 목적을 수행하기에 미흡할 수 있다. 이는 2022 개정 교육과정에서의 학습량 감축에 기인한 것으로 보인다. 따라서, 본 연구는 물리학 분야 과목 간의 연계성을 향상시키기 위해 교육과정 및 성취기준의 개선이 필요함을 시사한다.

Keywords: 2022 개정 교육과정, 언어 네트워크, 물리학 용어, 성취기준, 연계성

I. 서 론

2022 개정 교육과정은 초·중등학교의 교육 목적을 달성하기 위해 국가 수준에서 제시한 학교 교육과정의 공통적이고 일반적인 기준이다. 국가 수준의 교육과정(이하 국가 교육과정)은 학교 교육과정 편성 및 운영과 학생의 교수 학습 방법 등에 대한 지침이 된다 [1]. 이와 관련한 2015 개정 교육과정의 현장적용 실태분석 연구 [2]에 따르면, 중등교사들이 국가 교육과정에서 강조한 학생 참여형 수업 및 과정중심평가 등을 긍정적으로 인지하고 수업에 적용하려 한다는 점이 밝혀졌다. 이 연구 결과는 국가 교육과정이 교사의 교육활동에 지대한 영향을 미친다는 것을 보여준다.

국가 교육과정은 학습 내용에 대한 성취기준을 제공한다. 성취기준은 어떤 교과목에서 배워야 할 필수 학습 내용을 학습한 결과, 학생이 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 도달점으로, 교과서가 제시하는 학습목표의 토대가 된다 [3]. 또한, 성취기준은 해당 학습 내용의 성격 및 다른 학습 내용과의 연계성, 그리고 국가 교육과정의 전체적인 방향성을 고려하므로, 이를 분석함으로써 특정 교과목 또는 학습 내용에 대한 정보를 파악할 수 있다. 과학과 교육과정이 개정됨에 따라, 성취기준을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다. 예를 들어, 특정 교과목의 2015 개정 교육과정과 2022 개정 교육과정의 성취기준 비교 [4,5], 에너지 관련 성취기준 분석 [6] 등의 연구가 존재한다. 그러나 기존 연구들은 단일 교과목이나 학습 내용에 중점을 두고 있어, 교과목 및 학습 내용 간의 연계성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 교과목 및 학습 내용의 연계성은 학생의 학업성취도 및

흥미와 직결된다 [7]. 특히, 물리학은 내용의 계열성이 강하므로, 선행 지식이 부족한 경우 학습에 어려움을 겪을 수 있다 [8]. 따라서, 물리학 분야 과목 간의 연계성을 살펴보는 것은 2022 개정 교육과정에서 예상되는 문제점의 해결 방안을 제공하는데 도움이 될 수 있다.

물리학 분야 과목 간의 연계성을 살펴보는 방법 중 하나로 언어 네트워크 분석이 있다. 언어 네트워크는 분석하고자 하는 문서에서 어떤 단어가 중요한지 또는 어떤 단어 간 연결이 중요한지를 파악하는데 매우 용이하게 사용된다. 또한, 네트워크의 구조와 특징을 분석하여 문서에서 표면적으로 드러나지 않는 새로운 정보를 얻을 수 있다. 선행된 언어 네트워크를 활용한 과학교육 연구에서는 교육과정에 제시된 과학과 핵심역량과 물리학 과목의 성취기준 내용 간의 구조적 관계를 파악하거나 [9], 과목에 따른 특정 내용 영역의 성취기준 서술 방식의 변화를 분석하는 [6] 등과 같이 다양하게 연구가 진행되었다 [5,10,11]. 본 연구에서는 각 과목의 성취기준을 구성하는 단어로 이루어진 언어 네트워크를 활용하여, 2022 개정 교육과정 물리학 분야 과목에 대한 다양한 정보를 도출하는 네트워크 분석을 통해 과목 간의 연계성을 파악하고자 한다.

II. 연구방법

1. 분석자료

본 연구는 2022 개정 교육과정의 과학과 교육과정 중, 물리학과 관련된 성취기준을 분석하였다. 과학과 교육과정은 초등학교 3학년부터 중학교 3학년까지의 공통 교육과정인

*Correspondence to: msha@chosun.ac.kr

‘과학’과, 고등학교 1학년부터 3학년까지의 학점 기반 선택 중심 교육과정의 ‘공통 과목’, ‘일반선택 과목’, ‘진로선택 과목’ 등으로 편성 및 운영된다. ‘과학’은 초등학교 슬기로 생활 등 1-2학년 통합교과에서 학습한 내용과 연계하고, 고등학교 과학 교과목 학습에 필요한 과학 기초 학력을 보장하기 위한 교과이다. ‘과학’을 이루는 영역 중, ‘운동과 에너지’와 ‘물질’이 물리학과 관련되어 있다. 고등학교 과학과의 ‘공통 과목’은 중학교까지 학습한 내용을 바탕으로 자연 현상을 통합적으로 이해하여 미래 사회에 필요한 과학적 소양 함양을 목적으로, ‘통합과학1, 2’ 및 ‘과학탐구실험1, 2’로 구성된다. ‘일반선택 과목’은 ‘공통 과목’과 연계하여 이공계 진로를 선택하기 위한 기초 과학 개념을 다루는 과목으로, 과학의 학문 영역별 주요 학습 내용을 포함한다. 물리학과 관련하여 ‘물리학’ 과목이 존재한다. ‘진로선택 과목’은 이공계 진로를 선택하는 학생을 위한 과목으로, 물리학 분야 과목으로는 ‘역학과 에너지’, ‘전자기와 양자’가 있다 [1,12].

연구에 활용된 성취기준은 물리학 관련 성취기준이며, 성취기준 중에서 열역학 및 통계역학의 내용을 포함하거나 ‘통합과학1, 2’ 중에서 물리학 및 과학의 전반적인 개념과 연관된 부분도 분석 대상에 포함하였다. ‘과학탐구실험1, 2’는 성취기준에 물리학과 관련한 내용이 직접적으로 기술되어 있지 않으므로 분석대상에 포함하지 않았다. 선택한 성취기준은 총 127개로 다음과 같다. 초등학교 ‘과학’의 성취기준은 총 37개로, 초등학교 3-4학년군의 ‘힘과 우리 생활’, ‘물체와 물질’, ‘소리의 성질’, ‘자석의 이용’, ‘물의 상태 변화’, ‘여러 가지 기체’의 성취기준 20개, 초등학교 5-6학년군의 ‘빛의 성질’, ‘열과 우리 생활’, ‘자원과 에너지’, ‘물체의 운동’, ‘전기의 이용’의 성취기준 17개이다. 중학교 ‘과학’은 ‘열’, ‘물질의 상태 변화’, ‘힘의 작용’, ‘기체의 성질’, ‘빛과 파동’, ‘전기와 자기’, ‘운동과 에너지’의 성취기준 26개를 선정하였다. 그리고 ‘통합과학1, 2’는 총 13개로 ‘통합과학1’은 ‘과학의 기초’ 전체, ‘물질의 규칙성’ 중 [10통과1-02-01], [10통과1-02-02], [10통과1-02-06]과 ‘시스템과 상호작용’ 중 [10통과1-03-03], [10통과1-03-04]로 9개, ‘통합과학2’는 ‘변화와 다양성’의 [10통과2-01-05]와 ‘환경과 에너지’ 중 [10통과2-02-04], [10통과2-02-05], [10통과2-02-06] 4개이다. 본 연구에서는 ‘통합과학1’과 ‘통합과학2’를 합쳐서 ‘통합과학’이라 정의하고 분석하였다. 마지막으로, ‘물리학’, ‘역학과 에너지’, 그리고 ‘전자기와 양자’의 모든 성취기준(각 18개, 16개, 17개)이다.

2. 분석방법

1) 데이터 전처리

한글 형태소 분석기 khaiii(Kakao Hangul Analyzer III) [13]의 large 모델을 활용하여 성취기준을 이루는 형태소를 추출하였고, 형태소(이하 단어) 중 일반 명사(NNG)와 고유 명사(NNP)만 연구에 활용하였다. 그러나, khaiii로부터 추출한 단어들은 최소 의미 단위로 잘게 나누어져 있어, 성취기준에서 표현하고자 하는 의미를 제대로 담지 못하는 경우가 많았다. 이에 물리학용어집 [14]과 공동연구자의 의견을 토대로 단어를 수정하였다. 예를 들자면, khaiii로 ‘등가원리’를 분석하면 ‘등가’와 ‘원리’로 나뉘지만, 각 단어보다는 이 둘을 합친 ‘등가원리’가 더 의미 있으므로 ‘등가원리’로 수정하였다. 또한, 의미가 없는 단어는 삭제하고(예: ‘주위’, ‘관련’, ‘수준’, ‘오랫동안’ 등), 동일한 의미를 가진 단어는 하나로 통일했다(예: ‘생활’, ‘실생활’, ‘일상생활’을 ‘일상생활’로 통일).

2) 언어 네트워크

네트워크는 Fig. 1처럼 노드(node)와 에지(edge)¹로 이루어지는데, 노드는 네트워크에서의 점을 의미하고 에지는 노드 쌍 사이의 연결선/링크(link)을 뜻한다. 이 연구에서는 언어 네트워크를 만들기 위해 하나의 성취기준을 구성하는 모든 단어들을 서로 연결하여 Fig. 1(a)와 같은 완전 연결된 네트워크, 즉 클릭(clique)을 생성한다. 이때, 단어는 노드, 두 단어의 연결은 에지가 된다. 여기서, 하나의 성취기준에 등장하는 단어의 중복은 제거한다. 이해를 돕기 위해, 성취기준 “물체에 작용하는 여러 가지 힘의 합력을 구하여 물체의 운동을 정량적으로 예측할 수 있다.”로 클릭을 만드는 예시를 제시하면 다음과 같다. 먼저, 해당 성취기준에서 도출할 수 있는 단어는 순서대로 ‘물체’, ‘작용’, ‘힘’, ‘합력’, ‘물체’, ‘운동’, ‘정량적’, ‘예측’이다. ‘물체’가 2번 등장하므로 1개는 삭제하고, 남은 7개 단어로 클릭을 생성한다. 마지막으로, 생성한 모든 클릭을 합쳐 언어 네트워크를 만든다. 덧붙여, 본 연구에서는 성취기준을 이루는 단어를 전체 단어와 물리학 용어로 나누고, 각 언어 네트워크의 차이를 살펴보았다.

성취기준 분석에 필요한 정보를 추출하고자 노드 차수(node degree), 에지 가중치(edge weight), 노드 연결강도

¹ 연결선, 링크(link), 에지(edge)는 모두 같은 의미를 가지지만, 본 연구에서는 에지라는 용어를 사용한다.

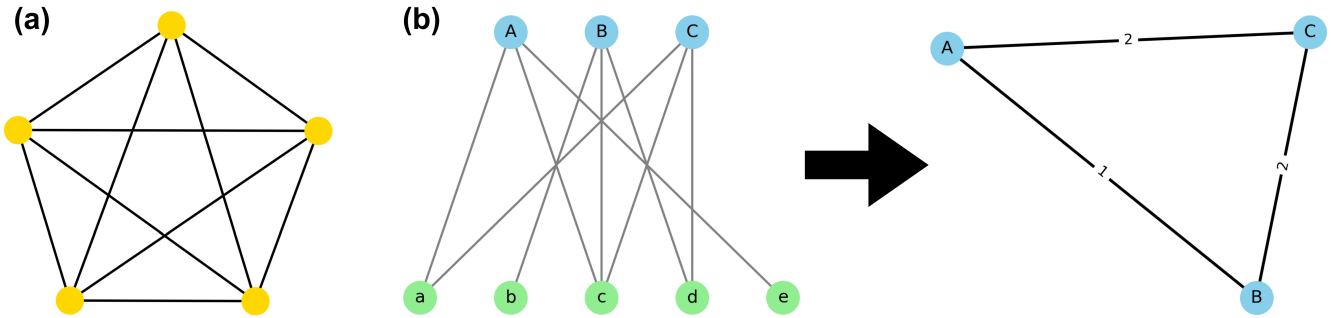


Fig. 1. (Color online) (a) Clique with five nodes. (b) Bipartite network (left) and weighted one-mode projection of the network onto the upper node set (right).

(node strength)를 사용하였다. 여기서 노드 차수는 노드에 연결된 에지의 수, 에지 가중치는 노드-노드 연결 횟수, 노드 연결강도는 노드에 연결된 모든 에지 가중치의 합으로 정의한다. 예를 들어, 언어 네트워크 안의 ‘물체’ 노드와 연결된 단어가 x 개 있다면, ‘물체’의 노드 차수는 x 가 된다. ‘물체’와 ‘운동’이 총 y 번 연결되면, 에지 ‘물체’-‘운동’의 가중치는 y 가 된다. 그리고 ‘물체’와 연결된 단어 i 의 에지 가중치 y_i 를 모두 더한 $\sum_i y_i$ 이 노드 연결강도가 된다. 본 연구에서는 노드 연결강도를 사용하여 언어 네트워크에서 어떤 노드에 얼마나 많은 에지들이 강하게 연결되어 있는지 표현하였으며, 이 값이 높을수록 해당 노드의 중요성이 더 커진다. 또한, 랜덤워크 매개 중심성(random-walk betweenness)을 활용하여 노드 사이에 흐르는 정보에 대한 어떤 노드의 영향력을 표현하였다. 이 값은 0에서 1 사이의 값을 가지며, 높은 값일수록 해당 노드의 중요성이 커진다. 이해를 돕기 위해, 노드 s 에서 노드 t 로 정보가 흐르는 상황을 생각해 보면 다음과 같다. 노드 s 에서 노드 t 로 가는 다양한 경로 중에서 어떤 노드 i 가 포함된 경로가 많다면, 노드 i 는 정보 전달에 중요한 역할을 한다는 것을 유추할 수 있다. 이것이 노드 i 에 대한 매개 중심성(betweenness centrality)²의 개념이다. 일반적인 매개 중심성은 어떤 정보가 두 노드 사이의 최적 경로를 따라 전송되는 상황을 고려하지만, 랜덤워크 매개 중심성은 어떤 정보가 무작위적인 경로로 전송되는 상황을 가정한다. 최적 경로를 고려한 매개 중심성의 설명은 특정 네트워크 구조에서는 적합하지 않을 수 있으므로 [15], 본 연구에서는 랜덤워크 매개 중심성을 채택하였다.

정리하자면, 노드 연결강도를 통해 특정 노드에 얼마나 많은 다른 노드가 강하게 연결되어 있는지를 대략적으로 파악할 수 있으며, 랜덤워크 매개 중심성은 특정 노드가 다른 노드 간의 정보 전달에 미치는 영향을 보여준다. 즉,

노드 중요성을 나타내는 서로 다른 개념을 사용하여 정보를 다각도로 탐색하려고 했다.

3) 커뮤니티 찾기

네트워크에서 단어들이 모여 형성한 커뮤니티를 찾기 위해, 최대 모듈도(modularity)를 찾는 최적화된 탐욕 알고리즘(optimized greedy algorithm) [16]을 활용하였다. 모듈도는 커뮤니티 분할을 평가하는 척도로, 실제 커뮤니티들 내부에 있는 에지 수와 무작위로 생성된 커뮤니티들 내부에 생길 것으로 예상되는 에지 수의 차이이다. 무작위로 만들어진 네트워크는 커뮤니티 구조가 없을 것이라 예상할 수 있다. 따라서, 모듈도는 커뮤니티가 잘 분할될수록 그 값이 높으며 최댓값은 1이다. 본 연구에서는 에지 가중치가 존재하는 가중치 네트워크(weighted network)를 다루었으며, 이 네트워크에서의 모듈도는 다음과 같이 정의된다 [17].

$$Q_W = \frac{1}{W} \sum_C (W_C - \frac{s_C^2}{4W}), \quad (1)$$

여기서, W 는 네트워크에 있는 에지 가중치의 총합, W_C 는 어떤 커뮤니티 C 의 내부 에지 가중치 총합, 그리고 s_C 는 커뮤니티 C 안에 있는 노드 연결강도의 총합이다. 본 연구에서는 NetworkX [18]의 `greedy_modularity_communities` 함수를 사용하였다. 해당 함수의 변수 중에서 `weight`는 네트워크의 에지 가중치를 대입하고, 나머지 변수 값은 기본 값을 사용하였다.

4) 이분 네트워크

물리학 분야 과목의 연계성을 분석하기 위해 방향성이 없는 이분 네트워크(bipartite network)를 사용하였다. 이분 네트워크는 두 종류의 노드 집단으로 구성되며, 서로

² 네트워크 과학에서는 사이 중심도 또는 사이도라는 용어를 사용한다.

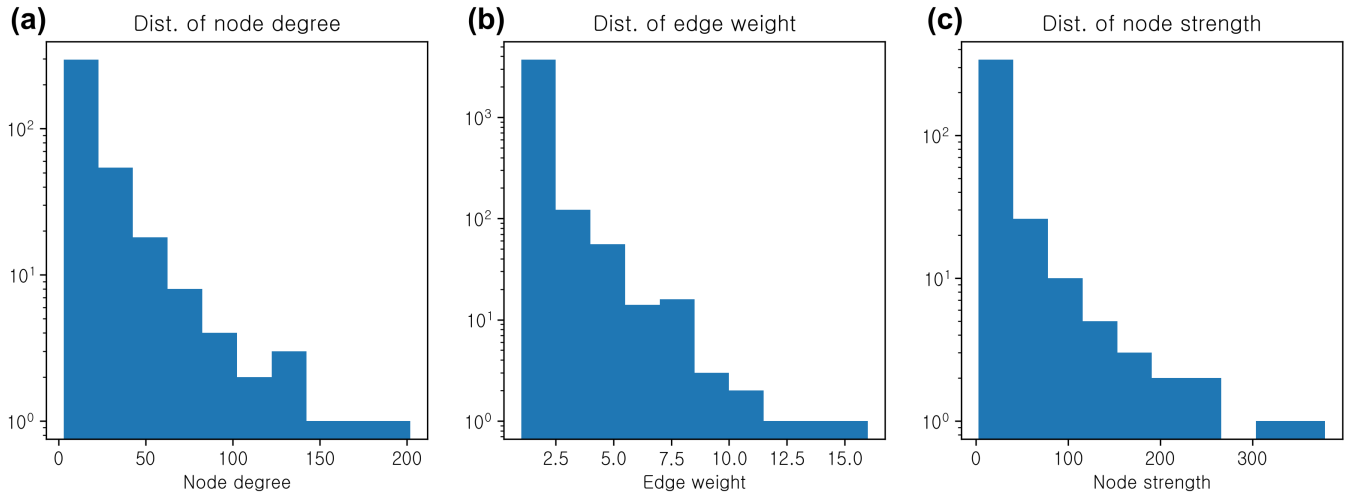


Fig. 2. For the whole word set from all physics subjects, the semi-log plots of (a) degree, (b) edge-weight, and (c) node-strength distributions.

다른 종류의 노드 사이에만 연결이 가능하다. Figure 1(b)는 이분 네트워크의 예시로, 대문자로 표시된 상위 노드와 소문자로 표시된 하위 노드로 구성된다. 이해를 돕기 위해, 상위 노드는 과목을 나타내고 하위 노드는 단어를 나타낸다고 가정하면 다음과 같다. 단어 a는 과목 A와 C에서 나타난다고 볼 수 있고, 마찬가지로 과목 B에는 단어 b, c, d가 포함되어 있다고 볼 수 있다. 이제 과목 사이의 연관을 공통 출연한 단어를 활용해 파악하면, 과목 A와 B는 단어 c가, 과목 A와 C는 단어 a, c가, 과목 B와 C는 단어 c, d가 공통 출연한다. 이러한 정보를 활용하여 과목에 대한 단일 모드 투영(one-mode projection)을 만들 수 있는데, 그 예를 Fig. 1(b)에서 확인할 수 있다. 즉, 과목에 대한 단일 모드 투영은 과목 간의 관계를 두 과목이 공유하는 단어의 개수로 표현한 것이다. 과목 A와 C 그리고 과목 B와 C가 과목 A와 B보다 공유하는 단어의 수가 더 많으므로, 해당되는 두 과목이 상대적으로 더 연관된다고 볼 수 있다.

특히, 본 연구에서는 과목 간 연계성 확인을 위해, 상위 노드는 과목, 하위 노드가 단어인 이분 네트워크를 구축하고, 과목 노드로 이루어진 투영된 네트워크를 생성하였다. 과목 간 연결의 중요성을 표현하기 위해, 에지 가중치와 에지에 대한 랜덤워크 매개 중심성 [15,19]을 사용하였다. 보통 랜덤워크 매개 중심성은 노드 사이에 흐르는 정보에 대한 어떤 노드의 영향력을 표현한다. 그러나, 이 투영된 네트워크에서는 에지의 영향력을 비교 분석하기 위해 에지에 대한 랜덤워크 매개 중심성을 사용하였다. 해당 중심성 값은 높을수록 해당 에지의 중요성이 커지며, 0에서 1 사이의 값을 가진다.

III. 연구결과

1. 전체 단어

분석대상이 된 127개의 물리학 분야 성취기준을 구성하는 전체 단어는 총 389개이며, 단어와 단어의 연결은 3,931개이다. 전체 언어 네트워크의 노드 차수, 노드 연결강도 및 에지 가중치 분포들은 Fig. 2에서 제시되었듯이, 모든 측정값의 분포는 왼쪽으로 편중(right skewed)되어 있음을 확인할 수 있다. 이 결과는 작은 측정값들이 큰 측정값들에 비해 훨씬 더 빈번하게 나타남을 시사한다. 또한, 노드 차수(k) 분포는 멱급수(power law) 분포 $p \sim k^{-\gamma}$ 로 분석하면, γ 값이 2.65로 나타났다. 이 결과는 전체 언어 네트워크가 척도 없는(scale-free) 특성을 가지고³, 에지가 매우 많은 소수의 허브(hub) 노드가 존재함을 의미하며 [20], ‘설명’, ‘이용’, ‘일상생활’ 등에 해당한다. 이러한 허브 노드의 단어는 다른 단어들과의 연결을 매개하며 물리학 분야 과목의 전반에서 널리 사용되는 단어로서 물리학 학습에 중요한 의미를 가진다.

전체 언어 네트워크 중 핵심 단어를 Table 1에 제시해보면, 높은 노드 연결강도와 랜덤워크 매개 중심성을 가진 단어들은 물리 개념 및 용어보다는, 과학적 사고와 과정 및 기능에 대한 것임을 알 수 있다. 초등학교에서는 ‘이용(Use)’ 및 ‘관찰(Observe)’과 같은 기초적인 기능이 중요하지만, 중학교와 고등학교에서는 ‘설명(Explain)’, ‘이해(Understand)’, ‘활용(Utilize)’과 같은 고차원적인 사고방식으로 변화됨을 파악할 수 있다. 또한, 학년이 올라감에

³ 일반적으로 $2 < \gamma < 3$ 일 때, 척도 없는 네트워크의 성질을 가진다고 분석한다.

Table 1. Top ten words ranked by node strength (upper) and random-walk betweenness (lower) from all subjects to individual subjects; values are in parentheses.

Rank	All subjects	Elementary school science	Middle school science	Integrated science	Physics	Mechanics and energy	Electromagnetism and quantum
1	Explain (379)	Use (100)	Explain (102)	Various (65)	Explain (75)	Explain (88)	Technology (61)
2	Use (309)	Everyday life (73)	Everyday life (71)	Technology (52)	Light (40)	Understand (85)	Utilize (53)
3	Everyday life (247)	Inspect (65)	Use (69)	Earth (52)	Utilize (39)	Use (62)	Light (44)
4	Various (234)	Object (64)	Understand (61)	Everyday life (43)	Principle (37)	Example (52)	Explain (42)
5	Understand (222)	Observe (64)	Object (61)	Utilize (42)	Various (35)	Various (49)	Principle (38)
6	Utilize (214)	Explain (45)	Express (56)	Measure (38)	Apply (33)	Utilize (49)	Inspect (38)
7	Example (185)	Property (43)	Feature (49)	Nature (37)	Example (30)	Object (29)	Recognize (37)
8	Object (171)	Method (39)	Various (46)	Meaning (35)	Use (30)	Inspect (26)	Digital (33)
9	Inspect (171)	Phenomenon (38)	Motion (46)	Procedure (35)	Energy (26)	Heat (26)	Probability (32)
10	Technology (150)	Example (34)	Matter (45)	Composition (33)	Technology (25)	Motion (25)	Understand (31)

Rank	All subjects	Elementary school science	Middle school science	Integrated science	Physics	Mechanics and energy	Electromagnetism and quantum
1	Explain (0.1571)	Use (0.2174)	Explain (0.2036)	Various (0.1786)	Explain (0.3552)	Explain (0.3191)	Technology (0.2025)
2	Use (0.1174)	Object (0.1860)	Everyday life (0.1379)	Apply (0.1749)	Apply (0.1753)	Understand (0.3165)	Explain (0.1905)
3	Understand (0.0977)	Observe (0.1808)	Object (0.1314)	Earth (0.1710)	Various (0.1753)	Use (0.1943)	Use (0.1648)
4	Everyday life (0.0869)	Everyday life (0.1405)	Use (0.1272)	Technology (0.1391)	Demonstrate (0.1434)	Various (0.1624)	Light (0.1572)
5	Various (0.0847)	Inspect (0.1319)	Motion (0.1245)	Everyday life (0.1350)	Principle (0.1415)	Example (0.1522)	Utilize (0.1540)
6	Utilize (0.0777)	Explain (0.1238)	Understand (0.1171)	Procedure (0.1099)	Example (0.1393)	Utilize (0.1484)	Reason (0.1490)
7	Object (0.0708)	Compare (0.1094)	Express (0.1097)	Meaning (0.1064)	Light (0.1211)	Heat (0.0886)	Principle (0.1466)
8	Example (0.0631)	Property (0.0925)	Matter (0.0983)	Utilize (0.0943)	Utilize (0.1070)	Object (0.0711)	Probability (0.1339)
9	Inspect (0.0604)	Phenomenon (0.0823)	Relationship (0.0920)	Nature (0.0905)	Transform (0.0935)	Motion (0.0664)	Recognize (0.1119)
10	Principle (0.0561)	Method (0.0807)	Procedure (0.0830)	Explain (0.0854)	Energy (0.0906)	Everyday life (0.0604)	Inspect (0.0956)

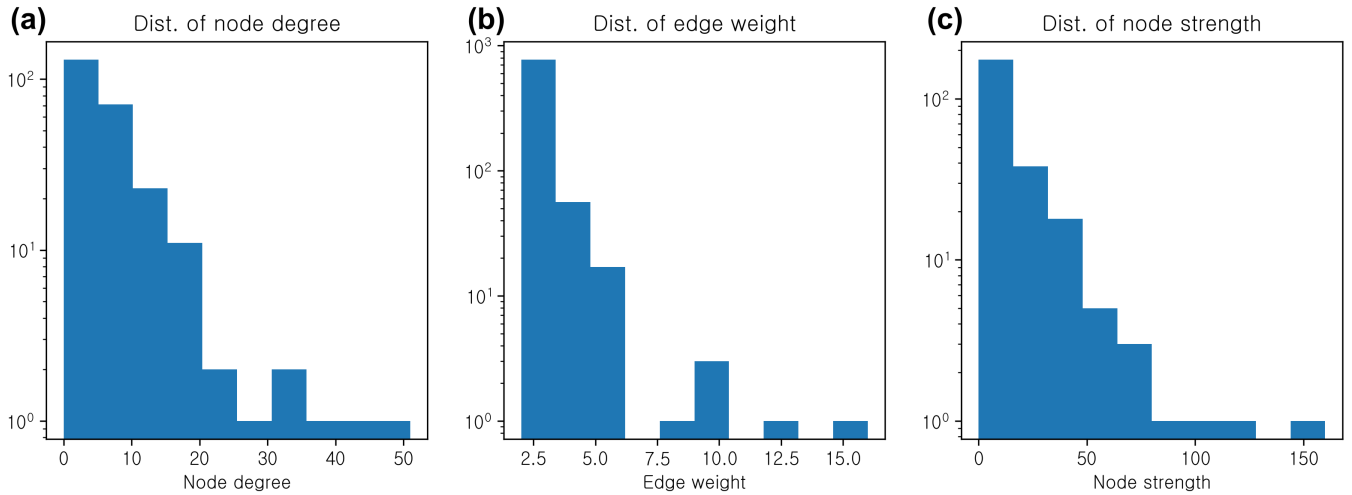


Fig. 3. For physics terms only, (a) degree, (b) edge-weight, and (c) node-strength distributions. Here all statistical values are obtained from the entire subjects.

따라 ‘일상생활(Everyday life)’의 중요성이 감소하였다. 이는 초·중학교 ‘과학’ 및 ‘통합과학’의 목표가 학생의 과학적 소양을 함양하는 것과는 달리, ‘물리학’과 ‘역학과 에너지’ 및 ‘전자기와 양자’의 목표가 물리학에 대한 기초 소양 및 학문적 소양 함양에 주목하기 때문으로 이해한다면, 분석 결과를 자연스럽게 받아들일 수 있다. 즉, 2022 개정 교육과정 물리학 분야 성취기준이 학생의 인지발달단계를 고려했음을 유추할 수 있다.

2. 물리학 용어

물리학 분야 성취기준을 구성하는 물리학 용어는 총 243개이며, 단어와 단어의 연결은 852개이다. 물리학 용어 네트워크의 노드 차수, 노드 연결강도 및 에지 가중치 분포들은 Fig. 3에 제시되었듯이, 전체 언어 네트워크와 마찬가지로 측정값들이 왼쪽으로 편중되어 있음을 확인할 수 있다. 특히, 노드 차수 분포는 멱급수 분포 $p \sim k^{-\gamma}$ 로 분석하면 γ 값이 4.08로 상당히 커서 척도 없는 네트워크보다는 무작위 네트워크에 더 가까운 결과로 해당 네트워크에서 두드러진 허브 노드가 존재하지 않음을 알 수 있었다.

물리학 용어 네트워크의 핵심 단어를 서술하기에 앞서, 이 네트워크의 구조가 보이는 특성을 살펴볼 필요가 있다. 우리는 물리학 용어 네트워크가 전체 언어 네트워크와 달리 연결이 끊긴 덩어리(component)들로 이루어져 있음을 대다수 과목에서 확인할 수 있었다. Figure 4에서 확인할 수 있듯이, ‘물리학’, ‘역학과 에너지’, ‘전자기와 양자’ 과목의 네트워크가 여러 덩어리로 분리되어 구성되어 있다.

이는 해당 과목을 이루는 개념들이 유기적으로 연결되지 않음을 의미한다. 따라서, 우리나라 교육과정의 내용 구성이 개념별로 분절적으로 제시되어 있으므로, 개념 간 연계성이 불분명하다는 점이 있음을 보여준다 [21].

이제 물리학 용어 네트워크의 핵심 단어를 살펴보자. 각 물리학 분야 과목의 핵심 단어는 Table 2에서 확인할 수 있다. 핵심 단어 분석의 주요 결과는 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 초·중학교 ‘과학’, ‘역학과 에너지’에서는 ‘물체(Object)’, ‘힘(Force)’, ‘운동(Motion)’ 등의 고전역학의 용어가 핵심 용어이다. 또한 ‘물리학’에서도 ‘에너지(Energy)’, ‘역학적에너지(Mechanical energy)’ 등 고전역학의 용어가 핵심 용어로 나타났다는 점은, 이 네 과목들이 서로 연계되어 있을 가능성을 간접적으로 보여준다. 둘째, ‘통합과학’과 ‘전자기와 양자’의 핵심 용어는 다른 과목의 핵심 용어들과 구분된다. 이 결과는 이 두 과목이 다른 과목들과의 연계가 부족할 수 있음을 보여준다. 특히 ‘통합과학’은 초·중학교 ‘과학’의 핵심 용어에서 등장하지 않은 천문학에 대한 내용이 주를 이루고 있다.

3. 커뮤니티 분석

물리학 용어의 단어 커뮤니티를 탐색하기 위해, 모든 과목에서 등장한 물리학 용어로 만든 언어 네트워크에서 커뮤니티를 탐색하였다. 언어 네트워크의 커뮤니티는 총 15개이며, 커뮤니티 분할로 얻은 모듈도의 값은 약 0.600이다. 경험적으로 모듈도 값이 0.3 이상이면 중요한 커뮤니티 구조가 있다고 판단할 수 있으므로 [16], 해당 커뮤니티 분할은 물리학 용어의 단어 커뮤니티에 대한 유의미한 정보를

Table 2. Top ten physics terms ranked by node strength (upper) and random-walk betweenness (lower) from all subjects to individual subjects; values are in parentheses.

Rank	All subjects	Elementary school science	Middle school science	Integrated science	Physics	Mechanics and energy	Electromagnetism and quantum
1	Object (80)	Object (25)	Object (31)	Earth (19)	Light (14)	Object (14)	Light (20)
2	Light (56)	Force (10)	Motion (27)	Element (13)	Energy (11)	Motion (13)	Probability (14)
3	Motion (48)	Matter (8)	Force (16)	Formation (13)	Transform (11)	Heat (13)	Digital (11)
4	Matter (47)	Gas (8)	Matter (15)	Early universe (13)	Mechanical energy (10)	Planet (11)	Quantum (11)
5	Force (35)	Light (8)	Gravity (12)	Transform (12)	Act (9)	Mechanical energy (10)	Intensity (10)
6	Energy (35)	Battery (8)	Transmit (11)	Matter (9)	Conservation law (8)	Act (9)	Direction (10)
7	Transform (33)	Electric circuit (8)	Particle (10)	Emission (7)	Semiconductor (8)	Force (9)	Energy (10)
8	Act (30)	Connection (8)	Model (10)	Light (7)	Sensor (7)	Spaceship (7)	Interference (9)
9	Phase (26)	Temperature (7)	Particle model (10)	Spectrum (7)	Heat (6)	Launch (7)	Nuclear fusion (7)
10	Heat (25)	Lever (6)	Direction (10)	Celestial bodies (7)	Interaction (6)	Conservation law (7)	Create (7)

Rank	All subjects	Elementary school science	Middle school science	Integrated science	Physics	Mechanics and energy	Electromagnetism and quantum
1	Light (0.2980)	Object (0.7883)	Object (0.4567)	Earth (0.7137)	Mechanical energy (0.5630)	Object (0.4517)	Light (0.7113)
2	Object (0.2871)	Light (0.3135)	Motion (0.4363)	Transform (0.3804)	Energy (0.4917)	Motion (0.3770)	Interference (0.4822)
3	Matter (0.1889)	Matter (0.2954)	Model (0.3158)	Matter (0.1313)	Conservation law (0.4905)	Planet (0.3526)	Energy (0.3001)
4	Motion (0.1488)	Gas (0.2560)	Force (0.3098)	Formation (0.1272)	Act (0.3420)	Mechanical energy (0.3168)	Probability (0.2685)
5	Energy (0.1466)	Phase (0.2368)	Transform (0.2864)	Early universe (0.1272)	Transform (0.3385)	Act (0.1081)	Inductor (0.1700)
6	Phase (0.1189)	Temperature (0.2066)	Resistance (0.2645)	Element (0.1272)	Sensor (0.2869)	Force (0.1081)	Digital (0.1687)
7	Transform (0.1167)	Water (0.1669)	Electric current (0.2587)	Energy (0.0816)	Heat (0.1609)	Kepler's laws (0.0843)	Quantum (0.1660)
8	Heat (0.1131)	Sound (0.1544)	Gravity (0.1821)	Hydrogen fusion (0.0816)	Kinetic energy (0.1127)	Satellite (0.0843)	Diffraction (0.1262)
9	Interference (0.0924)	Weight (0.1254)	Transmit (0.1646)	Flow (0.0816)	Potential energy (0.1127)	Gravity (0.0843)	Hologram (0.1262)
10	Transmit (0.0858)	Force (0.1145)	Matter (0.1579)	Mass (0.0816)	Work (0.1127)	Newton's laws of motion (0.0829)	Wave-particle duality (0.0697)

Table 3. Community detection results for the physics-term networks taken from the entire physics subjects. Here all terms belong to the largest component of the physics-term networks.

Community	Size	Words
1	51	Battery, Speaker, Parallel connection, Transformers, Electric current, Reflect, Resistance, Synthesis, Electric circuit, Light, Mass, Coal fuel, Resource, Transform, Power consumption, Input device, Conservation law, Inductor, Flow, Electric motor, Electrical signal, Magnetic flux, Magnetic field lines, Connection, Elastic waves, Route, Transmission, Perpetual mobile, Energy, Electric energy, Nuclear energy, Proceed, Generator, Hydrogen fusion, Magnetic action, Refraction, Electromagnetic induction, Capacitor, Model, Convex lens, Electrical appliance, Magnetic field, Serial connection, Wire, Sun, Sensor, Coil, Bulb, Voltage, Heat source, Mechanical energy
2	46	Motion, Friction force, Resultant force, Time, Object, Circular motion, Potential energy, Equipment, Horizontality, Kinetic energy, Location, Elastic force, Net force, Balances, Inertial frame, Share, Free fall, Force, Planet, Length contraction, Slope, Pole, Speed, Graph, Parabolic motion, Constant acceleration, Doppler effect, Straight line, Act, Magnet, Satellite, Work, Time dilation, Weight, Size, Velocity, Lever, Newton's laws of motion, Kepler's laws, Gravity, Distance, Torque, Equilibrium, Stability, Direction, Buoyancy
3	34	Uncertainty principle, Double slit experiment, Interference, Bohr atomic model, Control, Wave nature, String instrument, Noise, Transmit, Probability, Heat transfer, Space, Quantum cryptography communication, Quantum computer, Sound, Standing wave, Wave, Wind, Quantum, Diffraction, Frequency, Amplitude, Conduct, Sound wave, Hologram, Wave-particle duality, Superposition, Waveform, Length, Acoustic, Distribution, Radiation, Convection, Modern atomic model
4	32	Solar cell, Height, Atomic model, Amplification, Spaceship, Electric potential difference, Polarization, Momentum, Digital, Interaction, Crash, Laser, Electrostatic induction, Electric field, Charge, Launch, Photoelectric effect, Intensity, Orbit, Electricity, Electric force, Friction, Equipotential surface, Acceleration movement, Dielectric polarization, Reaction, Optical communication, Projectile, Impulse, Electric field lines, Escape speed, Optical sensor
5	30	Electron microscope, Particle model, Insulation, Specific heat, Internal energy, Duplicity, Solid, Diffusion, Matter, Phase, Heat energy, Evaporation, Vapor, Entropy, Particle, Water, Volume, Ice, Ideal gas, Pressure, System, Thermometer, Liquid, Heat, Irreversible phenomenon, Thermal equilibrium state, Temperature, Gas, Congelation, Thermal expansion
6	18	Nuclear fusion, Emission, Solar system, Element, Star, Renewable energy, Early universe, Earth, Electron, Create, Atom, Life, Energy efficiency, Formation, Universe, Energy level, Spectrum, Celestial bodies
7	13	Energy band, Lens, Insulator, Conductor, Optical equipment, Image, Electronic circuit, Aberration, Diode, Transistor, Flat mirror, Mirror, Semiconductor

담고 있음을 예상할 수 있다. 커뮤니티 간 관계를 파악하는 것이 중요하므로, 물리학 용어 네트워크의 가장 큰 덩어리 (largest component)에 속한 커뮤니티 집합에 주목하였다. 가장 큰 덩어리에 속한 커뮤니티는 총 7개이며, 각 커뮤니티에 소속된 단어와 그 개수는 Table 3에 제시하였다.

또한, 커뮤니티 분할 결과는 Fig. 5에서 시각적으로 표현하였다. 1번 커뮤니티(‘전구’, ‘전선’, ‘전자기유도’, ‘전기신호’ 등), 2번 커뮤니티(‘뉴턴운동법칙’, ‘포물선운동’, ‘원운동’, ‘위치에너지’ 등), 5번 커뮤니티(‘비가역현상’, ‘비열’, ‘열평형’, ‘엔트로피’ 등)와 같이 연관된 용어끼리 대체로 잘 묶여있음을 확인하였다. 그러나, 물리학 용어들이 잘 분류되지 않은 경우도 존재하였다. 예를 들어, ‘볼록렌즈’와 ‘영구기관’, ‘자석’과 ‘도플러효과’ 등이 같은 커뮤니티에 존재하였으며, ‘역학적에너지’와 ‘탈출속도’ 등의 개념이 ‘운동에너지’ 및 ‘위치에너지’가 속해 있는 커뮤니티가 아닌 별개의 커뮤니티에 소속되어 있었다.

이 결과로 유추해 볼 때, ‘역학적에너지’는 고전역학과 열역학 관련 성취기준에 포함되어 있었으나, ‘운동에너지’와 ‘위치에너지’는 고전역학 관련 성취기준에만 포함되어

있었기 때문에, 각 단어들이 서로 다른 커뮤니티에 속한 것으로 유추된다. 단순히 커뮤니티를 분할하는 것으로 물리학 용어 개념 간 연관성을 살펴보는 것은 어려울 수 있으므로, 커뮤니티 간 거리도 함께 측정하여 분석해 보았다.

Figure 6(a)는 어떤 커뮤니티의 노드와 그 노드가 속한 커뮤니티가 아닌 또 다른 커뮤니티의 임의의 노드 간 최단 경로 길이(shortest path length)의 평균값을 나타낸 것을 보여준다. 최단 경로 길이는 네트워크의 두 노드를 잇는 최단 거리를 의미한다. Figure 6(a)에서 6번 커뮤니티의 평균 최단 경로 길이가 짧고, 7번 커뮤니티의 경우는 길다. 이 결과로 평균 최단 경로 길이가 짧은 커뮤니티가 다른 단어 커뮤니티와 가깝기에 상관관계가 높음을 짐작할 수 있다. 반면에 7번 커뮤니티를 이루는 단어들(‘거울’, ‘렌즈’, ‘반도체’ 등)은 비교적 다른 단어와 연관성이 적다는 것도 유추할 수 있다. 더 나아가, 모든 두 커뮤니티간의 최단 경로 길이를 분석한 Fig. 6(b)는 다음과 같은 추가 결과를 보여준다. 6번 커뮤니티와 1번, 5번 커뮤니티가 가깝고, 반대로 7번 커뮤니티와 3번, 4번 커뮤니티는 멀다. 3번, 4번,

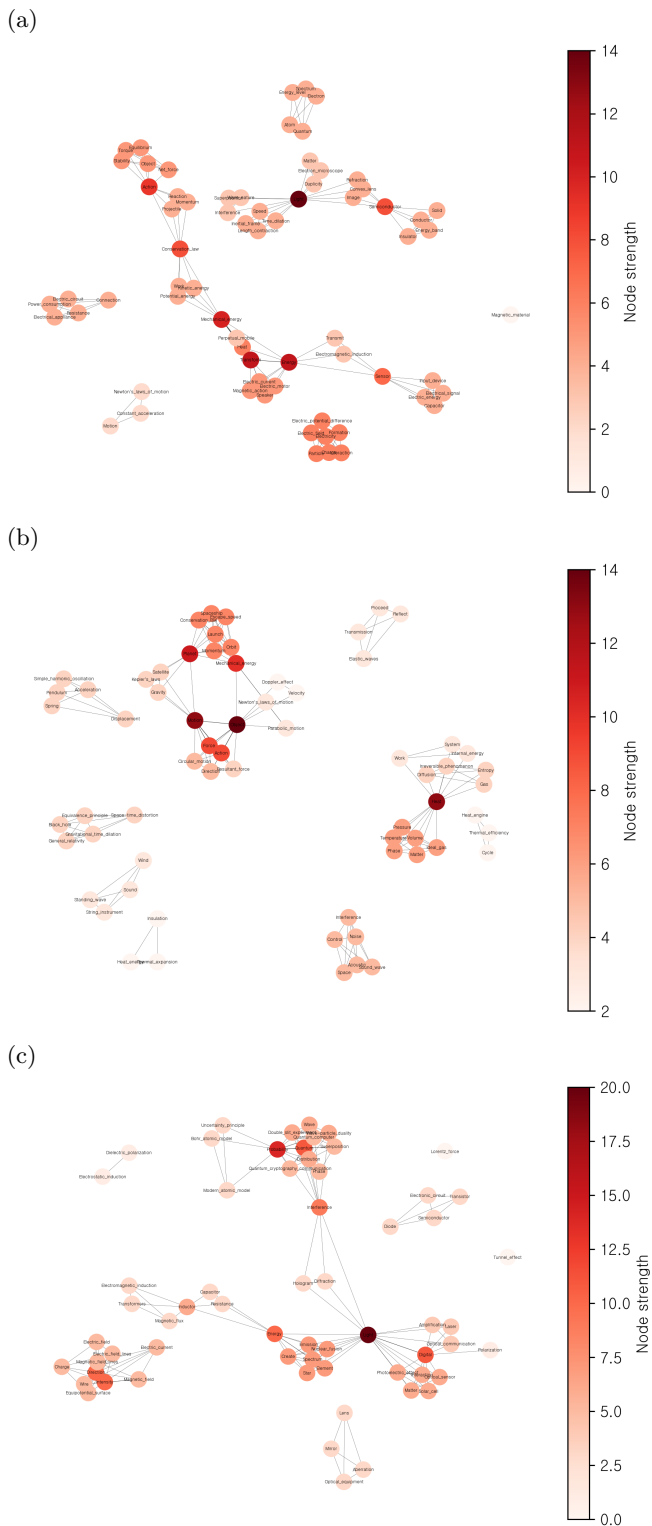


Fig. 4. (Color online) Physics-term networks for three different subjects: (a) 'Physics' (top), (b) 'Mechanics and Energy' (middle), (c) 'Electromagnetism and Quantum' (bottom). The darker the red color of a node, the stronger the node strength. The thicker the edge, the larger the edge weight.

7번 커뮤니티는 각각 음향학, 고전역학, 기하광학의 용어를 일부 포함하고 있는데, 국가 교육과정에서 기하광학과 음향학에 대한 내용들이 같은 내용체계로 분류되었음에도 불구하고, 커뮤니티 간 거리가 멀다는 것은 연계가 미흡한 부분이 있음을 방증한다.

4. 과목 연계성 분석

과목 연계성 분석을 위해 상위 노드가 물리학 분야 과목, 하위 노드는 물리학 용어인 이분 네트워크를 만든 후, 과목 노드로 이루어진 투영된 네트워크를 Fig. 7과 같이 재구성하여 제시하였다. 여기서, 초등학교 '과학'은 'Sci36'으로, 중학교 '과학'은 'Sci79'으로, '통합과학'은 'IntSci10'으로, '물리학', '역학과 에너지', '전자기와 양자'는 각각 'PHYS', 'CM', 'EM+QM' 노드로 표현하였다. 투영된 네트워크의 에지들의 중요성을 확인하기 위해 에지 가중치와 에지의 랜덤워크 매개 중심성을 활용하였다. 투영된 네트워크의 본래 에지 수는 총 15개이며, 에지 가중치와 랜덤워크 매개 중심성 상위 3개, 7개 값만 남겨 높은 연결성을 가진 에지를 확인하였다. 투영된 네트워크의 분석 결과는 다음과 세 가지로 요약할 수 있다.

첫째, 중학교 '과학'이 2022 개정 교육과정 물리 내용 학습의 핵심이다. 중학교 '과학'의 내용이 고등학교 물리학 분야 과목에서도 많이 등장함을 Fig. 7의 중학교 '과학'과 고등학교 '물리학' 및 '역학과 에너지'의 강한 연결에서 확인할 수 있다. 또한 초등학교에서 고등학교까지의 물리 학습에 중학교 '과학'의 내용이 중요하다는 것을, Fig. 7(d)에서 중학교 '과학'이 초등학교 '과학' 및 '물리학'과 모두 연결되어 있다는 점에서 확인할 수 있다.

둘째, '통합과학'은 교육과정에서 의도한 역할을 충실히 수행하지 못할 수도 있음이 우려된다. Figure 7(a), (b), (d), (e)에서 확인할 수 있듯이, '통합과학'은 초·중학교 '과학'과 고등학교 물리학 분야 과목과 온전히 연결되어 있지 않거나 그 연결이 약하게 나타났다. 즉, '통합과학'이 초·중학교에서 학습한 내용을 고등학교에서 배울 내용과 연결하고 있다고 보기 어렵다. 그러나, '통합과학'의 성취기준 수가 가장 적기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 유추할 수 있다. 그럼에도 '통합과학'의 에지 중에서 초등학교 '과학'을 연결하는 에지의 가중치와 매개 중심성 값이 비교적 작기 때문에, 결국 '통합과학'이 교육과정에서 의도한 본래의 역할을 수행하는데 어려움이 발생할 수 있음을 보여준다.

셋째, 고등학교 '물리학'과 '역학과 에너지', '전자기와 양자' 과목 간 연계성이 낮다. Figure 7(b)와 (e)에 제시된 결과는 고등학교 물리학 분야 과목 간의 연결이 부재하거나 약하다는 것을 보여준다.

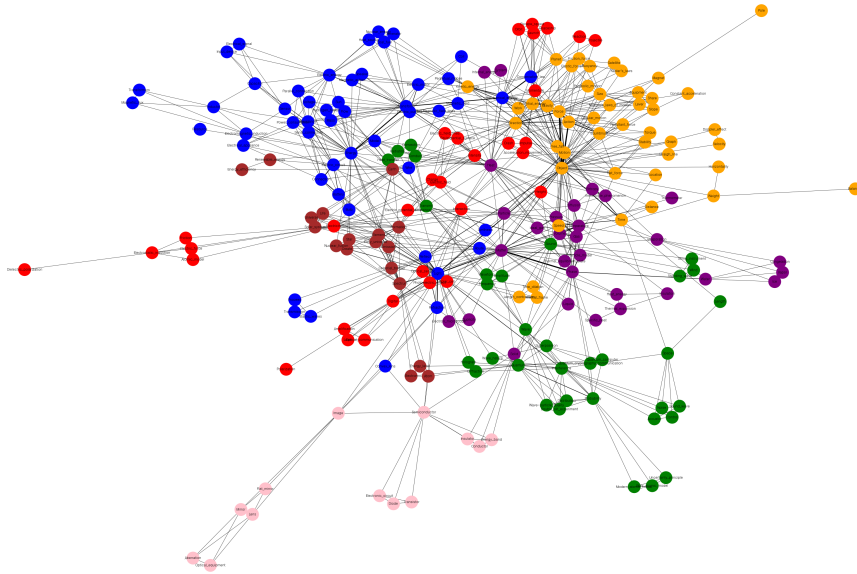


Fig. 5. (Color online) Community structure of the physics-term network taken from the entire physics subjects. Here all nodes belong to the largest component of the physics-term network.

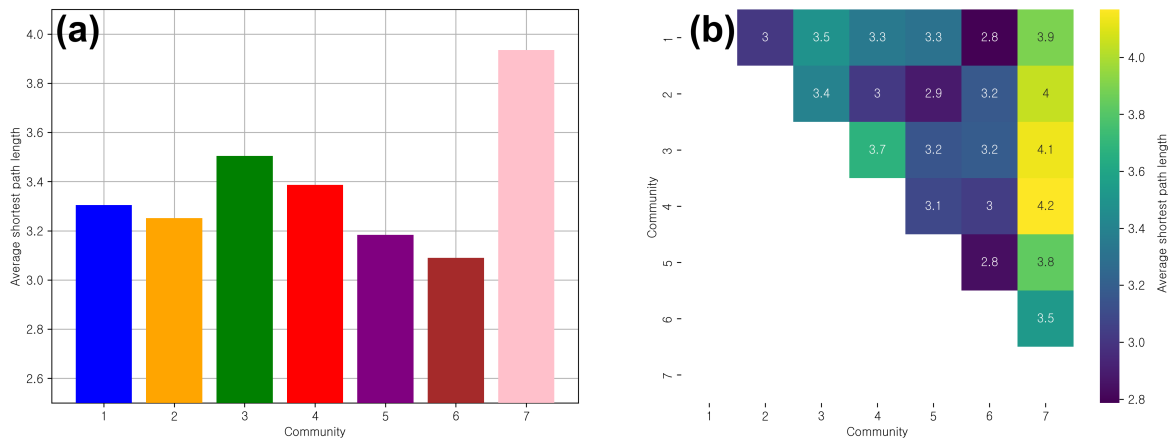


Fig. 6. (Color online) Average shortest path length (a) per community against nodes in all other communities, and that (b) against all pairing two communities, respectively.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 2022 개정 교육과정 물리학 분야 과목의 성취기준을 토대로 언어 네트워크를 생성한 후, 각 교과목의 핵심 단어를 도출하고 물리학 용어의 단어 커뮤니티를 파악하여, 물리학 분야 과목의 연계성을 제시하고 있다. 주요 연구 결과는 다음 세가지로 요약해 볼 수 있다.

첫째, 물리학 분야 성취기준을 구성하는 모든 단어 중에서 핵심 단어들은 과학적 사고와 과정 및 기능에 관한 결과이다. 이는 학년이 올라감에 따라 고차원적인 수준으로

상승했는데, 예컨대 초등학교에서는 ‘관찰’, ‘이용’과 같은 기초적인 탐구 기능이 강조되지만, 고등학교에서는 ‘설명’, ‘활용’과 같은 고차원적인 사고와 기능이 중요한 것으로 나타난다. 이는 교육과정이 학생의 인지 발달 단계를 고려한 것이라 유추할 수 있었다.

둘째, 물리학 분야 과목 간의 연계성은 물리학 분야 성취기준을 구성하는 단어 중에서 물리학 용어만을 분석하여 도출한 결과이다. 먼저, 물리학 용어 네트워크의 핵심 단어 분석 결과에 따르면, 초·중학교 ‘과학’, ‘물리학’, ‘역학과 에너지’는 고전역학의 용어가 핵심 용어로, 이 네 과목들이

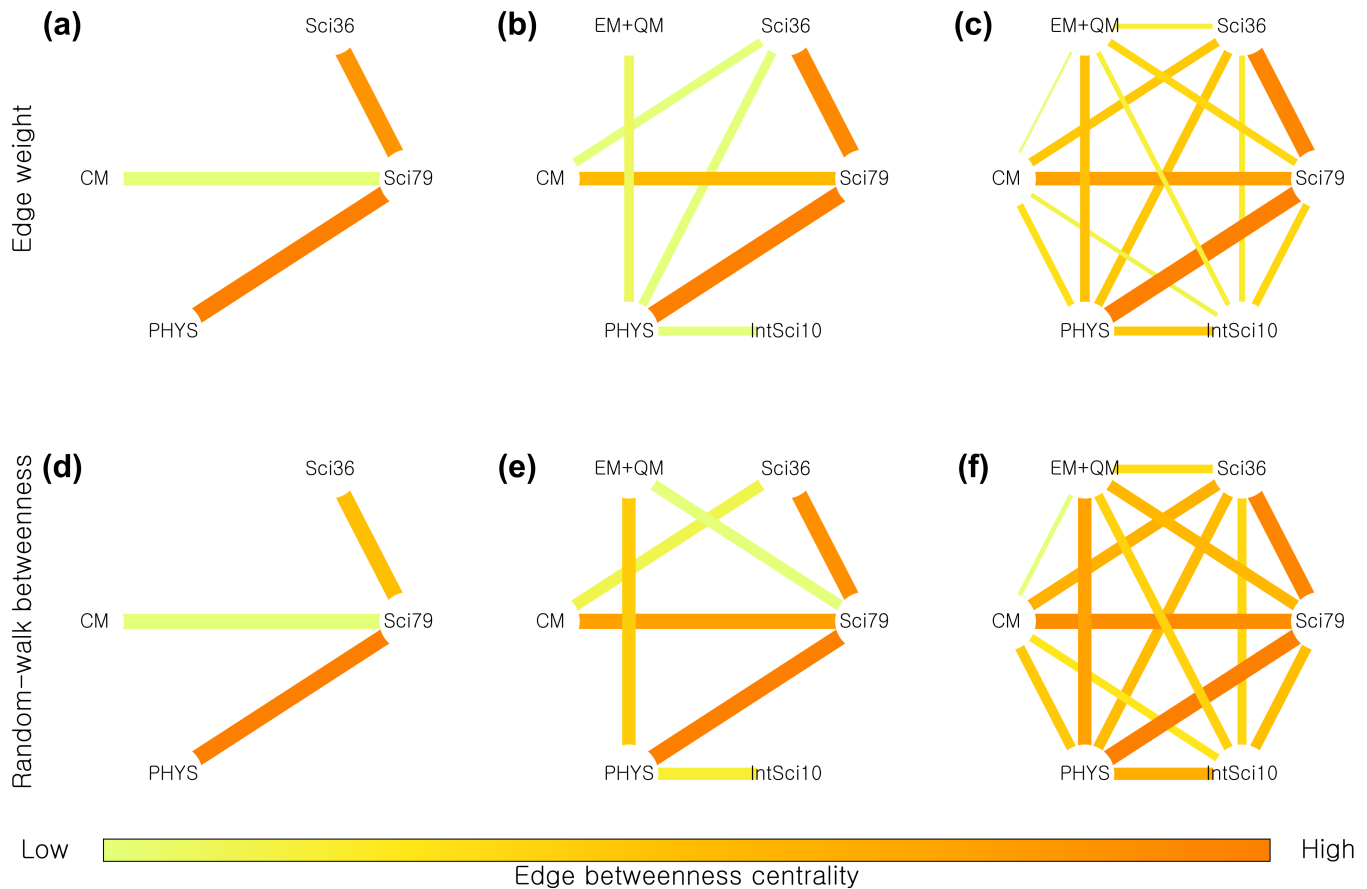


Fig. 7. (Color online) The subject-subject correlation analyses in the subjects weighted projection: the results of edge weight [(a), (b), and (c)] and random-walk betweenness [(d), (e), and (f)], respectively. Here the top three edges are presented for (a) and (d), the top seven edges are for (b) and (e), and all edges are for (c) and (f). The darker the red color and the thicker the line, the larger the edge betweenness centrality value: edge weight [(a)–(c)] and random-walk betweenness [(d)–(f)].

서로 연계되어 있을 가능성을 제시하였다. 반면에 ‘통합과학’과 ‘전자기와 양자’의 핵심 용어는 다른 과목들의 핵심 용어와 구분된다. 투영 네트워크를 활용한 과목 간 연계성 분석에서도, 중학교 ‘과학’을 중심으로 초등학교 ‘과학’, ‘물리학’, ‘역학과 에너지’가 연계되어 있음을 발견하였다. 그러나, 고등학교 물리학 분야 과목 간의 연계가 부족하다는 것도 확인되었다. 이는 2022 개정 교육과정 물리학 분야에 대한 선행 연구와 연결된다 [12]. 선행 연구에 따르면, 2022 개정 교육과정에서 학습량 감축은 중요한 문제였고, 이로 인해 개념과 개념 사이의 연결에 미흡한 부분이 발생할 수 있음이 이미 우려되었다. 또한, 교육과정 개발 과정에서 물리학 분야 내용의 중점을 고전물리학과 현대물리학 중 어디에 둘 것인지에 대한 논쟁의 여지가 있었다고 한다. 따라서, 학생의 학습 부담을 경감하고 급변하는 사회에 필요한 지식을 선택적으로 담으려는 노력이 자칫 고등학교 물리학 분야 과목 간의 개념 연계 부족을 초래할 가능성이 있음을 본 연구에서도 확인하였다.

셋째, ‘통합과학’의 성취기준은 교육과정이 의도한 원래 목적을 수행하기에 미흡할 수 있다는 결과가 도출되었다. ‘통합과학’은 중학교까지 학습한 과학 내용을 연계해 미래 사회에 필요한 과학적 소양을 갖추고, 고등학교 과학과 선택과목 학습에 필요한 과학 기초 학력을 보장하기 위해 존재한다. 하지만, 과목 간 연관성/연계성 분석 결과로 살펴본 ‘통합과학’은 초·중학교 ‘과학’의 내용과 고등학교 물리학 분야 과목의 내용을 온전히 연결하지 못할 수도 있음이 확인되었다. 이 결과는 ‘통합과학’이 핵심 개념을 중심으로 학습량을 조절하는 과정에서, 학습 내용의 구성과 순서에서 단절, 즉 내용을 온전히 전달하지 못해 발생한 것이라 볼 수 있다 [22,23]. 따라서, ‘통합과학’이 국가 교육과정이 의도한 본래의 목표를 도달하기 위해, 현장교육자 및 연구자들의 개선 노력이 불가피해 보임을 알 수 있었다.

2022 개정 교육과정 물리학 분야에 대해 분석한 본 연구 결과가 성공적인 학교교육에 기초가 되는 자료를 제공해

줄 것이라 기대해 본다. 그런 맥락에서 연구에서 미처 해결하지 못하거나 추가 후속연구로 남겨둔 두 가지 측면들을 간략히 논하고 본 논문을 마무리하고자 한다.

방법론적 측면에서, 네트워크 커뮤니티 탐색으로 물리학 용어의 단어 커뮤니티를 찾는 것에 본 연구의 한계가 존재하였다. 우리는 하나의 단어가 하나의 단어 커뮤니티에 속한다고 가정하거나 그 가정을 한 알고리즘을 활용하였다. 하지만, 하나의 단어가 꼭 하나의 단어 커뮤니티에 속할 당위성은 명확하지는 않다. 따라서, 후속 연구에서는 중첩된 커뮤니티 [24]를 활용한 언어 네트워크를 분석함으로써 교육과정을 더욱 면밀히 탐구해 볼 수 있다.

교육학적인 측면에서, 교육과정의 성취기준을 활용한 본 연구는 교과서를 포함한 다른 교수매체에 대한 분석을 배제하여 수행하였다. 그러나, 교육현장에서는 교육과정에서 파생된 교수매체에 대한 의존도가 높으므로, 이들을 성취기준과 연계한 분석도 함께 필요하다. 또한, 교육현장에서는 교육과정의 학습 내용 간 부족한 연계를 통합 단원의 도입으로 해결하려는 노력이 필요하다. 통합 단원은 학습 내용이 맥락과 상관없이 분절되어 나열되어 있는 획일화된 교육 방식에서 벗어나, 지식중심의 학습이 아닌 소재중심의 융합탐구를 목표로 한다 [25]. 통합 단원의 운영이 학생의 물리학 분야 학습에 어떤 영향을 주는지를 확인해 보는 연구도 의미 있는 결과를 도출할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아서 수행되었습니다(2020학년도 교내연구비, M.H.).

APPENDIX

본 연구에 사용한 데이터와 프로그램, 그리고 한글 자료들은 공개 링크를 통해 추가로 확인할 수 있다: https://github.com/jabamseo/24Phys_curr.

REFERENCES

- [1] Ministry of Education, The Science Curriculum, Statute Notice of Ministry of Education No. 2022-33, Sejong: Ministry of Education (2022).
- [2] Y. Kwak, Monitoring Study on the Implementation of the 2015 National Science Curriculum in Elementary and Secondary Schools, 2019.
- [3] B. Lee and K. Kang, Analysis on Achievement Standards of the 2015 Revised Curriculum and Learning Objectives of Physics I Textbooks Based on Bloom's Revised Taxonomy, New Phys.: Sae Mulli **69**, 1177 (2019).
- [4] K. Kang, Comparison of Achievement Standards in Physic of 2015 and 2022 Revised Curriculum - Based on Bloom's Revised Taxonomy of Educational Objectives, New Phys.: Sae Mulli **73**, 941 (2023).
- [5] H. Jho, Comparing the 2015 with the 2022 Revised Primary Science Curriculum Based on Network Analysis, J. Korean Elem. Sci. Educ. **42**, 178 (2023).
- [6] H. Jho, H. Noh and J. Choi, Network Analysis of Achievement Standards Relevant to the Concept of Energy Presented in the 2022 Revised National Curriculum of Science, J. Energy Clim. Change Educ. **13**, 125 (2023).
- [7] E. Yun and Y. Park, Articulation Analysis of Electromagnetism Units in Middle-school Science and Physics I and II Courses in the 2009 National Curriculum, New Phys.: Sae Mulli **64**, 458 (2014).
- [8] J. Lim and B. Lee, Analysis of High-school Students' Difficulty Related to Conceptual Knowledge in Solving Problems in Classical Mechanics, New Phys.: Sae Mulli **65**, 333 (2015).
- [9] S. Rhee, I. Nam and S. Im, A Relationship between Scientific Key Competencies and Achievement Standards in Physics under the 2015 Revised National Curriculum of Korea, New Phys.: Sae Mulli **68**, 1081 (2018).
- [10] Y. Song, Semantics Network Analysis of the Activation Words for 'Energy' Terminology Used by Secondary Pre-Service Science Teachers, New Phys.: Sae Mulli **68**, 889 (2018).
- [11] K. Seo and Y. Kim, Changes in Articulation of Stimulus and Reaction Unit Concepts according to Revision of Curriculum Using Semantic Network Analysis, Biol. Educ. **48**, 20 (2020).
- [12] S. Im, 2022 Revised Curriculum and Secondary School Physics Education, Phys. High Technol. (2023).
- [13] Khaiiii(Kakao Hangul Analyzer III), <https://github.com/kakao/khaiiii>.

- [14] Physics Glossary, <https://edss.moe.go.kr/man/MainRM.do>.
- [15] M. E. J. Newman, A measure of betweenness centrality based on random walks, *Soc. Netw.* **27**, 39 (2005).
- [16] A. Clauset, M. E. J. Newman and C. Moore, Finding community structure in very large networks, *Phys. Rev. E* **70**, 066111 (2004).
- [17] F. Menczer, S. Fortunato and C. A. Davis, *A first course in network science* (Cambridge University Press, Cambridge, 2020), pp. 163–172.
- [18] A. Hagberg, P. Swart and D. S. Chult, Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX. No. LA-UR-08-05495; LA-UR-08-5495. Los Alamos National Lab.(LANL), Los Alamos, NM (United States), 2008.
- [19] M. Girvan and M. E. J. Newman, Community structure in social and biological networks, *Proc. Natl. Acad. Sci.* **99**, 7821 (2002).
- [20] A. L. Barabási and R. Albert, Emergence of scaling in random networks, *Science* **286**, 509 (1999).
- [21] J. Lee and J. B. Kim, A Comparative Study on the Concept of Light Presented in Elementary School Science Curriculum and Textbooks in Korea, the US, China, and Japan, *J. Korean Elem. Sci. Educ.* **41**, 283 (2022).
- [22] D. Park, M. Kwon, S. Ha and H. M. Choi, A Study on the Vertical Articulation of Physics in the 2015 Revised National Curriculum: Focused on the Middle School Science and the High School Integrated Science, *New Phys.: Sae Mulli* **73**, 515 (2023).
- [23] B. Lee *et al.*, Concerns and Difficulties in Applying the National Curriculum in the Process of Developing Science Textbooks: Focused on ‘Integrated Science’ of the 2022 Revised National Science Curriculum, *J. Korean Assoc. Sci. Educ.* **44**, 219 (2024).
- [24] A. L. Barabási, *Network science* (Cambridge University Press, Cambridge, 2016), pp. 346–348.
- [25] H. Chae, S. Noh and S. Lee, Analysis of Characteristics of Material-Centered Integrated Unit in Finland Elementary Science Textbook, *J. Korean Elem. Sci. Educ.* **35**, 26 (2016).