미국 차세대 과학교육표준(The Next Generation Science Standards) : 물리 개념을 중심으로

DOI: 10.3938/PhiT.23.026

문 공 주

The Next Generation Science Standards: A Focus on Core Ideas of Physical Science

Kongju MUN

New K-12 science standards, so-called the Next Generation Science Standards (NGSS), that are rich in content and practice through collaboration have been developed through a state-led process. The NGSS is based on the Framework for K-12 Science Education developed by the National Research Council. The overall goal of the Framework and the NGSS is to help all students develop the science and engineering understanding that they will need to live successful, informed, and productive lives and that will help them to find connections between science and their future careers. Students should be evaluated based on their understanding of a full disciplinary core idea. Multiple scientific and engineering practices and cross-cutting concepts are represented across the performance expectations for a given disciplinary core idea. The Framework and the NGSS focus on a limited number of core ideas of science and engineering both within and across the science disciplines that are essential to explain and predict phenomena that students will encounter in their everyday lives and that will allow them to continue to learn throughout their lives. Core ideas are powerful in that they are central to the disciplines of science,

provide explanations of phenomena, and are the building blocks for learning within a discipline. Physical-science ideas are critical to understanding natural phenomena. The NGSS suggests four core ideas in the physical sciences: the structure and properties of matter, motion and stability, energy, and waves and their applications in technologies for information transfer. The core ideas discussed above should be developed from elementary through high school as each year, students' ideas become more sophisticated, allowing them to more completely explain phenomena and to be able to explain more phenomena. Considering the core ideas in the NGSS can provide an alternative perspective for us to solve the problems that Koreans face.

들어가는 글

2011년 미국의 국가연구재단(NRC)에서는 과학교육의 목표를 새롭게 하고, 21세기 인재양성을 위한 과학교육의 새 프레임워크(Framework)를 제안하였다(NRC, 2012). 미국의 과학교육 새 프레임워크는 STEM(Science Technology Engineering and Mathematics) 관련 직업군으로 갈 수 있는 인재 양성의 파이프 라인 구축을 위한 교육 개혁을 시도하고 있으며, 이를 위해 과학과 공학의 통합을 강조하였다. 또한 STEM 프로그램은 최근 미국 과학 교육의 이공계 기피 현상의 해결을 위한 역할을 할 것으로 기대되면서, 이와 관련된 다양한 교육 프로그램의 개발 및 시행이 이루어지고 있는 실정이다. 새로운 프레임워크가 발표된 후, 이를 교육 현장에 실현할 수 있도록 차세대 과학교육 표준(Next Generation Science Standards)이 2013년 7월에 공포되었으며, 현재 캘리포니아 주를 포함한 20여개 주에서 차세대 과학교육 표준(이하 NGSS라 칭함)을 따를 것을 확정하였다.

미국 과학교육과정은 1996년 '프로젝트 2061'에서 정의한 "모든 미국인이 갖추어야 할 과학적 소양(Science for all Americans)"을 교육 목표로 하는 National Science Education Standard(NRC, 1996)가 발표된 이후, 17년 만에 새로운 교육

저자약력

문공주 박사는 이화여자대학교 대학원에서 2009년 과학교육학으로 박사학위를 받고, 2009년부터 2012년까지 이화여자대학교 WCU 사업단에서 21세기 글로벌 과학 소양 함양을 위한 교육프로그램 개발 연구에 참여하여 글로벌 과학 소양 측정 도구와 교재를 개발하였다. 그 후 2012년부터 1년간 미국 미시건 주립대학교(Michigan State University)에서 박사후연구원으로 아이패드를 이용한 탐구 학습과 과학 교사들을 위한 NGSS 워크숍 교육 자료 개발에 참여하였다. 현재 이화여자대학교에서 과학교재연구 강의를 하고 있으며, 초등 디지털 교과서 기획 연구와 중등 과학자적 발견 탐구 실험 개발연구를 진행하고 있다. (mkj@ewha.ac.kr)

목표를 제안하고 있다. NGSS의 기반이 되는 새 프레임워크는 적은 수의 핵심 개념을 중심으로 하여 과학 개념의 깊은 이해를 목표로 하고 있으며, 과학과 공학을 통합하는 교육을 강조하고 있다. 또한 모든 교과 영역에 적용될 수 있는 공통적인 인식적 개념의 이해로 크로스커팅 개념(crosscutting concepts)을 제안하여, 내용지식을 과학적/공학적인 방법, 크로스커팅 개념과 통합하여 교육할 때 과학교육의 목표를 성취할 수 있을 것이라 기대하고 있다.

본 글에서는 위와 같은 변화의 맥락에서 “미국의 차세대 과학 교육 표준(NGSS)에 따라 어떤 물리 개념을 어떻게 가르치고 배우게 될 것인가?”라는 질문을 가진 분들에게 NGSS의 구조와 특성을 쉽게 이해할 수 있도록 설명하려 노력하였으며, K-12 과정에서 가르치도록 안내된 물리 개념의 종류와 수준을 안내하고자 하였다. 새 프레임워크와 NGSS 문서는 National Academics Press 웹사이트(<http://www.nap.edu>)를 통해 전문을 e-book으로 읽거나 PDF로 다운로드 받을 수 있으며, 이 글의 내용은 모두 새 프레임워크와 NGSS 문서의 내용을 기반으로 하였다.

미국 차세대 과학교육 표준 (Next Generation Science Standards)

미국 국가연구재단(NSF)은 차세대 과학교육 표준(NGSS)의 발표 이전에 새로운 교육 표준의 개발을 위한 개념적, 이론적 기반을 마련하기 위한 연구를 우선적으로 실시하였으며, 그 결과를 ‘K-12 과학교육을 위한 프레임워크(A Framework for K-12 Science Education, NRC, 2012)’로 출판하였다. 프레임워크는 과학과 공학의 통합과 학생들의 진로를 고려한 교육과정의 필요성을 강조하고 있다. 프레임워크는 과학 교육에서 배워야 할 내용을 세 개의 영역으로 나누어 제안하고 있다. 세 영역은 과학적/공학적인 방법(Scientific and Engineering Practices), 크로스커팅 개념(Crosscutting Concepts), 핵심 개념(Disciplinary Core Ideas)이다. 과학적/공학적인 방법은 과학자와 공학자들이 자연을 이해하기 위한 연구를 수행하는 데 사용하는 다양한 방법으로 NGSS에서는 다음과 같은 8가지 과학적/공학적인 방법을 제안하였다. (1) 질문하기(과학)와 문제정의하기(공학), (2) 모형을 개발하고 이용하기, (3) 실험을 설계하고 수행하기, (4) 자료를 분석하고 해석하기, (5) 수학과 컴퓨팅 사고력(computational thinking)을 이용하기, (6) 설명 구성하기(과학)와 해결방법 고안하기(공학), (7) 증거에 기반을 두고 논증에 참여하기, (8) 정보를 수집/평가/전달하기.

크로스커팅 개념은 기존의 과학 개념과 과학적 방법으로 양분화되었던 과학 교육의 학습 영역 외에 다른 교과영역 모두를 통합적으로 이해하는 데 기반이 되는 개념으로 NGSS에서 새

- ▣ Asking questions (for science) and defining problems (for engineering)
- ▣ Developing and using models
- ▣ Planning and carrying out investigations
- ▣ Analyzing and interpreting data
- ▣ Using mathematics and computational thinking
- ▣ Constructing explanations (for science) and designing solutions (for engineering)
- ▣ Engaging in argument from evidence
- ▣ Obtaining, evaluating and communicating information

Fig. 1. Scientific and Engineering Practices.

롭게 강조된 것이다. 크로스커팅 개념은 과학적/공학적인 방법에서 제시된 8가지 방법들과 함께 자연 현상을 설명하고 핵심 과학개념의 이해를 위해 사용될 수 있는 특성을 가진다. 또한 과학적/공학적인 방법이 과학/공학의 방법이나 수행과정을 통한 것이라면, 크로스커팅 개념은 이와 달리, 인지적 도구의 역할을 할 수 있는 개념적 이해를 의미한다. 크로스커팅 개념은 모든 교과영역에서 적용할 수 있는 생각 즉 아이디어이며, 자연 현상을 이해할 수 있도록 돕는 인지적 연결 및 지적 도구를 의미한다. 따라서 크로스커팅 개념을 이해하고 있으면 일관성 있게 과학학습이 일어날 수 있고, 복잡한 과정과 개념을 이해하는데 도움이 된다. NGSS는 크로스커팅 개념으로 다음 7가지를 제안하였다. (1) 패턴, (2) 원인과 결과, (3) 크기, 비례, 양, (4) 시스템과 시스템 모형, (5) 에너지와 물질, (6) 구조와 기능, (7) 유지와 변화: 각각의 개념에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) 패턴

자연에서 어떤 패턴이 관찰되면, 이러한 패턴이 생겨난 원인이 무엇인지, 어떤 것들과 관계가 있는지와 같은 질문이 생겨나게 되고, 관찰된 패턴에 바탕을 두고 조직하고 분류할 수 있다.

(2) 원인과 결과: 원리와 설명

어떤 사건이 발생한 것에는 원인이 있다. 때로는 그 원인이 간단하기도 하고 복잡하기도 하다. 무엇이 이러한 원인과 결과의 관계와 원리를 만드는지 찾는 것이 과학의 주요 활동이다.

(3) 척도, 비율, 양

자연현상을 관찰할 때, 크기, 시간, 에너지를 나타내는 적절

REFERENCES

- [1] National Research Council (NRC), National Science Education Standards (Washington, DC, National Academies Press, 1996).
- [2] National Research Council (NRC), A framework for K-2 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas (Washington, DC, National Academies Press, 2012).
- [3] National Research Council (NRC), Next Generation Science Standards (Washington, DC, National Academies Press, 2013).

한 척도를 구별하는 능력은 중요하다. 그리고 크기가 변할 때 양적인 변화들의 관계를 비례적으로 이해할 수 있어야 한다.

(4) 시스템과 시스템 모형

연구를 바탕으로 시스템을 정의하고 모형을 개발하는 것은 과학과 공학의 모든 영역에서 이해를 돕는 도구가 될 수 있다.

(5) 에너지와 물질: 흐름, 순환, 보존

에너지와 물질의 흐름이 시스템의 어디로부터 흘러 들어오고, 어디로 흘러 나가는지를 파악하는 것은 시스템의 기능을 이해하는 데 도움이 된다.

(6) 구조와 기능

대상의 형태나 구조에 따라 기능과 특성이 결정된다.

(7) 유지와 변화

시스템에서 안정의 상태와 변화의 정도를 통제하는 것은 중요하다.

핵심 개념(Disciplinary Core Ideas)은 학술적으로 중요한 개념으로 자연현상과 이론에 대한 설명력이 높은 특성을 가지는 것으로 정의한다. 또한 핵심개념은 새로운 개념을 생성할 수 있고 인간의 삶과 높은 연관성을 지녀야 한다. NGSS는 적은 수의 핵심 개념의 이해를 과학 교육의 목적으로 하여 K-12 전 학년에 걸쳐 사용 가능한 12개의 개념을 제안하였다. 핵심 개념은 물리 화학(Physical Sciences, 물리와 화학이 통합된 교과), 생명과학(Life Sciences), 지구과학(Earth and Space Sciences), 공학, 기술 그리고 과학의 적용(Engineering, Technology and Applications of Science)의 네 개 영역으로 나누어 소개되고 있다.

NGSS는 개발과정에서 다음의 다섯 가지 원리를 적용하였다. 첫째, 적은 숫자의 핵심 개념을 강조한다. 둘째, 크로스커팅 개념을 통해 자연현상을 설명할 수 있는 능력을 향상한다. 셋째, 과학적 방법과 공학적 방법을 통합한다. 넷째, 수행목표(performance expectation)를 달성하기 위해 과학적/공학적인 방법과 내용지식을 함께 배운다. 다섯째, 전 학년에 걸친 일관성 있는 과학 개념 학습을 제공하여 핵심 개념의 깊은 이해를 돕는다. 따라서 NGSS는 학년별, 주제별로 수행목표 달성을 위한 과학/공학적인 방법, 핵심 개념, 크로스커팅 개념이 함께 소개되어 있어, 이러한 요소들을 통합적으로 교수·학습할 수 있도록 안내하고 있다. 그림 2는 중학교의 '파동과 정보기술' 핵심 개념 학습을 위한 교육 표준의 예시로, 수행목표, 과학/공학적인 방법, 핵심 개념, 크로스커팅 개념이 NGSS 문서에 어떻게 표시되어 있는지를 보여준다. NGSS에 나타난 수행목표와 특성에 따라 물리 영역의 교육과정이 어떻게 구현될 수 있는지, NGSS에 나타난 물리 영역 핵심 개념을 다음에서 살펴보도록 하겠다.

MS-PS4 Waves and Their Applications in Technologies for Information Transfer							
<p>MS-PS4 Waves and Their Applications in Technologies for Information Transfer</p> <p>Students who demonstrate understanding can:</p> <p>MS-PS4-1. Use mathematical representations to describe a simple model for waves that includes how the amplitude of a wave is related to the energy in a wave. (Clarification Statement: Emphasis is on describing waves with both qualitative and quantitative terms.) (Assessment Boundary: Assessment does not include electromagnetic waves and is limited to mechanical waves.)</p> <p>MS-PS4-2. Develop and use a model to describe that waves are reflected, absorbed, or transmitted through various materials. (Clarification Statement: Emphasis is on both light and mechanical waves. Examples of models could include drawings, simulations, and written descriptions.) (Assessment Boundary: Assessment is limited to qualitative applications pertaining to light and mechanical waves.)</p> <p>MS-PS4-3. Integrate qualitative scientific and technical information to support the claim that digital signals are a more reliable way to encode and transmit information than analog signals. (Clarification Statement: Emphasis is on a basic understanding that waves can be used for communication purposes. Examples could include using the claim code to transmit light pulses, radio-wave signals in cell phones, and conversion of stored binary patterns to make sound or text on a computer screen.) (Assessment Boundary: Assessment does not include binary coding.)</p>	<p>제목</p> <p>수행목표의 기술</p>						
<p>The performance expectations above were developed using the following elements from the NRC document, <i>A Framework for K-12 Science Education</i>:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Science and Engineering Practices</th><th>Disciplinary Core Ideas</th><th>Crosscutting Concepts</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <p>Developing and Using Models</p> <p>Hypothesize in 2-D and 3-D and propose a model to describe, explain, and predict more detail.</p> <p>Use models and data to explain phenomena.</p> <p>Use mathematical representations to describe and/or support scientific explanations and design solutions.</p> <p>Observe, explain, and communicate information in 2-D builds on 1-D and 3-D and includes the most and variety of uses and materials.</p> <p>Integrate qualitative scientific and technical information to support a claim and/or design solution.</p> </td><td> <p>PS4.A: Wave Properties</p> <ul style="list-style-type: none"> A simple wave has a repeating pattern with a specific wavelength, frequency, and amplitude. Light is a transverse wave. <p>PS4.B: Electromagnetic Radiation</p> <ul style="list-style-type: none"> Visible light shines on an object, it is reflected, absorbed, or transmitted through the object, depending on the object's properties. The path that light travels can be traced as straight lines, except at surfaces between different transparent materials. Light, sound, and water, air, and gases) where the light path bends. However, because light can travel through space, it cannot be a matter wave, but sound or water waves. <p>PS4.C: Information Technology and Instrumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> Digital signals (such as those used in a computer) are a more reliable way to encode and transmit information. </td><td> <p>Patterns</p> <ul style="list-style-type: none"> Graphs and charts can be used to identify patterns in data. <p>Structure and Function</p> <ul style="list-style-type: none"> Structure can be designed to serve particular functions by taking into account properties of materials. Structure, and how it is designed, can be improved and used. Structure can be designed to serve particular functions. <p>Connections to Engineering, Technology, and Applications of Science</p> <ul style="list-style-type: none"> Influence of Science, Engineering, and Technology on Society and the Natural World Advances in technology influence the progress of science and science has influenced advances in technology. </td></tr> </tbody> </table>	Science and Engineering Practices	Disciplinary Core Ideas	Crosscutting Concepts	<p>Developing and Using Models</p> <p>Hypothesize in 2-D and 3-D and propose a model to describe, explain, and predict more detail.</p> <p>Use models and data to explain phenomena.</p> <p>Use mathematical representations to describe and/or support scientific explanations and design solutions.</p> <p>Observe, explain, and communicate information in 2-D builds on 1-D and 3-D and includes the most and variety of uses and materials.</p> <p>Integrate qualitative scientific and technical information to support a claim and/or design solution.</p>	<p>PS4.A: Wave Properties</p> <ul style="list-style-type: none"> A simple wave has a repeating pattern with a specific wavelength, frequency, and amplitude. Light is a transverse wave. <p>PS4.B: Electromagnetic Radiation</p> <ul style="list-style-type: none"> Visible light shines on an object, it is reflected, absorbed, or transmitted through the object, depending on the object's properties. The path that light travels can be traced as straight lines, except at surfaces between different transparent materials. Light, sound, and water, air, and gases) where the light path bends. However, because light can travel through space, it cannot be a matter wave, but sound or water waves. <p>PS4.C: Information Technology and Instrumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> Digital signals (such as those used in a computer) are a more reliable way to encode and transmit information. 	<p>Patterns</p> <ul style="list-style-type: none"> Graphs and charts can be used to identify patterns in data. <p>Structure and Function</p> <ul style="list-style-type: none"> Structure can be designed to serve particular functions by taking into account properties of materials. Structure, and how it is designed, can be improved and used. Structure can be designed to serve particular functions. <p>Connections to Engineering, Technology, and Applications of Science</p> <ul style="list-style-type: none"> Influence of Science, Engineering, and Technology on Society and the Natural World Advances in technology influence the progress of science and science has influenced advances in technology. 	<p>크로스커팅 개념</p> <p>핵심 개념</p> <p>과학적/공학적인 방법</p>
Science and Engineering Practices	Disciplinary Core Ideas	Crosscutting Concepts					
<p>Developing and Using Models</p> <p>Hypothesize in 2-D and 3-D and propose a model to describe, explain, and predict more detail.</p> <p>Use models and data to explain phenomena.</p> <p>Use mathematical representations to describe and/or support scientific explanations and design solutions.</p> <p>Observe, explain, and communicate information in 2-D builds on 1-D and 3-D and includes the most and variety of uses and materials.</p> <p>Integrate qualitative scientific and technical information to support a claim and/or design solution.</p>	<p>PS4.A: Wave Properties</p> <ul style="list-style-type: none"> A simple wave has a repeating pattern with a specific wavelength, frequency, and amplitude. Light is a transverse wave. <p>PS4.B: Electromagnetic Radiation</p> <ul style="list-style-type: none"> Visible light shines on an object, it is reflected, absorbed, or transmitted through the object, depending on the object's properties. The path that light travels can be traced as straight lines, except at surfaces between different transparent materials. Light, sound, and water, air, and gases) where the light path bends. However, because light can travel through space, it cannot be a matter wave, but sound or water waves. <p>PS4.C: Information Technology and Instrumentation</p> <ul style="list-style-type: none"> Digital signals (such as those used in a computer) are a more reliable way to encode and transmit information. 	<p>Patterns</p> <ul style="list-style-type: none"> Graphs and charts can be used to identify patterns in data. <p>Structure and Function</p> <ul style="list-style-type: none"> Structure can be designed to serve particular functions by taking into account properties of materials. Structure, and how it is designed, can be improved and used. Structure can be designed to serve particular functions. <p>Connections to Engineering, Technology, and Applications of Science</p> <ul style="list-style-type: none"> Influence of Science, Engineering, and Technology on Society and the Natural World Advances in technology influence the progress of science and science has influenced advances in technology. 					
<p>Connections to other DCIs in this gradeband: MS-LS1.B (MS-PS4-1), MS-PS4-2, MS-PS4-3, MS-PS4-4, MS-PS4-5, MS-PS4-6, MS-PS4-7, MS-PS4-8, MS-PS4-9, MS-PS4-10, MS-PS4-11, MS-PS4-12, MS-PS4-13, MS-PS4-14, MS-PS4-15, MS-PS4-16, MS-PS4-17, MS-PS4-18, MS-PS4-19, MS-PS4-20, MS-PS4-21, MS-PS4-22, MS-PS4-23, MS-PS4-24, MS-PS4-25, MS-PS4-26, MS-PS4-27, MS-PS4-28, MS-PS4-29, MS-PS4-30, MS-PS4-31, MS-PS4-32, MS-PS4-33, MS-PS4-34, MS-PS4-35, MS-PS4-36, MS-PS4-37, MS-PS4-38, MS-PS4-39, MS-PS4-40, MS-PS4-41, MS-PS4-42, MS-PS4-43, MS-PS4-44, MS-PS4-45, MS-PS4-46, MS-PS4-47, MS-PS4-48, MS-PS4-49, MS-PS4-50, MS-PS4-51, MS-PS4-52, MS-PS4-53, MS-PS4-54, MS-PS4-55, MS-PS4-56, MS-PS4-57, MS-PS4-58, MS-PS4-59, MS-PS4-60, MS-PS4-61, MS-PS4-62, MS-PS4-63, MS-PS4-64, MS-PS4-65, MS-PS4-66, MS-PS4-67, MS-PS4-68, MS-PS4-69, MS-PS4-70, MS-PS4-71, MS-PS4-72, MS-PS4-73, MS-PS4-74, MS-PS4-75, MS-PS4-76, MS-PS4-77, MS-PS4-78, MS-PS4-79, MS-PS4-80, MS-PS4-81, MS-PS4-82, MS-PS4-83, MS-PS4-84, MS-PS4-85, MS-PS4-86, MS-PS4-87, MS-PS4-88, MS-PS4-89, MS-PS4-90, MS-PS4-91, MS-PS4-92, MS-PS4-93, MS-PS4-94, MS-PS4-95, MS-PS4-96, MS-PS4-97, MS-PS4-98, MS-PS4-99, MS-PS4-100, MS-PS4-101, MS-PS4-102, MS-PS4-103, MS-PS4-104, MS-PS4-105, MS-PS4-106, MS-PS4-107, MS-PS4-108, MS-PS4-109, MS-PS4-110, MS-PS4-111, MS-PS4-112, MS-PS4-113, MS-PS4-114, MS-PS4-115, MS-PS4-116, MS-PS4-117, MS-PS4-118, MS-PS4-119, MS-PS4-120, MS-PS4-121, MS-PS4-122, MS-PS4-123, MS-PS4-124, MS-PS4-125, MS-PS4-126, MS-PS4-127, MS-PS4-128, MS-PS4-129, MS-PS4-130, MS-PS4-131, MS-PS4-132, MS-PS4-133, MS-PS4-134, MS-PS4-135, MS-PS4-136, MS-PS4-137, MS-PS4-138, MS-PS4-139, MS-PS4-140, MS-PS4-141, MS-PS4-142, MS-PS4-143, MS-PS4-144, MS-PS4-145, MS-PS4-146, MS-PS4-147, MS-PS4-148, MS-PS4-149, MS-PS4-150, MS-PS4-151, MS-PS4-152, MS-PS4-153, MS-PS4-154, MS-PS4-155, MS-PS4-156, MS-PS4-157, MS-PS4-158, MS-PS4-159, MS-PS4-160, MS-PS4-161, MS-PS4-162, MS-PS4-163, MS-PS4-164, MS-PS4-165, MS-PS4-166, MS-PS4-167, MS-PS4-168, MS-PS4-169, MS-PS4-170, MS-PS4-171, MS-PS4-172, MS-PS4-173, MS-PS4-174, MS-PS4-175, MS-PS4-176, MS-PS4-177, MS-PS4-178, MS-PS4-179, MS-PS4-180, MS-PS4-181, MS-PS4-182, MS-PS4-183, MS-PS4-184, MS-PS4-185, MS-PS4-186, MS-PS4-187, MS-PS4-188, MS-PS4-189, MS-PS4-190, MS-PS4-191, MS-PS4-192, MS-PS4-193, MS-PS4-194, MS-PS4-195, MS-PS4-196, MS-PS4-197, MS-PS4-198, MS-PS4-199, MS-PS4-200, MS-PS4-201, MS-PS4-202, MS-PS4-203, MS-PS4-204, MS-PS4-205, MS-PS4-206, MS-PS4-207, MS-PS4-208, MS-PS4-209, MS-PS4-210, MS-PS4-211, MS-PS4-212, MS-PS4-213, MS-PS4-214, MS-PS4-215, MS-PS4-216, MS-PS4-217, MS-PS4-218, MS-PS4-219, MS-PS4-220, MS-PS4-221, MS-PS4-222, MS-PS4-223, MS-PS4-224, MS-PS4-225, MS-PS4-226, MS-PS4-227, MS-PS4-228, MS-PS4-229, MS-PS4-230, MS-PS4-231, MS-PS4-232, MS-PS4-233, MS-PS4-234, MS-PS4-235, MS-PS4-236, MS-PS4-237, MS-PS4-238, MS-PS4-239, MS-PS4-240, MS-PS4-241, MS-PS4-242, MS-PS4-243, MS-PS4-244, MS-PS4-245, MS-PS4-246, MS-PS4-247, MS-PS4-248, MS-PS4-249, MS-PS4-250, MS-PS4-251, MS-PS4-252, MS-PS4-253, MS-PS4-254, MS-PS4-255, MS-PS4-256, MS-PS4-257, MS-PS4-258, MS-PS4-259, MS-PS4-260, MS-PS4-261, MS-PS4-262, MS-PS4-263, MS-PS4-264, MS-PS4-265, MS-PS4-266, MS-PS4-267, MS-PS4-268, MS-PS4-269, MS-PS4-270, MS-PS4-271, MS-PS4-272, MS-PS4-273, MS-PS4-274, MS-PS4-275, MS-PS4-276, MS-PS4-277, MS-PS4-278, MS-PS4-279, MS-PS4-280, MS-PS4-281, MS-PS4-282, MS-PS4-283, MS-PS4-284, MS-PS4-285, MS-PS4-286, MS-PS4-287, MS-PS4-288, MS-PS4-289, MS-PS4-290, MS-PS4-291, MS-PS4-292, MS-PS4-293, MS-PS4-294, MS-PS4-295, MS-PS4-296, MS-PS4-297, MS-PS4-298, MS-PS4-299, MS-PS4-300, MS-PS4-301, MS-PS4-302, MS-PS4-303, MS-PS4-304, MS-PS4-305, MS-PS4-306, MS-PS4-307, MS-PS4-308, MS-PS4-309, MS-PS4-310, MS-PS4-311, MS-PS4-312, MS-PS4-313, MS-PS4-314, MS-PS4-315, MS-PS4-316, MS-PS4-317, MS-PS4-318, MS-PS4-319, MS-PS4-320, MS-PS4-321, MS-PS4-322, MS-PS4-323, MS-PS4-324, MS-PS4-325, MS-PS4-326, MS-PS4-327, MS-PS4-328, MS-PS4-329, MS-PS4-330, MS-PS4-331, MS-PS4-332, MS-PS4-333, MS-PS4-334, MS-PS4-335, MS-PS4-336, MS-PS4-337, MS-PS4-338, MS-PS4-339, MS-PS4-340, MS-PS4-341, MS-PS4-342, MS-PS4-343, MS-PS4-344, MS-PS4-345, MS-PS4-346, MS-PS4-347, MS-PS4-348, MS-PS4-349, MS-PS4-350, MS-PS4-351, MS-PS4-352, MS-PS4-353, MS-PS4-354, MS-PS4-355, MS-PS4-356, MS-PS4-357, MS-PS4-358, MS-PS4-359, MS-PS4-360, MS-PS4-361, MS-PS4-362, MS-PS4-363, MS-PS4-364, MS-PS4-365, MS-PS4-366, MS-PS4-367, MS-PS4-368, MS-PS4-369, MS-PS4-370, MS-PS4-371, MS-PS4-372, MS-PS4-373, MS-PS4-374, MS-PS4-375, MS-PS4-376, MS-PS4-377, MS-PS4-378, MS-PS4-379, MS-PS4-380, MS-PS4-381, MS-PS4-382, MS-PS4-383, MS-PS4-384, MS-PS4-385, MS-PS4-386, MS-PS4-387, MS-PS4-388, MS-PS4-389, MS-PS4-390, MS-PS4-391, MS-PS4-392, MS-PS4-393, MS-PS4-394, MS-PS4-395, MS-PS4-396, MS-PS4-397, MS-PS4-398, MS-PS4-399, MS-PS4-400, MS-PS4-401, MS-PS4-402, MS-PS4-403, MS-PS4-404, MS-PS4-405, MS-PS4-406, MS-PS4-407, MS-PS4-408, MS-PS4-409, MS-PS4-410, MS-PS4-411, MS-PS4-412, MS-PS4-413, MS-PS4-414, MS-PS4-415, MS-PS4-416, MS-PS4-417, MS-PS4-418, MS-PS4-419, MS-PS4-420, MS-PS4-421, MS-PS4-422, MS-PS4-423, MS-PS4-424, MS-PS4-425, MS-PS4-426, MS-PS4-427, MS-PS4-428, MS-PS4-429, MS-PS4-430, MS-PS4-431, MS-PS4-432, MS-PS4-433, MS-PS4-434, MS-PS4-435, MS-PS4-436, MS-PS4-437, MS-PS4-438, MS-PS4-439, MS-PS4-440, MS-PS4-441, MS-PS4-442, MS-PS4-443, MS-PS4-444, MS-PS4-445, MS-PS4-446, MS-PS4-447, MS-PS4-448, MS-PS4-449, MS-PS4-450, MS-PS4-451, MS-PS4-452, MS-PS4-453, MS-PS4-454, MS-PS4-455, MS-PS4-456, MS-PS4-457, MS-PS4-458, MS-PS4-459, MS-PS4-460, MS-PS4-461, MS-PS4-462, MS-PS4-463, MS-PS4-464, MS-PS4-465, MS-PS4-466, MS-PS4-467, MS-PS4-468, MS-PS4-469, MS-PS4-470, MS-PS4-471, MS-PS4-472, MS-PS4-473, MS-PS4-474, MS-PS4-475, MS-PS4-476, MS-PS4-477, MS-PS4-478, MS-PS4-479, MS-PS4-480, MS-PS4-481, MS-PS4-482, MS-PS4-483, MS-PS4-484, MS-PS4-485, MS-PS4-486, MS-PS4-487, MS-PS4-488, MS-PS4-489, MS-PS4-490, MS-PS4-491, MS-PS4-492, MS-PS4-493, MS-PS4-494, MS-PS4-495, MS-PS4-496, MS-PS4-497, MS-PS4-498, MS-PS4-499, MS-PS4-500, MS-PS4-501, MS-PS4-502, MS-PS4-503, MS-PS4-504, MS-PS4-505, MS-PS4-506, MS-PS4-507, MS-PS4-508, MS-PS4-509, MS-PS4-510, MS-PS4-511, MS-PS4-512, MS-PS4-513, MS-PS4-514, MS-PS4-515, MS-PS4-516, MS-PS4-517, MS-PS4-518, MS-PS4-519, MS-PS4-520, MS-PS4-521, MS-PS4-522, MS-PS4-523, MS-PS4-524, MS-PS4-525, MS-PS4-526, MS-PS4-527, MS-PS4-528, MS-PS4-529, MS-PS4-530, MS-PS4-531, MS-PS4-532, MS-PS4-533, MS-PS4-534, MS-PS4-535, MS-PS4-536, MS-PS4-537, MS-PS4-538, MS-PS4-539, MS-PS4-540, MS-PS4-541, MS-PS4-542, MS-PS4-543, MS-PS4-544, MS-PS4-545, MS-PS4-546, MS-PS4-547, MS-PS4-548, MS-PS4-549, MS-PS4-550, MS-PS4-551, MS-PS4-552, MS-PS4-553, MS-PS4-554, MS-PS4-555, MS-PS4-556, MS-PS4-557, MS-PS4-558, MS-PS4-559, MS-PS4-560, MS-PS4-561, MS-PS4-562, MS-PS4-563, MS-PS4-564, MS-PS4-565, MS-PS4-566, MS-PS4-567, MS-PS4-568, MS-PS4-569, MS-PS4-570, MS-PS4-571, MS-PS4-572, MS-PS4-573, MS-PS4-574, MS-PS4-575, MS-PS4-576, MS-PS4-577, MS-PS4-578, MS-PS4-579, MS-PS4-580, MS-PS4-581, MS-PS4-582, MS-PS4-583, MS-PS4-584, MS-PS4-585, MS-PS4-586, MS-PS4-587, MS-PS4-588, MS-PS4-589, MS-PS4-590, MS-PS4-591, MS-PS4-592, MS-PS4-593, MS-PS4-594, MS-PS4-595, MS-PS4-596, MS-PS4-597, MS-PS4-598, MS-PS4-599, MS-PS4-600, MS-PS4-601, MS-PS4-602, MS-PS4-603, MS-PS4-604, MS-PS4-605, MS-PS4-606, MS-PS4-607, MS-PS4-608, MS-PS4-609, MS-PS4-610, MS-PS4-611, MS-PS4-612, MS-PS4-613, MS-PS4-614, MS-PS4-615, MS-PS4-616, MS-PS4-617, MS-PS4-618, MS-PS4-619, MS-PS4-620, MS-PS4-621, MS-PS4-622, MS-PS4-623, MS-PS4-624, MS-PS4-625, MS-PS4-626, MS-PS4-627, MS-PS4-628, MS-PS4-629, MS-PS4-630, MS-PS4-631, MS-PS4-632, MS-PS4-633, MS-PS4-634, MS-PS4-635, MS-PS4-636, MS-PS4-637, MS-PS4-638, MS-PS4-639, MS-PS4-640, MS-PS4-641, MS-PS4-642, MS-PS4-643, MS-PS4-644, MS-PS4-645, MS-PS4-646, MS-PS4-647, MS-PS4-648, MS-PS4-649, MS-PS4-650, MS-PS4-651, MS-PS4-652, MS-PS4-653, MS-PS4-654, MS-PS4-655, MS-PS4-656, MS-PS4-657, MS-PS4-658, MS-PS4-659, MS-PS4-660, MS-PS4-661, MS-PS4-662, MS-PS4-663, MS-PS4-664, MS-PS4-665, MS-PS4-666, MS-PS4-667, MS-PS4-668, MS-PS4-669, MS-PS4-670, MS-PS4-671, MS-PS4-672, MS-PS4-673, MS-PS4-674, MS-PS4-675, MS-PS4-676, MS-PS4-677, MS-PS4-678, MS-PS4-679, MS-PS4-680, MS-PS4-681, MS-PS4-682, MS-PS4-683, MS-PS4-684, MS-PS4-685, MS-PS4-686, MS-PS4-687, MS-PS4-688, MS-PS4-689, MS-PS4-690, MS-PS4-691, MS-PS4-692, MS-PS4-693, MS-PS4-694, MS-PS4-695, MS-PS4-696, MS-PS4-697, MS-PS4-698, MS-PS4-699, MS-PS4-700, MS-PS4-701, MS-PS4-702, MS-PS4-703, MS-PS4-704, MS-PS4-705, MS-PS4-706, MS-PS4-707, MS-PS4-708, MS-PS4-709, MS-PS4-710, MS-PS4-711, MS-PS4-712, MS-PS4-713, MS-PS4-714, MS-PS4-715, MS-PS4-716, MS-PS4-717, MS-PS4-718, MS-PS4-719, MS-PS4-720, MS-PS4-721, MS-PS4-722, MS-PS4-723, MS-PS4-724, MS-PS4-725, MS-PS4-726, MS-PS4-727, MS-PS4-728, MS-PS4-729, MS-PS4-730, MS-PS4-731, MS-PS4-732, MS-PS4-733, MS-PS4-734, MS-PS4-735, MS-PS4-736, MS-PS4-737, MS-PS4-738, MS-PS4-739, MS-PS4-740, MS-PS4-741, MS-PS4-742, MS-PS4-743, MS-PS4-744, MS-PS4-745, MS-PS4-746, MS-PS4-747, MS-PS4-748, MS-PS4-749, MS-PS4-750, MS-PS4-751, MS-PS4-752, MS-PS4-753, MS-PS4-754, MS-PS4-755, MS-PS4-756, MS-PS4-757, MS-PS4-758, MS-PS4-759, MS-PS4-760, MS-PS4-761, MS-PS4-762, MS-PS4-763, MS-PS4-764, MS-PS4-765, MS-PS4-766, MS-PS4-767, MS-PS4-768, MS-PS4-769, MS-PS4-770, MS-PS4-771, MS-PS4-772, MS-PS4-773, MS-PS4-774, MS-PS4-775, MS-PS4-776, MS-PS4-777, MS-PS4-778, MS-PS4-779, MS-PS4-780, MS-PS4-781, MS-PS4-782, MS-PS4-783, MS-PS4-784, MS-PS4-785, MS-PS4-786, MS-PS4-787, MS-PS4-788, MS-PS4-789, MS-PS4-790, MS-PS4-791, MS-PS4-792, MS-PS4-793, MS-PS4-794, MS-PS4-795, MS-PS4-796, MS-PS4-797, MS-PS4-798, MS-PS4-799, MS-PS4-800, MS-PS4-801, MS-PS4-802, MS-PS4-803, MS-PS4-804, MS-PS4-805, MS-PS4-806, MS-PS4-807, MS-PS4-808, MS-PS4-809, MS-PS4-810, MS-PS4-811, MS-PS4-812, MS-PS4-813, MS-PS4-814, MS-PS4-815, MS-PS4-816, MS-PS4-817, MS-PS4-818, MS-PS4-819, MS-PS4-820, MS-PS4-821, MS-PS4-822, MS-PS4-823, MS-PS4-824, MS-PS4-825, MS-PS4-826, MS-PS4-827, MS-PS4-828, MS-PS4-829, MS-PS4-830, MS-PS4-831, MS-PS4-832, MS-PS4-833, MS-PS4-834, MS-PS4-835, MS-PS4-836, MS-PS4-837, MS-PS4-838, MS-PS4-839, MS-PS4-840, MS-PS4-841, MS-PS4-842, MS-PS4-843, MS-PS4-844, MS-PS4-845, MS-PS4-846, MS-PS4-847, MS-PS4-848, MS-PS4-849, MS-PS4-850, MS-PS4-851, MS-PS4-852, MS-PS4-853, MS-PS4-854, MS-PS4-855, MS-PS4-856, MS-PS4-857, MS-PS4-858, MS-PS4-859, MS-PS4-860, MS-PS4-861, MS-PS4-862, MS-PS4-863, MS-PS4-864, MS-PS4-865, MS-PS4-866, MS-PS4-867, MS-PS4-868, MS-PS4-869, MS-PS4-870, MS-PS4-871, MS-PS4-872, MS-PS4-873, MS-PS4-874, MS-PS4-875, MS-PS4-876, MS-PS4-877, MS-PS4-878, MS-PS4-879, MS-PS4-880, MS-PS4-881, MS-PS4-882, MS-PS4-883, MS-PS4-884, MS-PS4-885, MS-PS4-886, MS-PS4-887, MS-PS4-888, MS-PS4-889, MS-PS4-890, MS-PS4-891, MS-PS4-892, MS-PS4-893, MS-PS4-894, MS-PS4-895, MS-PS4-896, MS-PS4-897, MS-PS4-898, MS-PS4-899, MS-PS4-900, MS-PS4-901, MS-PS4-902, MS-PS4-903, MS-PS4-904, MS-PS4-905, MS-PS4-906, MS-PS4-907, MS-PS4-908, MS-PS4-909, MS-PS4-910, MS-PS4-911, MS-PS4-912, MS-PS4-913, MS-PS4-914, MS-PS4-915, MS-PS4-916, MS-PS4-917, MS-PS4-918, MS-PS4-919, MS-PS4-920, MS-PS4-921, MS-PS4-922, MS-PS4-923, MS-PS4-924, MS-PS4-925, MS-PS4-926, MS-PS4-927, MS-PS4-928, MS-PS4-929, MS-PS4-930, MS-PS4-931, MS-PS4-932, MS-PS4-933, MS-PS4-934, MS-PS4-935, MS-PS4-936, MS-PS4-937, MS-PS4-938, MS-PS4-939, MS-PS4-940, MS-PS4-941, MS-PS4-942, MS-PS4-943, MS-PS4-944, MS-PS4-945, MS-PS4-946, MS-PS4-947, MS-PS4-948, MS-PS4-949, MS-PS4-950, MS-PS4-951, MS-PS4-952, MS-PS4-953, MS-PS4-954, MS-PS4-955, MS-PS4-956, MS-PS4-957, MS-PS4-958, MS-PS4-959, MS-PS4-960, MS-PS4-961, MS-PS4-962, MS-PS4-963, MS-PS4-964, MS-PS4-965, MS-PS4-966, MS-PS4-967, MS-PS4-968, MS-PS4-969, MS-PS4-970, MS-PS4-971, MS-PS4-972, MS-PS4-973, MS-PS4-974, MS-PS4-975, MS-PS4-976, MS-PS4-977, MS-PS4-978, MS-PS4-979, MS-PS4-980, MS-PS4-981, MS-PS4-982, MS-PS4-983, MS-PS4-984, MS-PS4-985, MS-PS4-986, MS-PS4-987, MS-PS4-988, MS-PS4-989, MS-PS4-990, MS-PS4-991, MS-PS4-992, MS-PS4-993, MS-PS4-994, MS-PS4-995, MS-PS4-996, MS-PS4-997, MS-PS4-998, MS-PS4-999, MS-PS4-1000, MS-PS4-1001, MS-PS4-1002, MS-PS4-1003, MS-PS4-1004, MS-PS4-1005, MS-PS4-1006, MS-PS4-1007, MS-PS4-1008, MS-PS4-1009, MS-PS4-1010, MS-PS4-1011, MS-PS4-1012, MS-PS4-1013, MS-PS4-1014, MS-PS4-1015, MS-PS4-1016, MS-PS4-1017, MS-PS4-1018, MS-PS4-1019, MS-PS4-1020, MS-PS4-1021, MS-PS4-1022, MS-PS4-1023, MS-PS4-1024, MS-PS4-1025, MS-PS4-1026, MS-PS4-1027, MS-PS4-1028, MS-PS4-1029, MS-PS4-1030, MS-PS4-1031, MS-PS4-1032, MS-PS4-1033, MS-PS4-1034, MS-PS4-1035, MS-PS4-1036, MS-PS4-1037, MS-PS4-1038, MS-PS4-1039, MS-PS4-1040, MS-PS4-1041, MS-PS4-1042, MS-PS4-1043, MS-PS4-1044, MS-PS4-1045, MS-PS4-1046, MS-PS4-1047, MS-PS4-1048, MS-PS4-1049, MS-PS4-1050, MS-PS4-1051, MS-PS4-1052, MS-PS4-1053, MS-PS4-1054, MS-PS4-1055, MS-PS4-1056, MS-PS4-1057, MS-PS4-1058, MS-PS4-1059, MS-PS4-1060, MS-PS4-1061, MS-PS4-1062, MS-PS4-1063, MS-PS4-1064, MS-PS4-1065, MS-PS4-1066, MS-PS4-1067, MS-PS4-1068, MS-PS4-1069, MS-PS4-1070, MS-PS4-1071, MS-PS4-1072, MS-PS4-1073, MS-PS4-1074, MS-PS4-1075, MS-PS4-1076, MS-PS4-1077, MS-PS4-1078, MS-PS4-1079, MS-PS4-1080, MS-PS4-1081, MS-PS4-1082, MS-PS4-1083, MS-PS4-1084, MS-PS4-1085, MS-PS4-1086, MS-PS4-1087, MS-PS4-1088, MS-PS4-1089, MS-PS4-1090, MS-PS4-1091, MS-PS4-1092, MS-PS4-1093, MS-PS4-1094, MS-PS4-1095, MS-PS4-1096, MS-PS4-1097, MS-PS4-1098, MS-PS4-1099, MS-PS4-1100, MS-PS4-1101, MS-PS4-1102, MS-PS4-1103, MS-PS4-1104, MS-PS4-1105, MS-PS4-1106, MS-PS4-1107, MS-PS4-1108, MS-PS4-1109, MS-PS4-1110, MS-PS4-1111, MS-PS4-1112, MS-PS4-1113, MS-PS4-1114, MS-PS4-1115, MS-PS4-1116, MS-PS4-1117, MS-PS4-1118, MS-PS4-1119, MS-PS4-1120, MS-PS4-1121, MS-PS4-1122, MS-PS4-1123, MS-PS4-1124, MS-PS4-1125, MS-PS4-1126, MS-PS4-1127, MS-PS4-1128, MS-PS4-1129, MS-PS4-1130, MS-PS4-1131, MS-PS4-1132, MS-PS4-1133, MS-PS4-1134, MS-PS4-1135, MS-PS4-1136, MS-PS4-1137, MS-PS4-1138, MS-PS4-1139, MS-PS4-1140, MS-PS4-1141, MS-PS4-1142, MS-PS4-1143, MS-PS4-1144, MS-PS4-1145, MS-PS4-1146, MS-PS4-1147, MS-PS4-1148, MS-PS4-1149, MS-PS4-1150, MS-PS4-1151, MS-PS4-1152, MS-PS4-1153, MS-PS4-1154, MS-PS4-1155, MS-PS4-1156, MS-PS4-1157, MS-PS4-1158, MS-PS4-1159, MS-PS4-1160, MS-PS4-1161, MS-PS4-1162, MS-PS4-1163, MS-PS4-1164, MS-PS4-1165, MS-PS4-1166, MS-PS4-1167, MS-PS4-1168, MS-PS4-1169, MS-PS4-1170, MS-PS4-1171, MS-PS4-1172, MS-PS4-1173, MS-PS4-1174, MS-PS4-1175, MS-PS4-1176, MS-PS4-1177, MS-PS4-1178, MS-PS4-1179, MS-PS4-1180, MS-PS4-1181, MS-PS4-1182, MS-PS4-1183, MS-PS4-1184, MS-PS4-1185, MS-PS4-1186, MS-PS4-1187, MS-PS4-1188, MS-PS4-1189, MS-PS4-1190, MS-PS4-1191, MS-PS4-1192, MS-PS4-1193, MS-PS4-1194, MS-PS4-1195, MS-PS4-1196, MS-PS4-1197, MS-PS4-1198, MS-PS4-1199, MS-PS4-1200, MS-PS4-1201, MS-PS4-1202, MS-PS4-1203, MS-PS4-1204, MS-PS4-1205, MS-PS4-1206, MS-PS4-1207, MS-PS4-1208, MS-PS4-1209, MS-PS4-1210, MS-PS4-1211, MS-PS4-1212, MS-PS4-1213, MS-PS4-1214, MS-PS4-1215, MS-PS4-1216, MS-PS4-1217, MS-PS4-1218, MS-PS4-1219, MS-PS4-1220, MS-PS4-1221, MS-PS4</p>							

Disciplinary Core Ideas in the Physical Sciences

PS1 Matter and its interactions—How can one explain the structure, properties, and interactions of matter?

PS1.A: Structure and Properties of Matter
PS1.B: Chemical Reactions
PS1.C: Nuclear Processes

PS2 Motion and stability: Forces and interactions—How can one explain and predict interactions between objects and within systems of objects?

PS2.A: Forces and Motion
PS2.B: Types of Interactions
PS2.C: Stability and Instability in Physical Systems

PS3 Energy—How is energy transferred and conserved?

PS3.A: Definitions of Energy
PS3.B: Conservation of Energy and Energy Transfer
PS3.C: Relationship Between Energy and Forces
PS3.D: Energy in Chemical Processes and Everyday Life

PS4 Waves and their applications in technologies for information transfer—How are waves used to transfer energy and information?

PS4.A: Wave Properties
PS4.B: Electromagnetic Radiation
PS4.C: Information Technologies and Instrumentation

Fig. 3. Disciplinary Core Ideas in the Physical Sciences.

의 관계를 이해해야 한다. 프레임워크는 장(field)의 개념을 도입하여 시스템 내에서의 힘의 상호작용을 이해하는 것을 강조하고 있다. 운동과 안정은 ‘PS2.A 힘과 운동’, ‘PS2.B 상호작용의 종류’, ‘PS2.C 시스템의 안정과 불안정’의 3개 하위 핵심 개념을 포함하고 있다.

PS3. 에너지

에너지가 무엇이며, 어떻게 전달되고 변환되는지를 이해하는 것은 자연 현상을 이해하는 기본이 된다. 에너지 개념을 정의하고 이해하는 것은 매우 어렵지만, 에너지 개념을 이해하지 못하면 시스템에서 일어나는 현상들을 과학적으로 이해하기 어렵다. 자연에서의 에너지 흐름에 대한 이해는 물론, 어떻게 에너지를 생산하고 공급할 수 있는지도 학생들에게 가르쳐야 하는 핵심개념이다. 특히, 일상생활에서 학생들이 에너지라는 말을 흔히 사용하고 있어, 이를 과학적 개념으로 이해하고 적용할 수 있도록 해야 한다. 에너지 형태의 변환, 이동, 보존의 개념을 통해 광합성, 관구조론, 연소 등의 과학적 현상 및 이론을 설명할 수 있어야 한다. 에너지 개념의 하위 핵심개념은 ‘PS3.A 에너지의 정의’, ‘PS3.B 에너지 보존과 에너지 이동’, ‘PS3.C 에너지와 힘의 관계’, ‘PS3.D 화학적 과정과 일상생활에서의 에너지’이다.

PS4. 파동과 정보통신

네 번째 물리학의 핵심개념은 ‘파동과 정보통신’이다. 이는 NGSS가 과학과 공학의 통합을 강조하고 있다는 것을 대표하는 개념이다. 현대 사회를 살아가는데 있어 정보통신기술의 산물들에 대한 원리를 이해하는 능력이 강조되고 있으며, 새로운 정보통신 기기들을 사용하고, 이러한 기기들을 통해 정보가 어떻게 이동되고 있는지를 이해해야 한다. 다양한 형태의 빛과 소리에 의해 정보와 에너지가 전달되고 있으며, 이와 관련된 기술은 지속적으로 발달하고 있어, 정보 전달의 속도가 급격히 변화하고 있다. 정보기술을 이해하기 위해 파동의 특성과 전자 기파 개념을 이해하는 것은 중요하다. 파동과 정보통신의 하위 핵심 개념은 ‘PS4.A 파동의 특성’, ‘PS4.B 전자기파’, ‘PS4.C 정보기술과 기기’이다.

전 학년 과정에 걸친 개념학습의 연계성

미국 NGSS는 핵심 과학개념 학습이 전 학년에 걸쳐 연계성 있게 지속적으로 반복되어 가르쳐지는 것을 강조한다. 프레임워크는 K-2, 3-5, 6-8, 9-12의 4단계의 학년급(grade band)을 나누어 각 단계를 끝냈을 때 학생들이 성취해야 하는 학습목표를 안내하였다. 개념이 학습되는 과정에 따라 초등학교 저학년급에서 학생들은 경험적으로 현상을 이해하는 수준으로 개념을 이해하고, 그 후 학년이 올라갈수록 개념학습의 수준은 점차 복잡하고 정교해진다. 이러한 개념 학습의 발달적 관점에 따라, 핵심 개념은 단순한 개념에서 복잡하고 정교한 개념까지 그 위계를 달리하면서 학년급에 따라 반복적으로 소개된다. 이러한 개념 학습 구조는 학생들로 하여금 적은 수의 개념을 깊이 배울 수 있는 환경을 제공한다.

네 번째 핵심 개념이 ‘파동과 정보통신’의 학년급에 따른 개념 이해의 변화를 예로 살펴보자. 그림 4는 각 학년급에서의 ‘파동과 정보통신’ 개념의 하위 개념들의 학습내용을 나타낸 것이다. 개념이해의 수준이 경험적인 이해에서부터 점차 개념이 복잡하고 정교해지는 것을 볼 수 있다. 파동의 특성을 이해하기 위한 학습 과정은 다음과 같다. K-2 학년급에서는 소리가 나는 물질은 떨리고 있으며, 물질이 떨리면서 소리를 전달한다는 것을 경험적으로 배운다. 이후 3-5학년급인 초등학교 고학년 과정에서 파동은 물결과 같은 움직임에서 나타나는 일정한 패턴이며, 파동은 진폭과 파장에 따라 달라진다는 것을 이해한다. 또한 파동이 물체를 움직이게 할 수 있다는 현상도 이해한다. 이러한 기본적인 파동의 특성을 배운 후, 중학교 과정인 6-8 학년급에서는 특정한 파장, 진동수, 진폭을 가진 파동의 기본 구조를 이해하고, 이러한 파동이 전달되기 위해서는 매질이 필요하다는 것을 학습한다. 이러한 개념 이해를 바탕으로

	K-2	3-5	6-8	9-12
PS4.A Wave properties	Sound can make matter vibrate, and vibrating matter can make sound.	Waves are regular patterns of motion, which can be made in water by disturbing the surface. Waves of the same type can differ in amplitude and wavelength. Waves can make objects move.	A simple wave model has a repeating pattern with a specific wavelength, frequency, and amplitude, and mechanical waves need a medium through which they are transmitted. This model can explain many phenomena including sound and light. Waves can transmit energy.	The wavelength and frequency of a wave are related to one another by the speed of the wave, which depends on the type of wave and the medium through which it is passing. Waves can be used to transmit information and energy.
PS4.B Electromagnetic radiation	Objects can be seen only when light is available to illuminate them.	Object can be seen when light reflected from their surface enters our eyes.	The construct of a wave is used to model how light interacts with objects.	Both an electromagnetic wave model and a photon model explain features of electromagnetic radiation broadly and describe common applications of electromagnetic radiation.
PS4.C Information technologies and instrumentation	People use devices to send and receive information.	Patterns can encode, send, receive and decode information.	Waves can be used to transmit digital information. Digitized information is comprised of a pattern of 1s and 0s.	Large amounts of information can be stored and shipped around as a result of being digitized.

Fig. 4. Learning progression of 'PS4 Waves and their applications in technologies for information transfer' through the K-12.

학생들은 이제 소리와 빛이 어떻게 전달되는지 설명할 수 있으며, 파동이 에너지를 전달할 수 있다는 개념이 소개된다. 고등학교 과정인 9-12학년급에서는 이전 내용보다 정교화된 내용으로 파동의 구조와 특성을 이해한다. 고학년에서는 파동의 구조와 특성에 관련된 각각의 요인들의 관계를 이해할 수 있게 되는데, 파장과 진동수가 서로 연관되어 있으며, 이는 파동의 진행 속도에 의해 영향을 받는다는 것을 이해한다. 또한 이러한 파동의 진행속도는 매질과 파동의 종류에 따라 변화하며, 이러한 특성에 의해 다양한 형태의 정보를 전달할 수 있는 원리를 배울 수 있다. 한국의 교육과정에서도 초등학교 교육과정에서는 3~4학년군의 '소리의 성질', 5~6학년군의 '렌즈의 이용'에서 현상적인 관련 경험을 제공하고, 중학교 과정에서 소리와 빛과 관련된 현상들을 통해 파동의 특성을 이해하고, 소리가 들리고, 빛이 반사되고 굴절되는 현상을 설명할 수 있도록 교육과정이 구성되어 있다. NGSS에서 제안한 '핵심개념의 학년에 따른 학습과정'을 한국의 교육과정에서의 개념이 제시되는 과정과 비교하면, 한국의 교육과정에서 파동에 관련된 개념 학습은, 소리와 빛과 관련된 현상에 따라 파동을 설명해가고 있는 것과 달리, NGSS에서는 소리와 빛을 설명하는 공통적인 과학적 개념으로서 파동의 특성과 구조를 강조하고 있다.

맺는 글

미국의 K-12 교육과정에서 물리 개념 학습은 전반적으로 한국학생들이 공교육을 통해 학습하는 내용과 비교하여 그 수준이 어렵지 않게 전개되고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 미국의

학교 현장에서 실제 이루어지는 교육과정이 국가수준에서 제안된 교육표준을 얼마나 따를 것인가는 그 주의 교육목표, 학교의 교육목표, 교사의 교육 목표에 따라 다르게 실행된다. 따라서 실제 미국에서 이루어지는 물리 교육은 그 수준 및 영역이 다양할 것으로 쉽게 예측할 수 있다. 미국의 과학교육은 프로젝트 2061의 목표 아래, 모든 학생을 위한 과학적 소양을 확보하기 위해, 교육과정은 내용의 양을 줄이는 방향으로 변화해야 하며, 교과목들 사이의 경계를 약화하고 없애야 하며, 과학과 수학 그리고 기술 사이의 관련성에 보다 주의를 기울여야 하고, 과학적 노력을 인간의 사고와 행위에 강한 영향을 미치거나 혹은 영향을 받는 사회적 활동으로 나타내야 하며, 과학적인 사고방식을 증진시켜야 한다고 강조하고 있다(AAAS, 1989, p.5). 미국은 국가 경쟁력 향상을 위한 궁극적 이상의 실현을 위해 과학교육의 중요성을 전면적으로 강조하고, 교육의 변화를 시도하고 있다. 다양한 STEM 교육 프로그램이 공학, 수학, 과학 전공자들을 통해 개발되고 있으며, 정부는 이를 적극적으로 지원하고 있다. NGSS는 이러한 목표를 기반으로 이공계 직업 교육을 강조하기 위한 방향으로 재설계되었다. 한국은 현재 고등학생들의 물리 선택이 점차 줄어들고, 대학교 이공계열에 진학하는 학생들조차 일반물리에 대한 기본적인 이해를 갖추지 못하고 대학에 진학하는 것들이 문제로 제기되고 있다. 문제의 배경 및 현상에 차이는 있겠지만, 핵심 개념을 강조하고, 과학적/공학적 방법 및 크로스컷팅 개념의 이해를 통해 통합적인 과학학습 능력 및 성취도를 향상시키려고 하는 NGSS에서 제안하는 물리 개념의 학습 과정에 대한 제안을 검토하는 것을 통해 현재 한국의 물리교육에 대한 시사점을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.