Journal of Engineering Education Research
Vol. 22, No. 4, pp. 22~31, July 2019

ISSN: 1738-6454 / THESIS-19-024
https://doi.org/10.18108/jeer.2019.22.4.22

물리보다 수학을 잘 해야 물리를 잘 한다: 입학 전 수학진단점수의 일반물리학 성취도 예측타당성 검증

신윤경[*]·박규열[**]·이아름[*]·정종원[***†]
[*]울산대학교 교수학습개발원
[**]울산대학교 기계자동차공학과
[***]울산대학교 교육대학원

Mathematical Preparedness Predicts College Grades in Physics Better than Physics Preparedness: the Predictive Validity of the Mathematical Diagnostic Test on the Freshmen's Physics Grades

Shin, Yunkyoung[*]·Park, Kyuyeol[**]·Lee, Ah-reum[*]·Jung, Jongwon[***†]
[*]Center for Teaching and Learning, University of Ulsan
[**]Department of Mechanical and Automotive Engineering, University of Ulsan
[***]Graduate School of Education, University of Ulsan

ABSTRACT

This study aims to elucidate the relationship between physics and mathematics to predict achievement for the college level of engineering courses. For the last 4 years, more than 3,000 engineering college freshmen of this study took the diagnostic tests on three subjects, which were physics, mathematics, and chemistry before enrollment. We studied how strongly these diagnostic scores can predict each general college course grades. The correlation between the physics diagnostic scores and the course grades in physics was .264, which was significantly lower than the correlation between the mathematics scores and the physics grades, .311. This stronger prediction of the mathematical diagnostic scores for the general course grades was not found when predicting the grades in chemistry. We therefore conclude that mathematical preparation can unexpectedly predict future achievement in physics better than physics preparation due to the academic interrelationships between mathematics and physics.

Keywords: Diagnostic test, Predictive validity, Engineering education

I. 서 론

수학과 물리의 관계는 과학과 철학의 오랜 탐구 과제였다(Buchwald & Fox, 2013). 수학은 연산에서 시작하여 기하, 대수, 해석학 등의 기본 개념을 통해 논리적 사고 및 연역적, 형식적, 추상적 사고를 익히는 학문이다. 갈릴레이는 자연은 수학의 언어로 쓰여 있다고 하였다. 수학은 복잡해 보이는 자연의 현상을 단순하게 설명하는 물리학의 도구로 사용되었다. 수학에 대한 이해 없이 물리학을 공부하기란 불가능하다. 예를 들어 삼각형의 무게중심은 물리적 개념이지만 삼각형의 중선들이 한 점에서 만난다는 것과 같은 초등 기하의 지식이 있어야 이해할 수 있다. 물리학의 발전이 수학을 더 정교화하기도 한다. 뉴턴은 만유인력의 법칙을 설명하기 위해 미적분법을 창안하였다. 수학이 물리 현상을 서술하는 유용한 도구라는 인식 없이 물리 수업을 듣는 대학생들의 물리학 과목 성취도가 낮았다는 연구도 보고되었다(Hammer, 1984).

그러나 물리학은 공과대학 신입생들이 가장 어려워하는 과목 중 하나이다(문공주, 남형주, 2018). 서울대학교 통계에 따르면 공과대학 신입생의 약 절반이 물리 심화과목인 물리 II를 고등학교에서 이수하지 않은 채 입학한다(매일경제, 2018). 2014학년도부터 대학수학능력시험(이하 수능) 과학탐구 선택 상한선이 두 개로 축소된 후 물리는 대표적인 기피 과목이 되었다.

Table 1은 지난 3년의 수능 과학탐구영역 선택 비율을 보여

Received May 8, 2019; Revised June 13, 2019
Accepted June 15, 2019
† Corresponding Author: brave0077@ulsan.ac.kr
©2019 Korean Society for Engineering Education. All rights reserved.

준다. 물리 과목은 과학탐구 I과 II 영역에서 수험생들이 가장 기피하는 과목이다. 전체 수험생 대비 물리 II의 선택비율은 지난 3년 내내 약 1.5% 미만으로 매해 최저였다. 2017년 기준 서울소재 고등학교 이과생들의 과학탐구 II 고등학교교육과정 교과목 선택 비율을 보면 생명과학과 화학이 각각 36.2%, 30.5%로 높고, 지구과학 19.3%이며, 물리학은 14.0%의 학생만이 선택하였다(서울특별시 교육청통계, 매일경제, 2018). 주로 3학년에 편성되는 물리 II의 수업은 소수의 학생들만을 위해서 형식적으로 유지되고 내신용 예상문제를 알려주며 파행적으로 운영되고 있다는 기사도 있다(매일신문, 2016).

Table 1 The selection rates of SAT science section during the recent three years

	대학수학능력평가 실시년도			
	과탐 선택	2016 (N=230, 729)	2017 (N=243, 957)	2018 (N=244, 733)
과학탐구 택2 선택비율 (%)	물리 I	21.8	23.1	23.6
	화학 I	53.4	49.1	40.7
	생명 I	62.0	60.4	61.2
	지구 I	44.9	54.7	63.8
	물리 II	1.5	1.2	1.2
	화학 II	1.7	1.5	1.4
	생명 II	10.1	5.9	3.7
	지구 II	4.5	4.1	4.3

물리 II는 물리 I을 이수하고 심화된 개념과 방법을 적용하여 물리 현상을 이해하고 관련된 문제를 해결하는 능력을 기르기 위한 과목이다. 물리 II의 고교교과과정 설계의 문제는 여러 문헌에서 제기되었는데 물리현상을 이해하기 위해서 필수적인 수학과의 연계교육이 부족하다는 것이다. 이를테면 양자역학을 이해하기 위해 필요한 선형대수를 가르치지 않거나 역학과 미적분의 연계성을 적용하지 않고 수업에서 사용되기 때문에(강지훈, 2008), 고등학교 물리 교육이 개념의 이해라기보다는 반복 지식 학습에 그친다(김영현, 2004).

일반물리학은 공학교육의 토대가 되는 학문으로 1학년은 대부분 고전역학, 전자기학, 양자역학, 열역학, 광학 등의 내용을 접하게 된다. 대학교과과정의 일반물리학은 고교물리 II의 학습능력을 갖고 있다는 가정 아래 설계되어 준비 없이 입학한 신입생들이 따라가기에는 어렵다. 서울대학교 공과대학에서는 2018년 교과과정위원회의 결정으로 2019년 신입생부터 고교물리 II를 이수하지 않은 학생들을 위해 '물리의 기본'(서울대학교 교과과정 편람, 2018:3)을 의무적으로 이수하도록 하였다.

울산대학교에서는 2015년부터 2018년까지 4년 동안 공과대학 신입생들을 대상으로 물리, 수학, 화학의 기초학력진단검사를 실시하고 하위 30%의 점수를 취득한 학생은 기초일반물리학, 기초미적분학, 기초일반화학을 의무적으로 수강하게 하여 일반교과목에 적응할 수 있도록 도와주었다. 현재 울산대학교 신입생의 80%정도가 내신과 비교과활동 위주의 수시 전형을 통해 입학한다(대학알리미,2018:137-138). 그러므로 기초학력진단점수(이하 진단점수)는 하위 집단을 선별하기 위한 원래의 기능 외에 신입생들의 입학 전 학력을 객관적으로 평가하는 척도의 역할을 하게 되었다. 진단점수는 학번과 전공별로 수집되어 신입생의 첫 해, 일반물리학, 일반미적분학, 일반화학의 성적과 비교할 수 있다. 본 연구는 이처럼 수집된 계량 자료를 바탕으로 고안되었다.

II. 이론적 배경

1. 입학 전 성취도 및 적성검사와 대학입학 후 성취도의 관계

학생의 수행을 평가하는 검사에는 크게 두 종류가 있다. 미래의 성취를 예측하는 적성(aptitude) 검사와 현재의 학습수준을 측정하는 성취도(achievement) 검사이다. 흔히 지능검사는 적성검사와 유사하고 미국의 SAT I은 적성을 측정할 수 있도록 설계되어 있다. 성취도 검사는 중간, 기말고사처럼 학습 후 이해의 정도를 측정한다. 우리나라의 예전 학력고사는 대표적인 성취도 검사이며, 미국의 SAT II도 성취를 측정할 수 있도록 설계되었다(Geiser & Studley, 2002). 대학수학능력시험(大學修學能力試驗, College Scholastic Ability Test/CSAT)은 미국의 SAT I처럼 미래의 대학 교육과정을 얼마나 잘 이수할 수 있는지를 예측하는 평가 도구로 기획된 적성검사이나 백순근(2001)은 대학수학능력시험은 학력고사와 적성검사를 통합한 시험형태라 정의한다. 대학교육과정에 얼마나 잘 적응하는가를 예측할 수 있는 변인을 파악하는 연구는 흔하다. 흔히 내신이나 수능점수와 같은 대입전형요소와 학점의 상관(이명훈, 2017), IQ와 성적의 상관(Deary et al., 2007), SAT의 각 하위영역별 점수와 학점의 상관에 대한 연구는 많이 보고되었다(Shaw et al., 2016). 이러한 연구들은 입학전형요소가 타당하게 대학의 학업 성취도를 예측하는지에 대한 연구이다.

학문 간의 특수한 연관성 때문에 특정과목의 성취도나 진단검사가 미래의 학업성취도를 예측하는지에 대한 연구들도 있다. 예를 들어 입학 시 수학성취도는 물리학 학점과 정적 상관을 갖는다(Blumenthal, 1961; Cohen & Hillman, 1978; Hudson & Mclntire, 1977). 특히 Cohen과 Hillman(1978)은

SAT의 수리영역 점수와 기초물리학 학점의 유의한 정적 상관을 발견하였으나, 언어영역 점수와의 상관은 발견하지 못했다. 물리와 수학의 적성 및 성취도의 정적 관계를 나타내는 연구들은 연구간 변산이 커 유의한 상관을 발견하지 못한 연구도 있고 일부는 남학생은 상관이 없으나(r = +0.10) 여학생은 높은 상관(r = +0.48)을 보이는 성차를 발견하기도 하였다(McCammon et al., 1988).

1세기 전 스피어먼은 다양한 인지 검사들 사이의 정적상관을 발견하고 세부 인지 검사들을 수행하는데 공통적으로 작동하는 요인이 있다는 가설을 제안하였다(Spearman, 1904). 이러한 공통 요인을 일반지능(general intelligence)이라 명명하였고 일반요인(G factor)이라고도 불리운다. 요인분석을 통해 일반지능과 상관이 높은 세부인지과제들이 탐색되었는데, 대표적인 것이 레이븐 토막짜기 검사(Raven's Progressive Matrices, Raven et al., 1988)이다. 신경심리학적으로는 실행통제, 전략설계, 작업기억 내의 정보 조작, 작업기억 모니터링, 선택적 주의, 유연한 사고와 같은 전두엽의 기능이 일반지능과 관련되어있다는 가설도 있다 (Baddeley, 1996). 바로 이 전두엽의 기능이 수학 숙련도(math proficiency)와 연관이 높다는 것이다(Cragg & Gilmore, 2014). 수학을 잘하면 물리를 잘하는 것이 아니라 수학을 잘 하는 것은 일반지능의 높은 수준을 나타내는 지표이고, 일반지능이 높으면 다양한 영역에서 일반지능이 낮은 사람에 비해 우수한 성취를 나타내므로 뭐든지 잘하는 학생이 물리학도 잘할 가능성이 높다. 만일 물리성취도보다 수학성취도가 미래의 물리실력을 더 잘 예측한다면 수학의 일반지능 때문이 아니라 수학과 물리의 특수한 인과관계 때문이라는 가설의 설득력이 높아진다.

2. Meltzer(2002), 수학은 물리보다 물리성적을 더 잘 예측하는가

수학능력이 미래의 물리학 성취도를 물리능력보다 더 잘 예측할 수 있음을 보여주는 대표적인 연구는 Meltzer의 연구(Meltzer, 2002)이다. 그는 종속변수를 한 학기 동안의 물리학 개념 이해를 측정하는 진단점수의 변화, 즉 성과(gain)로 측정하였다. 성적의 변화량인 성과로 측정하면 초기 능력이 좋은 학생들의 성과가 낮을 확률이 당연히 높으므로 역상관이 나오는 경우가 드물지 않다. 이러한 단점을 극복하기 위해 Hake (1998)는 학기 내 성과(posttest score-pretest score)를 측정하고 이를 가능한 최대 성과(max possible posttest score-pretest score)로 나눈 값인 정규화된 성과(normalized gain)[1]를 사용하여 수업의 상호작용 촉진전략이 학습성과에 미치는 효과를 측정하였다. Hake의 논문은 2019년 현재 5500여회 피인용되며 정규화된 성과는 교육의 성과를 측정하는 대표적인 지수로 활용되어 왔다. Meltzer (2002)는 자신의 대학교 물리학 수강 학생들에게 전기학 개념 문제와 (Conceptual Survey in Electricity; CSE)와 전자기학 개념 문제(Conceptual Survey in Electricity and Magnetism; CSEM)로 구성된 동일한 객관식 검사를 학기 시작과 끝에 실시하여 성과를 측정하였다. 학기 첫날 시행한 이 사전점수와 정규화된 성과의 상관계수를 계산하였다. 수학의 사전점수는 대학입학시험의 수리영역 점수, 혹은 이 점수가 알려지지 않은 경우에는 방정식과 기초기하학 시험을 통해 얻은 점수를 사용하였고, 이 수학의 사전점수와 물리학의 정규화된 성과의 상관계수를 계산하였다. 총 네 표본에서 물리 사전점수와 물리 정규 성과값의 유의한 상관을 발견할 수 없었지만 (p>.05), 수학 사전점수와 물리학 정규 성과값의 상관은 네 표본 중 세 표본에서 유의하였다(r = +.30~+.38, p<.01). Meltzer의 연구는 수학의 사전이해도가 물리학 사전이해도보다 물리학 성적의 향상을 더 잘 예측한다는 흥미로운 발견을 보여준다.

그러나 그의 연구 설계에서 물리의 사전점수는 독립변인이면서 또한 정규 성과값을 도출할 때의 점수로 활용되었다. 다른 연구들에서는 물리학의 사전점수가 미래의 물리학 학습 성과를 예측하는지 단순가설을 검증하였다(Hestenes et al., 1992; Coletta & Phillips, 2005). 반면 Meltzer는 물리는 학습성과와 상관이 없고, 수학은 상관이 있다는 비교가설을 검증하였다. 이러한 연구설계에서는 물리 사전점수는 종속변인인 정규 성과값과 독립변인으로 사용되었으나, 수학 사전점수는 독립변인으로만 사용되었다. 모든 측정마다 발생하는 잡음변인이 물리-물리 상관에서는 독립변인과 종속변인에 체계적으로 작동할 우려가 있다. Meltzer의 경우에는 체계적 오차가 회귀희석(regression dilution; Draper & Smith, 1998) 현상이 발생하는 방향으로 일어났을지 모른다. 단순가설을 검증할 때에는 더 보수적인 검증기준에도 불구하고 통계적으로 상관이 유의했다는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 수학과 물리의 사전점수가 물리학 학습성과에 미치는 효과를 비교하는 경우 체계적 오차가 어느 한 경우에만 발생하므로 공정한 검증 설계가 아니다.

물리학 성과를 측정하기 위한 사전-사후의 문제가 동일하여 검사-재검사 편향(test-retest bias)의 우려도 있다. 또한 수학의 사전이해도를 측정하기 위한 검사도구가 표본마다 다르고, 입학시험점수를 사용했을 경우에는 학생에 따라 응시년도가 다르므로 잘 통제되지 않았다. 물리는 정답률을 독립변인

1) $g = \frac{posttest\,score - pretest\,score}{\max\,possible\,score - pretest\,score}$

(max = 100%) 으로 수학은 38문항 중 맞춘 개수(max = 38점)를 독립변인으로 비교하는 등 척도가 달랐다.

본 연구에서는 신입생들의 학력진단점수의 첫 학기 학업성취도 예측타당성을 검증할 것이다. 한국학술정보데이터(Korean studies Information Service System) 검색 도구를 사용하여 '수학, 물리, 상관'을 주제어로 검색했을 때 국내에서는 이와 유사한 논문을 찾을 수 없었다. 지난 4년 동안 울산대학교 공과대학 신입생 전체를 대상으로 매해 비슷한 난이도의 문항으로 동일한 때에 실시한 물리, 화학, 수학의 기초학력진단검사 점수의 데이터베이스를 이용하고, 실제 학기를 이수하고 얻은 각 과목의 취득학점을 종속변수로 사용하였다. 모든 종속변수의 척도가 학점으로 동일하여 객관적 비교가 가능하다. 또한 수학진단점수의 수학학점 예측력과 물리진단점수의 물리 학점 예측력도 비교할 수 있어 수학과 물리의 성취도의 관계를 Meltzer (2002)의 연구보다 더 다각적으로 검증하였다. 사전점수에서 높은 점수를 획득한 학생에게 성과가 낮게 측정될 우려도 없다.

본 연구를 통해 검증할 기본 가설은 다음과 같다. 입학 시 수학성취도를 측정하는 진단점수가 물리 진단점수보다 일반물리학의 학업성취도를 더 잘 예측할 것이다. 그러나 입학 시 물리 진단점수는 미적분학의 학점을 수학 진단점수만큼 예측하지 못하며 물리와 수학의 이러한 비대칭적 상관관계는 수학의 일반지능가설만으로 설명할 수 없다. 대학과정의 물리학을 이해하기 위해서 수학교육이 선제되어야할 기본 기술임을 확인하고 물리, 수학, 화학의 기초진단점수와 대학교과과정 성취도 사이의 유기적 관계를 설명하여 향후 고등공학교육에서 수학의 중요성을 제고할 것이다.

III. 연구방법

1. 연구대상

2015년부터 2018년까지 4년 동안 울산대학교는 공과대학 신입생들을 대상으로 입학 전 물리, 수학, 화학의 기초학력진단검사를 실시하였다. 물리와 수학은 11개 모든 공과대학(건설환경, 기계자동차, 산업경영, 의공학, 재료공학, 전기공학, 전기전자, 조선해양, 항공우주, 화학공학, IT융합공학) 신입생들에게 실시하였고 화학은 건설환경공학, 재료공학, 화학공학 학생들에게만 실시하였다. 신입생들은 필수적으로 진단고사에 응시하도록 안내되었으나 결측치들이 발생하였다.

모든 학생들이 공통적으로 세 과목을 응시한 것이 아니므로 상관 및 회귀 분석에서 표본수를 최대한 확보하기 위하여 수학-물리(3041명), 수학-화학(884명)의 짝진 표본을 분석하였으며 각 짝진 표본에서 두 과목 모두 기초진단검사를 응시했다면 분석에 포함하였다. 또한 신입생들의 첫 학기 과목 학점이 낙제(F)인 경우 실제 수행 점수인지 중도이탈자인지 확인할 수 없어 1학기 과목이 낙제인 경우에는 상관 및 회귀 분석에서 제외하였다.

Table 2 The participation rates and the mean scores of the basic diagnostic tests from 2015 to 2018

			실시년도				
			2015	2016	2017	2018	전체
			공과대학 신입생수(명)				
			1,039	977	969	972	3,957
기초학력진단검사	물리	참여인원 (명)	785	793	808	685	3,071
		응시율	76%	81%	83%	70%	78%
		Mean±SD	41±17	40±18	25±15	29±12	34±17
	수학	참여인원 (명)	802	810	825	715	3,152
		응시율	77%	83%	85%	74%	80%
		Mean±SD	52±18	62±17	51±19	51±22	54±19
	화학	참여인원 (명)	220	226	241	207	894
		응시율	21%	23%	25%	21%	23%
		Mean±SD	61±23	59±24	57±24	59±23	59±24

2. 연구도구

가. 기초진단검사와 학점

울산대학교 공과대학의 연도별 신입생 수와 진단고사별 응시율 및 기초학력진단점수 (이하 진단점수)의 평균을 Table 2에 제시하였다. 각 교과목별 진단검사는 해마다 문항을 달리하며 5지선다형의 20문항으로 100점 척도의 절대점수로 측정되었다. 신입생들은 입학 전 오리엔테이션 프로그램의 일환으로 동일한 날짜 및 시간에 시험에 응시하였다. 일반물리학, 미적분학, 일반화학은 동일한 커리큘럼의 여러 세션으로 나뉘어져 두 학기에 걸쳐 진행되었고, 학점은 4.5 만점의 상대평가였다.

3. 자료분석

각 표본의 학번을 매칭하여 짝진 표본을 구성하는 것은 Matlab, 기초통계 및 상관, 회귀 및 다중변량분석은 SPSS 25(Statistical Package for the Social Science)를 사용하였고, Z 검증은 수기로 계산하였다.

IV. 연구결과

1. 기초학력진단검사

물리학의 연도별 진단점수의 평균은 각각 41, 40, 25, 29점이

였으며 연도별 점수의 차이는 유의하였다(F(3, 3067)= 200.2, p<.01). 진단검사는 수험생이 무작위로 선택지를 고를 경우의 획득기대점수가 20점이므로 2017년, 2018년의 물리 진단검사는 학생들에게 매우 어려운 시험이었음을 알 수 있다. 그러나 기초학력진단검사는 매해 난이도의 균형을 고려하여 출제되었고 연구자가 실제 문항을 살펴봤을 때 2017년, 2018년의 난이도가 특별히 높다고 판단되지는 않았다. 연도별 수학 평균 진단점수는 각각 52, 62, 51, 51점이었으며 연도별 점수의 차이는 유의하였다(F(3, 3148)=68.0, p<.01). Tukey 사후검정의 결과 2016년이 다른 년도에 비해 유의하게 높음을 확인할 수 있었다. 화학의 연도별 평균점수는 각각 61, 59, 57, 59 점이었으며 연도별 차이는 발견되지 않았다(F(3, 890)=.843, p=.471).

2. 짝진표본 분석: 물리-수학의 진단 점수와 학업 성취도의 관계

가. 일반물리학 학점을 더 잘 예측하는 것은 수학실력인가, 물리실력인가?

물리와 수학의 기초학력진단고사를 모두 응시한 학생을 대상으로 1학기 미적분학에서 낙제를 받은 학생의 수는 3041명 중 352명으로 11.6%였다. 이 비율은 D를 받은 학생의 비율 2.7%보다 훨씬 높아 중도 이탈 학생(휴학, 군입대, 재수 등)이 포함되어있을 가능성이 높다. 1학기 일반물리학에서 낙제를 받은 학생은 204명(6.7%)이었다. 그러므로 연구진은 입학 전 진단점수와 학업성취도를 분석하기 위한 자료로 1학기 낙제를 받은 학생을 제외시켰다.

Table 3 Correlations of the diagnostic test scores and the course grades for physics and mathematics

수학-물리 Pearson 상관계수		
	물리진단점수	수학진단점수
일반 물리학학점 (N=2837)	.264**	.311**
미적분학 학점 (N=2687)	.180**	.402**

** p<.01

진단점수(Sub_{pre})와 학점(Sub_1)의 상관은 진단점수의 학업성취도 예측타당도를 보여준다. 물리학 학점을 예측하기 위해 1학기 물리학 낙제를 받은 학생을 제외하고(N= 2837), 각 과목의 사전 진단점수(수학$_{pre}$, 물리$_{pre}$)가 첫 학기 일반물리학 학점(물리$_1$) 얼마나 잘 예측하는지를 분석하였다. 수학$_{pre}$, 수학$_1$, 물리$_{pre}$, 물리$_1$ 상관표를 Table 3에 제시하였다. 물리 진단점수와 일반물리학 학점의 상관은 $r_{물리_{pre}-물리_1}$=.264, 수학 진단점수와 일반물리학 학점의 상관은 $r_{수학_{sub}-물리_1}$=.311이었고 각 상관은 모두 유의하였다(p<.01). Fig. 1과 Fig. 2에 물리 및 수학 진단점수와 일반물리학 학점의 관계를 원점수 산포도로 나타내었다.

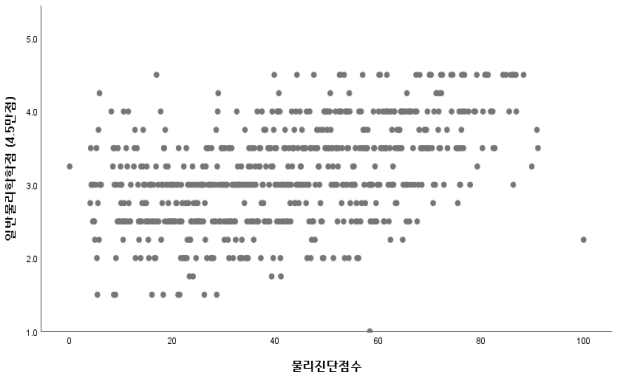

Fig. 1 The scatter plot displaying correlation between the diagnostic scores for physics and the course grades for general physics

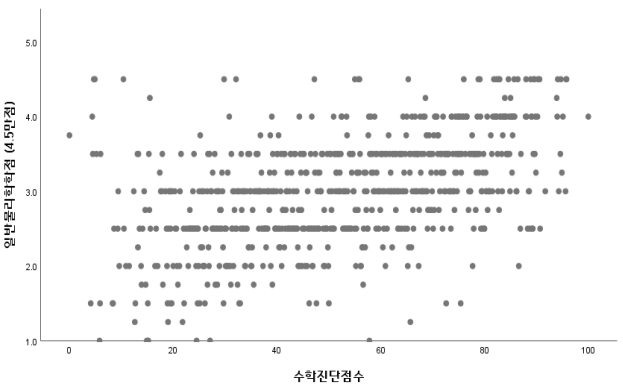

Fig. 2 The scatter plot displaying correlation between the diagnostic scores for mathematics and the course grades for general physics

두 상관계수들의 차이가 유의한지를 검증하기 위해 피셔 변환 (Fisher transformation)[2]을 통해 상관계수를 정규점수화하였다. 변환된 상관계수는 $r'_{물리_1-물리_2}$=.270, $r'_{수학_1-물리_2}$=.322 였다. 이 점수의 차이 검정을 한 결과 Z= 1.9292, p<.05 수준에서 유의하였다. 즉 수학 진단점수가 물리 진단점수보다 1학기 일반물리학 학점을 통계적으로 유의하게 더 잘 예측하였다. 선형회귀분석을 통해 일반물리학 학점의 회귀식을 도출하였다. 물리와 수학 진단점수의 상호작용 효과가 일반물리학 학점을 예측하는지 알아보기 위하여 물리와 수학의 표준점수를 구하고 이들의 곱인 '물리$_{pre표준점수}$×수학$_{pre표준점수}$'도 회귀식의 예측자로 넣었다.

2) $r' = 0.5 * \log e Abs([1+r]/[1-r])$

$$물리_1 = 2.090 + 0.129 \times (물리_{pre}) + 0.234 \times (수학_{pre}) + .082 \times \{(물리_{pre}표준점수)\times(수학_{pre}표준점수)\} \quad (1)$$

추정된 회귀계수들은 모두 유의하며(p<.0001), 물리·수학의 상호작용효과도 일반물리학 학점을 유의하게 정적으로 예측하였다(p<.0001). 즉, 물리와 수학을 둘 다 잘할 경우 일반물리학 학점을 더 정적으로 예측하였다.

Meltzer(2002)의 방법과 유사하게 수학의 사전진단점수가 물리학의 학습성과를 예측할 수 있는지를 분석하였다. 흔히 학습성과는 'Force Concept Inventory'와 같은 구조화된 질문지를 사전사후에 동일하게 사용하여 측정한다. 본 연구에서는 학기말에 부여되는 학점의 표준점수에서 물리학 사전진단 표준점수를 뺀 값을 한 학기의 물리학 학습 성과로 정의하였다.

$$물리학\ 학습성과 = Z(물리_1) - Z(물리_{pre}) \quad (2)$$

Z 점수는 최대값이 무한대이므로 Hake의 정규 성과값을 취하는 것이 불가능하다. 정규화하지 않은 학습성과로도 상관계수를 해석할 수 있으므로 물리학 학습성과와 각 진단점수의 상관을 구하였다. $r_{물리_{pre}-물리_{learning\ gain}}$=-.657. $r_{수학_{pre}-물리_{learning\ gain}}$=-.074로 모두 유의했다($p$<.01). 이 둘의 상관계수의 차이는 유의했다(Z=-26.85, p<.01). Fig. 3에서 나타나듯이 물리진단점수의 성적이 좋을수록 성적 향상의 크기가 유의하게 작았다.

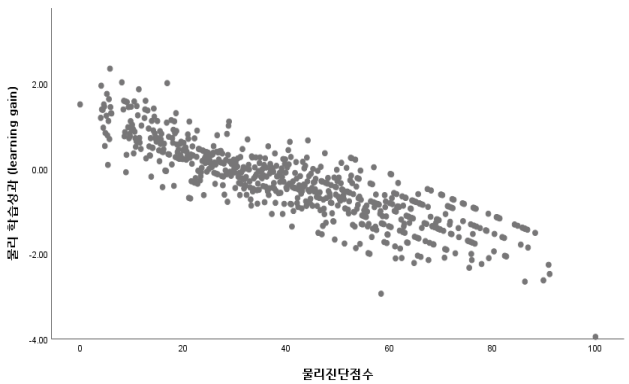

Fig. 3 The scatter plot displaying correlation between the diagnostic scores for physics and the learning gain for physics

물리진단점수가 독립변인이면서 학습성과를 측정하기 위한 도구로 동시에 이용되면 인위적 왜곡(Fig. 3)이 나타났음을 수학진단점수와 물리 학습성과의 산포도인 Fig. 4와 비교하면 확인할 수 있다.

그러므로 향후 연구에서는 이 학습성과를 측정하기 위해 Hake의 정규 성과값 방법이 타당한지에 대한 방법론적 논의가 필요하다.

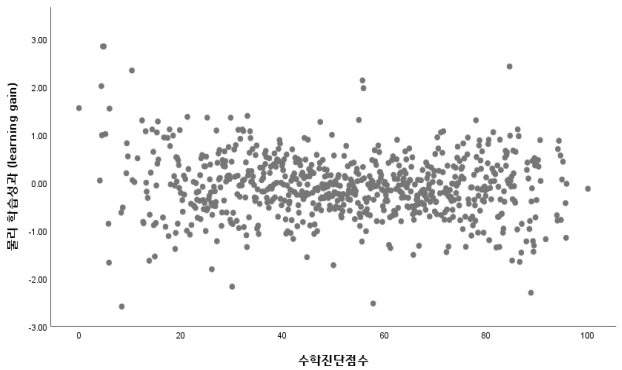

Fig. 4 The scatter plot displaying correlation between the diagnostic scores for mathematics and the learning gain for physics

최근 2년의 물리 진단점수 평균이 무작위 선택의 기댓값과 크게 다르지 않아 상대적으로 진단점수가 높았던 2015년, 2016년의 자료만을 상관분석하였다(N=1462). $r_{물리_{pre}-물리_1}$=.300, $r_{수학_{pre}-물리_1}$=.304였고, 상관은 모두 유의하였다(p<.01). 이 둘의 상관계수의 차이를 검정한 결과 Z=.1189으로 차이가 유의하지 않았다(p=.453). 물리 진단점수의 평균이 낮으면 수학과 동일한 수준으로 일반물리학 학점을 예측한 것에 착안하여 지난 4년간 각 진단점수의 분위별 평균을 구하고 이 점수와 일반물리학 학점의 관계를 도표로 나타내었다. 성적이 상위권 미만(1, 2, 3 분위)인 학생들은 물리 진단점수보다 수학 진단점수가 물리 일반학점을 더 잘 설명한다(Fig. 5). 진단점수 분위별 일반물리학 학점 예측 회귀식은 아래와 같다.

$$물리_1 = 0.253 \times (수학_{pre}) + 2.355 \quad (3)$$

$$물리_1 = 0.198 \times (물리_{pre}) + 2.5 \quad (4)$$

역시 수학진단점수가 물리 학점을 더 잘 예측하였다.

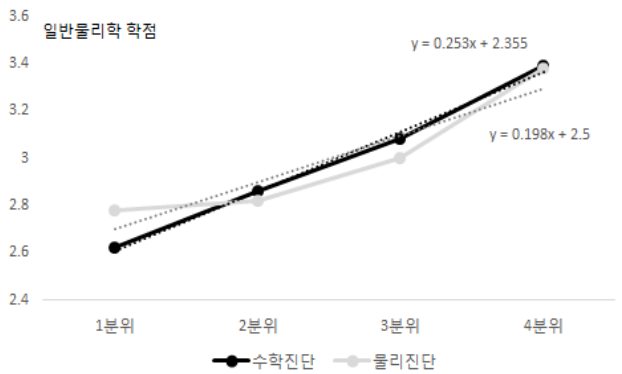

Fig. 5 The course grades for general physics as a function of quartile diagnostic scores for mathematics and physics

나. 미적분학 학점을 더 잘 예측하는 것은 수학실력인가, 물리실력인가?

다음은 각 진단점수의 미적분학 학점의 예측타당성, 상관을 분석하였다. 1학기 미적분학에서 낙제를 받은 학생은 분석에서 제외하였다(N= 2687). 수학 진단점수($수학_{pre}$)와 미적분학 학점(수학1)의 상관은 $r_{수학_{pre}-수학_1}$=.402, 물리 진단점수($물리_{pre}$)와 미적분학 학점의 상관은 $r_{물리_{pre}-수학_1}$=.180이었고 각 상관은 모두 유의하였다(p<.01). 앞선 분석과 마찬가지로 두 상관계수의 차이 검정을 한 결과, Z=8.94, p<.01 로 유의하여, 수학진단점수가 미적분학 학점을 더 잘 예측하였다. 미적분학 학점의 회귀식을 도출하였다.

$$수학_1 = 1.984 + -.005 \times (물리_{pre}) + 0.368 \times (수학_{pre}) + .093 \times \{(물리_{pre표준점수} \times 수학_{pre표준점수})\} \quad (5)$$

물리의 회귀계수는 유의하지 않았고(p=.812), 수학과 물리·수학의 상호작용은 모두 유의하였다(p<.0001). 미적분학 학점은 수학 진단점수에 의해 설명가능하고, 물리와 수학을 모두 잘 하는 경우에는 미적분학 학업 성취도를 유의하게 더 잘 예측하는 반면 물리 진단점수 단독으로는 수학 학점을 유의하게 예측하지 못한다.

다. 물리와 수학의 관계

물리학에 일정 수준의 준비가 되어 있는 표본의 경우에는 수학과 물리 진단점수가 동일한 수준에서 일반물리학 성취도를 예측한다. 그러나 물리학에 대한 준비가 부족한 표본의 경우에는 수학 진단점수가 미래의 물리학 학점을 더 잘 예측한다. 또한 물리와 수학의 상호작용 효과는 물리 학점과 수학 학점을 예측할 때 모두 유의하였다. 그러나 물리 진단점수는 회귀식에서 미래의 수학 학점을 예측하지 못했다.

물리-수학의 관계를 분석할 때, 미래 대학교육과정의 물리학 성취도를 가장 잘 예측하는 것은 물리가 아니라 수학성취도였다. 수학-수학, 물리-물리의 상관을 비교하면 $r_{물리_{pre}-물리_1}$=.264, $r_{수학_{pre}-수학_1}$=.402 였고, 이 둘의 차이는 유의하였다(Z=5.7782, p< .01). 그러므로 물리나 수학모두 수학의 준비도가 공과대학 신입생들의 미래 성적을 더 잘 예측하였다. 그렇다면 수학과 물리의 특수한 관계 때문이 아니라 수학능력이 공과대학 학생들의 미래 학업 성취도를 예측할 수 있는 일반지능의 역할을 하기 때문에 이러한 결과가 도출될 수 있다. 수학이 다른 교과에 비해 반복학습에 의한 지식을 묻는 것이 아니라 논리적 추론 및 문제해결능력과 같은 절차적 지식 을 반영하여 (Rittle-Johnson & Schneider, 2015), 일종의 적성검사의 역할을 한 것이다. 인지과제에 일반지능 요인이 많이 반영되면 검사도구의 측정신뢰도가 높아진다. 장소와 시간과 출제자가 바뀌어도 비슷한 성취가 측정될 확률이 높다. 반면 기계적 암기(rote memory)에 기댄 과제는 측정신뢰도가 낮다. 그렇다면 수학 능력에 일반지능 요인이 많이 반영되어 있고 이 일반지능 요인이 관여해서 물리성취도의 예측력이 높아진 것이지 물리와 수학의 특수 관계를 과잉 추정해서는 안 된다.

이러한 우려를 검증하기 위해 수학-화학 표본의 분석을 시도하였다. 물리-수학은 전체 공과대학 학생이 표본인 반면, 화학기초학력진단고사는 일부 학과에만 실시되었고 이 두 표본의 입학성적에도 차이가 있으므로 직접 비교할 때에는 주의가 필요하다. 다만 본 분석은 수학 진단점수의 첫 학기 일반화학 학점 예측력이 화학 진단점수보다 여전히 높은지를 탐색하고자 한다. 만일 수학이 화학의 첫 학기 성적을 여전히 화학보다 더 잘 예측한다면 수학의 일반지능요인에 의해서 신입생의 첫 학기 성취가 반영된 것이므로 앞선 연구의 결론을 수정해야 할 것이다.

3. 짝진표본 분석: 화학-수학의 학력검사점수와 일반화학 학점의 관계

가. 일반화학 학점을 더 잘 예측하는 것은 화학실력인가, 수학실력인가?

$수학_{pre}$, $수학_1$, $화학_{pre}$, $화학_1$ 상관표를 Table 4에 제시하였다.

Table 4 Correlations of the diagnostic test scores and the course grades for physics and mathematics

수학-화학 Pearson 상관계수		
	화학진단점수	수학진단점수
일반 화학 학점 (N=847)	.373**	.277**
미적분학 학점 (N=766)	.291**	.485**

** p<.01

화학과 수학 진단 시험을 모두 치르고 각 분석에서 1학기 일반화학 (N=847명)과 미적분학(N=766명)에서 낙제하지 않은 신입생을 대상으로 화학과 수학의 상관을 비교하였다. 화학 진단점수와 일반화학 학점의 상관은 $r_{화학_{pre}-화학_1}$=.373, 수학진단점수와 일반화학 학점의 상관은 $r_{수학_{pre}-화학_1}$=.277 이었고 각 상관은 모두 유의하였다(p<.01). 두 상관계수의 차이검정 결과 화학 진단점수가 수학 진단점수보다 1학기 일반화학 학점을 더 유의하게 예측하는 것으로 나타났다(Z=2.21, p<.05).

선형회귀분석을 통해 일반화학 학점의 회귀식을 도출하였다. $화학_{pre}$과 $수학_{pre}$의 상호작용 효과가 일반물리학 학점을 예측

하는지 알아보기 위하여 $화학_{pre표준점수}$×$수학_{pre표준점수}$를 회귀식의 예측자로 넣었다.

$$화학_1 = 2.093 + 0.118 \times (수학_{pre}) + 0.316 \times (화학_{pre}) + .031 \times \{(수학_{pre표준점수}) \times (화학_{pre표준점수})\} \quad (6)$$

수학(p<.01)과 화학(p<.01)의 회귀계수는 유의했으며, 수학과 화학의 상호작용 (p=.328)은 나타나지 않았다. 앞선 수학-물리의 방법처럼 각 과목의 분위별 진단점수를 구하고 분위별 점수와 일반화학 학점의 관계를 그림으로 나타내었다 (Fig. 6)

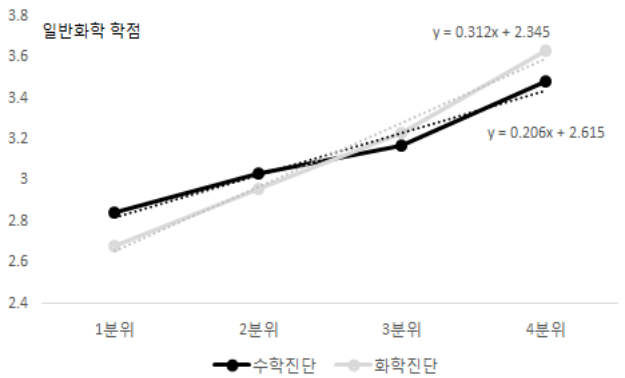

Fig. 6 The course grades for general chemistry as a function of quartile diagnostic scores for mathematics and chemistry

앞선 연구의 Fig. 5에서는 물리학 학점 예측에서 수학의 회귀식 기울기가 더 큰 반면, 수학-화학 분석에서는 화학의 기울기가 더 커 일관성 있게 화학 진단점수가 화학의 성취도를 더 잘 예측함을 볼 수 있었다.

나. 미적분학 학점을 더 잘 예측하는 것은 수학실력인가, 화학실력인가?

첫 학기 미적분학 학점에서 낙제를 받지 않은 학생을 대상으로 미적분학 학점의 상관을 분석하였다(N=766). 각 진단점수의 수학 학점 예측 타당도는 $r_{화학pre-수학1}$=.291, $r_{수학pre-수학1}$=.485 이었으며 상관은 모두 유의하였다(p<.01). 두 상관계수를 차이검정한 결과 Z=4.49로 수학 진단점수가 화학 진단점수보다 수학성취도를 훨씬 더 잘 예측하였다(p<.01). 이러한 관계는 회귀식을 통해서도 확인할 수 있었다. 아래 추정된 회귀계수들은 유의하였다, $수학_1$(p<.01), $화학_1$(p<.05). 그러나 수학·화학 상호작용 효과는 없었다(p=.247).

$$수학_1 = 1.616 + 0.458 \times (수학_{pre}) + 0.072 \times (화학_{pre}) - 0.037 \times \{(수학_{pre표준점수}) \times (화학_{pre표준점수})\} \quad (7)$$

다. 수학과 화학의 관계

수학-화학의 관계를 통계적으로 분석한 결과 화학 진단점수는 일반화학 학점을 수학 진단점수보다 더 잘 예측하였으며, 수학 진단점수는 미적분학 학점을 화학 진단점수보다 더 잘 예측하여 물리-수학의 관계에서 발견하였던 비대칭적 예측력을 발견할 수 없었다. 또한 수학이나 화학 학점을 예측할 때 수학과 화학의 상호작용효과도 발견할 수 없었다.

Ⅴ. 결론 및 논의

최근 4년 동안 울산대학교에 입학한 공과대학 신입생 중 기초학력진단검사를 응시한 학생을 대상으로 물리, 수학, 화학의 사전 진단점수와 1학기 각 교과목 성취도와의 관계를 분석하였다. 최근 많은 공과대학 신입생들이 물리 심화과정을 이수하지 않은 채 대학교에 입학하여 일반물리학 수업을 운영하기 어렵다. 울산대학교에서는 물리, 수학, 화학 기초 교과목을 제공하거나 방학 중 비교과 프로그램을 통해 수업 적응을 도와주는 프로그램을 운영한다.

본 연구를 통해 다음과 같은 현상이 발견되었다. $수학_{pre}$-$수학_1$의 상관이 다른 과목의 진단점수가 본 과목의 학업 성취도를 예측하는 정도($물리_{pre}$-$물리_1$, 혹은 $화학_{pre}$-$화학_1$)보다 높다. 이러한 현상은 다음과 같은 이유에서 발생했을 수 있다. 첫째, 수학 과제를 완수하는 데 일반지능의 관여가 더 높다. 실제로 수학수행(mathematical performance)이 다른 과목에 비해 일반지능을 많이 필요로 할 수 있고, 혹은 현재의 고등교육제도 아래 수학은 다른 과목에 비해 일반지능이 많이 반영되도록 가르쳐지고 평가되는 것일 수 있다. 즉 수학은 이해를 가르치고 이해를 묻는데, 물리학은 반복된 문제의 기계적 암기를 통해 숫자만 변환시켜 공식을 적용하지 이해를 가르치지도 측정하지도 않는다(Uhden et al., 2012). 그러나 이 일반지능가설만으로는 수학과 물리의 관계를 다 설명하지 못한다. 수학-화학의 분석에서는 비대칭적 상관관계가 드러나지 않아, 수학이 일반지능과 높은 관련이 있기는 하나 수학-물리의 관계는 더 특수하다는 것이다.

수학 진단점수는 물리의 학업성취도를 물리 진단점수보다 더 잘 예측하는데 물리 진단점수는 수학의 학업성취도를 수학 진단점수보다 잘 예측하지 못한다. 그러므로 이 둘의 비대칭적 상관관계를 다이어그램으로 매우 '단순히' 설명한다면 수학이 물리를 포함하는 관계이다(Fig. 7a). 만일 수학과 물리의 관계가 Fig. 7b와 같다면 물리도 미래의 수학 학업성취도를 수학이 물리를 예측하는 것과 동일한 크기로 예측해야한다.

혹은 이 비대칭적 관계에 대해 다른 가설을 생각할 수 있다.

수학과 물리의 관계는 위계적이다. 그러므로 특정한 순서로 수학의 개념을 익힌 후 물리의 진도가 진행되어야 한다(Mills & Treagust, 2003). 물리학에 대한 사전 지식이 부족할수록 수학진단점수가 대학과정의 일반물리학 성취도를 더 잘 예측한 우리의 결과는 이러한 가설을 어느 정도 지지한다.

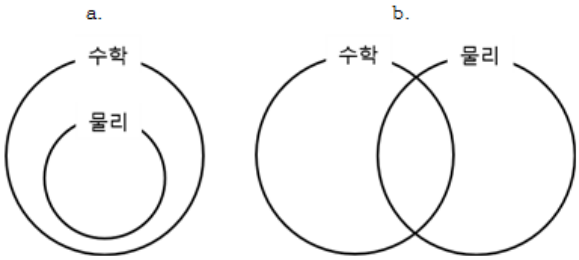

Fig. 7 The symbolic diagram displaying the structural relation between physics and mathematics

수학과 물리에 모두 통달했을 경우에는 두 학문의 관계는 Fig. 7b와 같은 구조일지 모른다. 역사적으로 위대한 수학자들은 또한 물리학자였고, 위대한 물리학자들은 동시에 수학자들이었다. 혹은 급진적으로 옛 피타고라스 학파의 학자들이 만물의 원리는 수이며 만물은 수를 모방한다(McKirahan, 2011)라고 한 것처럼 이 둘의 관계가 분리될 수 없을지 모른다. 그러나 학습의 단계에서 이 둘의 관계는 본 연구에서 확인했듯이 위계이거나 포섭이다. 이 위계 혹은 포섭의 관계는 수학과 화학의 진단점수와 학업성취도의 구조에서는 나타나지 않아 수학과 물리가 특수한 학문적 관계라는 것을 증명한다. 또한 수학과 물리는 각각 수학과 물리의 학업성취도를 예측할 때 상호작용 효과가 유의하게 발견되었으나 화학과 수학의 상호작용은 각 교과목의 학점을 예측할 때 유의하지 않았다.

본 연구를 통해 공학교육의 근간은 수학이라는 것이 확인되었다. 현재의 학사제도로는 지금 수학을 잘한다면 수개월 후 물리를 잘할 가능성이 현재 물리를 잘하는 것보다 더 높다. 유아는 처음 수를 배울 때 물리의 세계와 연결한다. 사과를 하나 갖고 있고 다른 하나를 더 갖게 되면 두 개가 된다는 이러한 이해 없이는 연산은 의미 없는 상징일 뿐이다. 곱하기는 면적의 크기를 구하는 것과 연계된다. 그러나 두 과목이 고도의 전문화를 거칠수록 학문 간의 인위적 경계가 높아진다. 수학과 물리의 이분법적 학사운영은 물리적 세계의 운동과 미적분의 적용을 분리시킨다. 중학생들은 왜 근의 공식을 외우고 고등학생들은 왜 미적분을 배워야 하는지 잘 모른다. 이와 같은 분리로는 현재 공과대학 학생들이 전반적으로 경험하고 있는 배움의 어려움을 해결하기 어렵다(Venville et al., 2000). 수학과 물리의 연계교육은 해외학계에서도 활발히 논의 중이다(Bialek & Botstein, 2015; Redish, 2007; Venville et al., 2000).

본 연구는 상관연구이나 수학기초교육 후에 실제 물리 점수가 상승하는지 인과적 관계를 탐색한 실험 연구에서도 그 긍정적 효과를 발견하였다(Forrest et al., 2017). 본 연구의 결과는 현재 수학의 이해가 장래 물리의 학업성취도를 더 잘 예측한다는 국내 학계의 첫 보고로 향후 교육과정설계에 중요한 실증자료가 될 것이다.

참고문헌

1. 강지훈(2008). **고등학교 수학 교과과정 수정에 관한 고찰: 물리 교육과 연계하여.** 석사학위논문. 고려대학교 교육대학원.
2. 김영현(2004). **초 중 고등학교 물리 및 대학의 일반물리학 교육과정의 연계성에 관한 연구.** 석사학위논문, 경희대학교 교육대학원.
3. 문공주·남형주(2018). 고교 물리 선택 이수와 입시전형에 따른 공학계열 대학 신입생의 물리 학업성취도 비교 -2017년 C 대학교 공과대학 신입생을 중심으로-. **학습자중심교과교육연구, 18**(8), 155-169
4. 백순근(2001). 대학수학능력시험의 장기 발전 방안. **교육개발, 1-2월호**, 20-25
5. 이명훈(Lee, Myeonghoon)(2017). 대학생 학업성취도와 대학 입학전형 요소의 관계에 대한 메타분석. **학습자중심교과교육연구, 17**(24), 439-457
6. Baddeley, A.(1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 49(1), 5-28.
7. Bialek, W., & Botstein, D.(2004). Introductory science and mathematics education for 21st-century biologists. *Science*, 303(5659), 788-790.
8. Blumenthal, R. H.(1961). Multiple instruction and other factors related to achievement in college physics. *Science Education*, 45(4), 336-342.
9. Buchwald, J. Z., & Fox, R.(Eds.). (2013). *The Oxford handbook of the history of physics*. OUP Oxford.
10. Cohen, H. D., Hillman, D. F., & Agne, R. M.(1978). Cognitive level and college physics achievement. *American Journal of Physics*, 46(10), 1026-1029.
11. Coletta, V. P., & Phillips, J. A.(2005). Interpreting FCI scores: Normalized gain, preinstruction scores, and scientific reasoning ability. *American Journal of Physics*, 73(12), 1172-1182.
12. Cragg, L., & Gilmore, C.(2014). Skills underlying mathematics: The role of executive function in the development of mathematics proficiency. *Trends in neuroscience and*

education, 3(2), 63-68.
13. Deary, I. J. et al.(2007). Intelligence and educational achievement. *Intelligence*, 35(1), 13-21.
14. Draper, N. R., & Smith, H.(1998). Fitting a straight line by least squares. *Applied regression analysis*, 15-46.
15. Forrest, R. L. et al.(2017). Math remediation intervention for student success in the algebra-based introductory physics course. *Physical review physics education research*, 13(2), 020137.
16. Geiser, S., & Studley, W. R.(2002). UC and the SAT: Predictive validity and differential impact of the SAT I and SAT II at the University of California. *Educational Assessment*, 8(1), 1-26.
17. Hake, R. R.(1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, 66(1), 64-74.
18. Hammer, D.(1994). Epistemological beliefs in introductory physics. *Cognition and Instruction*, 12(2), 151-183.
19. Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G.(1992). Force concept inventory. *The physics teacher*, 30(3), 141-158.
20. Hudson, H. T., & McIntire, W. R.(1977). Correlation between mathematical skills and success in physics. *American Journal of Physics*, 45(5), 470-471.
21. McCammon, S., Golden, J., & Wuensch, K. L.(1988). Predicting course performance in freshman and sophomore physics courses: Women are more predictable than men. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(6), 501-510.
22. McKirahan, R. D.(2011). *Philosophy before Socrates: An introduction with texts and commentary*. Hackett Publishing.
23. Meltzer, D. E.(2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. *American journal of physics*, 70(12), 1259-1268.
24. Mills, J. E., & Treagust, D. F.(2003). Engineering education—Is problem-based or project-based learning the answer. *Australasian journal of engineering education*, 3(2), 2-16.
25. Raven, J. C., & John Hugh Court.(1998). *Raven's progressive matrices and vocabulary scales*. Oxford psychologists Press.
26. Redish, E. F.(2006). *Problem solving and the use of math in physics courses*. arXiv preprint physics/0608268.
27. Rittle-Johnson, B., & Schneider, M.(2015). Developing conceptual and procedural knowledge of mathematics. *Oxford handbook of numerical cognition*, 1118-1134.
28. Shaw, E. J. et al.(2016). The Redesigned SAT® Pilot Predictive Validity Study: A First Look. *Research Report* 2016-1. College Board.
29. Spearman, C.(1904). "General Intelligence," objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15(2), 201-292.
30. Uhden, O. et al.(2012). Modelling mathematical reasoning in physics education. *Science & Education*, 21(4), 485-506.
31. Venville, G. et al.(2000). Bridging the boundaries of compartmentalised knowledge: Student learning in an integrated environment. *Research in Science & Technological Education*, 18(1), 23-35.
32. 대학알리미(2018). http://www.academyinfo.go.kr/uipnh/unt/unmcom/RdViewer.do
33. 매일경제(2018). https://www.mk.co.kr/news/society/view/2018/06/358891
34. 매일신문(2016). http://news.imaeil.com/NewestAll/2016020100 51164554735.
35. 서울대학교 교과과정 편람(2018). https://www.snu.ac.kr/upload/edu_file/undergraduate_course_list_2018.pdf?ver=2018-12-10

신윤경 (Shin, Yunkyoung)
1998년: 고려대학교 심리학과 졸업
2000년: 동 대학원 심리학과 석사
2009년: Purdue University, Cognitive Science, Ph.D.
2019년~현재: 울산대학교 교수학습개발원 연구교수
관심분야: motor control, 공학교육
E-mail: tzaoray@unist.ac.kr

박규열 (Park, Kyuyeol)
1993년: 동경대학교 정밀기계 박사
1995년~현재: 울산대학교 기계공학부 교수
2019년~현재: 울산대학교 공과대학장
관심분야: 공학교육
E-mail: kypark@ulsan.ac.kr

이아름(Lee, Ah-reum)
2008년: 경남대학교 음악교육과/교육학과 졸업
2014년: 부산대학교 교육학과 석사
2019년: 경성대학교 문화학 박사
관심분야: 융합교육, 교육효과, 문화콘텐츠
E-mail: cacompetence@naver.com

정종원 (Jung, Jongwon)
2001년: 고려대학교 교육학과 졸업
2003년: 동 대학원 교육학과 석사
2009년: The University of Georgia, Instructional Technology, Ph.D.
2011년~현재: 울산대학교 교육학과 교수
관심분야: 교육체제설계, 교육성과분석
E-mail: brave0077@ulsan.ac.kr