Journal of Engineering Education Research
Vol. 18, No. 4, pp. 34~44, July 2015

공과대학생들의 수리 – 공간 – 언어 능력 사이의 관계 및 성별 차이에 관한 연구

김연미†
홍익대학교 공과대학

A Study on the Relation among Mathematical – Spatial – Verbal Abilities and Gender Differences of Engineering Students

Yeon Mi Kim†
School of Engineering, Hong Ik University

ABSTRACT

Mathematical, spatial, and verbal abilities are important for future engineers to succeed in the STEM disciplines. The purpose of the study is to assess engineering students' spatial abilities and analyse the relationship with mathematical achievement, verbal achievement, and gender. On the mental rotation tests, 65% of male students demonstrated a substantial level of spatial abilities. But only 30% of female students exhibited spatial skills at the same level as their male colleagues. The correlations between mathematical - spatial - verbal abilities are found to be negligible. When spatial visualization ability was plotted according to the mathematical achievement level, there was no difference in the mean spatial abilities score. But when mathematical achievement score was plotted according to the spatial abilities, there was a noticeable difference. Regression analysis confirmed that female students' mathematical achievement increased as spatial abilities improved. This phenomenon was not observed for male students. It's because male students' spatial ability already contributed to their mathematics achievement. So spatial ability can be regarded as one factor for the gender differences in mathematics achievement. The gender gap on spatial abilities and math achievement is large among high achieving students. For example, there was a 4.3 to 1 male - female ratio and 3.4 to 1 male - female ratio among students scoring 99th percentile in spatial visualization test and scholastic aptitude test-math.

Keywords: spatial ability, gender differences, mental rotation, holistic vs analytic(serial) strategies

I. 서 론

공과대학에 입학한 학생들을 동질적인 집단에 속한다고 생각하기 쉬우나 이들은 다양한 배경을 가지고 있고 그들의 인지능력 또한 매우 폭넓은 범위에 걸쳐 분포하고 있다. 그 이유로는 첫째, 대학 내에서도 다양한 입시 전형 방식이 있고, 둘째, 동일한 전형 내에서도 수학 능력시험에서의 수학, 언어, 외국어 등의 영역에서 편차가 있으며, 셋째, 성별 간의 차이가 각 영역 마다 존재하기 때문이다. 따라서 학생들 개개인의 특성과 자질을 이해하는 것은 현실적으로 어려운 일이다. 이것을 위해서 가장 기초적인 인지기능이라고 할 수 있는 언어, 수학, 공간 능력을 통계적으로 먼저 파악할 수 있다면 이것은 향후 학생들의 교육이나 지도에 초석이 될 수 있다.

공학은 STEM 이라고 불리는 분야 중 하나이며 기계, 전기전자, 산업, 컴퓨터, 토목, 화학공학 등 여러 전공분야가 그 속에 포함된다. 이들 각 전공에서 요구하는 능력들은 분야별로 조금씩 다르겠지만 공통적으로는 수학, 공간, 언어 능력 등이다. 이 능력들은 인간의 지능지수를 평가할 때 측정하는 세 영역이기도 하다.

미국에서는 우수한 수학과 언어 능력이 STEM 분야에서의 성공을 위해 필요하다는 사실을 전통적으로 인식하여 왔지만 공과대학생들이 전공분야를 자퇴하거나 졸업하지 못할 확률이 40%에 이른다는 조사가 나온 뒤에는 수학과 언어 외에 다른 능력을 추가해야 한다는 인식이 퍼지게 되었다 (Guay, 1977). 이것이 공간능력의 중요성이 대두되고 다양한 공간 시각화 검사가 만들어진 배경이다. 미국에서 인간

Received June 2, 2015; Revised July 20, 2015
Accepted Juny 27, 2015
† Corresponding Author: kimym@hanmail.net

발전에 대한 50 여년에 이르는 종단연구인 Project Talent [1]를 수행한 Wai 외(2009)에 의하면 인문-사회분야의 전문직 종사자들의 인지 능력은 공간능력 < 언어능력 < 수학능력 순으로 올라가지만 STEM 분야의 종사자들에서는 언어능력 < 공간능력 < 수학능력 순서로 높아진다. 따라서 이러한 능력이 우수한 개인일수록 STEM 분야에서 성공할 확률도 높아질 것이다. 외국의 경우에는 다양한 노력에도 불구하고 STEM 분야를 선택하여 성공하는 여성의 비율이 여전히 낮다는 사실로 인하여 연구자들 사이에서 그 원인에 대한 많은 논의가 이루어지고 있다(Lubinski & Benbow, 1992). 그 중의 한 요인으로 수학 성취도나 공간능력의 분포곡선에서 상위권으로 갈수록 남성의 비율이 높아진다는 사실을 들고 있다. 비록 여러 인지능력에서의 평균 점수는 성별 간 차이가 거의 없지만, 성취도 분포곡선에서 여성은 고른 분포를 보이는 반면 남성은 훨씬 높은 변동성을 보인다. 그 결과로 최 상위권에도 남성이 밀집해 있다(Lohman & Lakin, 2008; Lakin, 2012).

연구자가 재직하고 있는 대학은 2012년부터 5년에 걸쳐 이공계 여성인재 육성 지원 사업을 위한 선도대학으로 지정되어 다양한 사업을 추진하고 있다. 그 노력 중의 하나로 신입생들의 공간능력을 검사해서 일정 수준 미달인 남녀 대학생들에게 공간능력 향상을 위한 시범강의를 계획하고 있다. 본 연구에서는 공간능력 검사를 통해 얻어진 학생들의 점수와 수학능력 시험 중의 수학 및 언어 영역의 점수들을 이용하여 이들 세 영역의 점수 분포와 영역들 사이의 상관관계 등을 조사해보고자 한다. 이와 같은 조사는 장기적으로는 STEM 분야에 진출한 학생들이 향후 문제해결이나 창의성을 발휘할 때 분야별로 어떤 능력이 얼마나 더 중요한지에 대한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 물론 한 특정 대학에서 얻은 데이터를 일반화 하는 것에는 무리가 있을 수도 있다. 하지만 본 연구의 결과는 본교의 공대 신입생 전체를 대상으로 얻은 데이터이며, 현재로는 국내 연구 중에서 대학생을 대상으로 공간능력과 수학 성취도 사이의 관계를 조사한 최초의 연구라고 생각된다. 이 결과의 타당성이 후속 연구에서 검증된다면 향후 공과대학생들이 STEM 분야에서 성공할 가능성의 예측이나 최적의 분야 선택 등 여러 다양한 적용이 가능할 것으로 사료된다.

1) 미국에서 1960년에 440,000 여명의 고등학생을 대상으로 실시되어 2009년도까지 실시된 대규모 종단 연구이다. 이 연구는 다양한 사회, 경제, 교육 분야에서 활용되었다.

II. 이론적 배경 및 연구 방법

1. 연구 배경

가. 공간능력과 STEM

공간능력은 가깝게는 여행 가방을 챙기고, 길을 찾는 것에서부터 화학에서 분자구조나 이성질체(Fig.1)를 이해하는 것, 의학이나 생물학, 지질학, 토목 분야에서 3차원 입체를 가상으로 잘랐을 때 나타나는 단면에 대한 이해, DNA구조나 페니실린의 발견에 이르기까지 STEM 분야에서 창의성을 발휘하고 기술혁신을 위해서 필수적이다(Utal & Cohen, 2012). Wai외(2009)는 STEM 분야를 전공하는 23세의 대학생들을 ① 물리학, ② 수학/컴퓨터, ③ 전자전기 공학, ④ 기타 공학 전공 그룹으로 분류 했는데, 이들의 조사에 의하면 언어능력은 물리학 > 기타공학 > 수학/컴퓨터 > 전자전기 공학의 순서로 낮아지고, 수학능력은 물리학 > 전자전기 > 수학/컴퓨터 > 기타 공학의 순서로 낮아지며, 공간능력은 전자전기 공학 > 기타공학, 물리학 > 수학/컴퓨터 순서로 변하였다. 이러한 순서는 이후 33세에 측정했을 때도 큰 변화가 없었다.

공간능력은 Lohman(2009)에 의하면 “추상적이고 시각적인 이미지를 만들어내고, 유지하고, 회상하고 변환할 수 있는 능력”이다. 이 능력은 언어적 능력이나 추론 능력과는 구분되는 지능의 한 특별한 유형이라고도 볼 수 있다. 공간능력이 단일한 기능을 기초로 한 것인지 혹은 다양한 요인들을 구성요소로 가지고 있는지에 대하여 많은 학자들이 요인분석을 하였다. 대표적인 학자들이 McGee(1979), Linn & Peterson(1985), Caroll(1993) 등이다. 예를 들면 McGee 나 Tartre(1990)는 공간능력을 ‘공간 시각화(spatial visualization)’와 ‘공간 방향화(spatial orientation)’의 두 요소로 이루어진 모델로 제안하였다. ‘공간 시각화’는 상상속의 삼차원 공간에서 움직임을 이해하거나, 대상을 조작하는 능력이다. ‘공간 방향화’는 각각 다른 방향이나 관점에서 대상이 어떻게 보일지를 상상하는 능력을 의미한다. 전개도를 보고 접어진 대상을 상상하는 것 같은 공간시각화는 대상에 기초한(object- based) 공간적 변환을 수행하는 것이므로 이때 대상의 위치는 움직이지만, 관찰자의 자아 중심적 좌표계는 변화하지 않는 것이 특징이다. 반면에 입체를 다양한 관점에서 관찰하는 ‘공간 방향화’에서는 관찰자의 자아 중심적 좌표계는 환경에 대하여 변하지만 대상의 좌표는 변화하지 않는다(Hagarty & Waller, 2005).

Fig.1과 같은 도형을 회전할 때에 개인에 따라서는 상상속에서 한 번에 회전할 수도 있고 또는 어떤 한 면을 기준으로 인접한 면을 비교, 대조하거나 세기도 하는 분석적인 전략도

활용한다. 이러한 전략적인 차이를 전인적(혹은 게슈탈트적) 전략 대 순차적(혹은 언어- 분석적) 전략이라고 부른다. Linn & Peterson(1985)은 남성은 전인적인(holistic) 전략을 상대적으로 많이 사용하고, 여성은 순차적(serial) 혹은 분석적인 전략을 상대적으로 많이 사용하는 것으로 추측하였다. 전인적 전략은 도형을 시각화해서 도형 전체를 한 번에 회전하는 반면에 분석적 전략은 체계적이고 단계적인 접근을 의미한다. 전인적 방식에 익숙하지 못한 학생들이라면 언어적 전략을 사용하여 블록의 개수를 세거나, 분석적으로 도형에서 특징적인 곳을 대조하기도 한다. 그런데 심적 회전에서는 전인적 접근이 좀 더 효율적이고 시간이 단축되는 것으로 나타난다(Sorby, 2009).

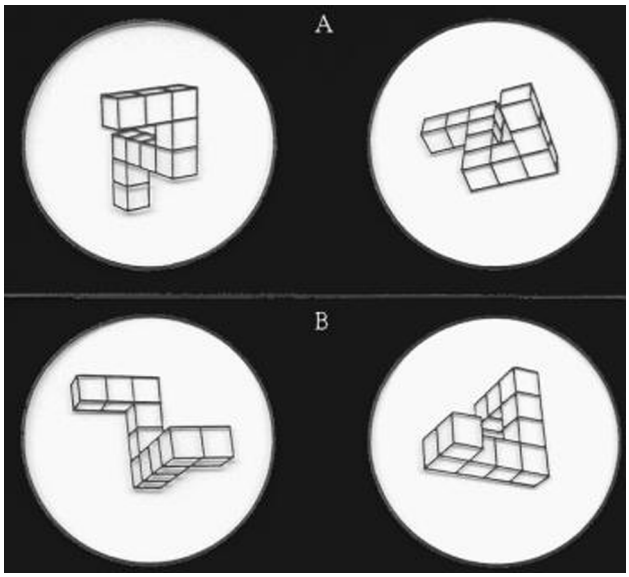


Fig. 1 Mental Rotation Task(Shepard & Metzler, 1971).

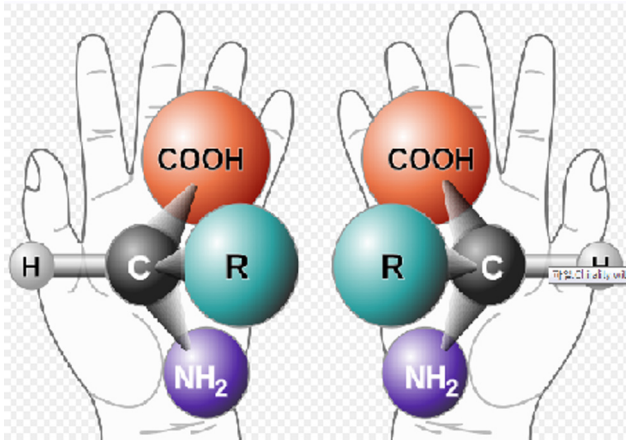


Fig. 2 Isomer.

여학생들의 심적 회전 능력이 남학생들 보다 뒤떨어지지만 여성은 남성보다 대상의 위치를 보다 잘 기억하고, 지표를 이용한 길 찾기에서는 남성보다 우월하다(Chen, Chang, Chang, 2009).

많은 학자들은 공간 능력과 수학, 수학과 언어 성취도 사이에 상관관계가 있을 것으로 추측하였고 다양한 방식으로 실험을 하였다. 그런데 그 결과들은 일관적이지 않다. 예를 들면 미국에서 SAT-M (scholastic aptitude test-math)을 통하여 연구한 Raven, Raven & Court (1998)는 수학 성취와 공간 능력 사이에 양의 상관관계를 발견하였다.

Tolar 외(2009)도 공간 능력이 뛰어난 개인에게서 발견되는 높은 수준의 추론 능력이나 문제해결 능력이 공간능력과 SAT-언어, 수학과의 상관관계에 기인한 것으로 설명한다. 이들의 연구에서 공간 시각화 능력과 SAT- 언어, 수학능력 사이의 상관계수는 각각 0.47, 0.58 이다. 반면에 Friedman(1995)은 메타 분석을 통하여 공간능력과 수학적 성취 사이에는 상관관계가 높지 않다고(γ ~0.2) 주장한다. 이렇게 다양한 결과가 나타나는 이유는 연구 대상의 연령이나 표본 추출 방식, 그리고 실험 과제 등이 일치하지 않았다는 점을 들 수 있다. 한국의 학생들은 수학 실력이 우수하고 수학능력시험의 수학 시험 수준도 미국의 SAT 보다 심화 과정을 다루기 때문에 외국의 연구와 동일한 결과를 예단하기는 어려운 상황이다.

나. 수학 및 공간 능력에서의 성별 차이

수학을 비롯한 인지능력에서의 성차에 관한 논의는 현재까지도 많은 연구자들의 관심을 끄는 분야이다. 미국에서는 Benbow나 Lubinski 등이 14세에 SAT 수학에서 750점 이상을 받은 우수한 학생 중 남학생과 여학생의 비가 10: 1에 이른다는 발표를 함으로써 수학 성취도에서의 성별차이에 대한 긴 논쟁이 촉발되었다(Benbow, 1992). 그 후 수학 성취도에서 성차를 발견한 연구자들 중에서 그 원인이 공간능력에 의해서 중개된다고 믿는 학자들이 나타났다(Casey 외, 2001). 이들은 공간능력을 측정하는 심적 회전(mental rotation, Fig.1)과제에서 가장 큰 성별 차이를 발견했고, 남학생의 50%가 도달한 수준에 여학생의 16%만이 속한다는 보고를 하였다(Nuttall 외, 2004). 실제로 공간 능력에서의 성별 간의 차이에 대하여는 지난 30여 년간 많은 연구가 축적 되었다. 그런데 연구 결과들은 성별 간의 점수 차이는 인정하지만, 그 차이가 언제부터 나타나는지, 원인은 무엇인지에 대하여는 아직 일관된 결과를 도출하지 못한 상태이다. 예를 들면 Casey 외(2001)는 발생 시기를 어린 시절부터라고 하고, Linn & Peterson(1985)은 사춘기부터라고 주장한다. 성별 차이의 원인에 대하여도 여성주의

자들은 사회-문화적 고정관념이나 차별 등을 주된 원인으로 생각하고 있다. 이것은 여성의 역할에 대한 사회적 편견이 가정과 학교 내에 아직도 존재함으로써 여학생이 STEM 분야에의 진출을 꺼리는 요인으로 작용한다는 것이다. 그 외에도 남학생들은 어릴 때부터 조립식 놀이기구를 더 많이 가지고 놀고 다양한 스포츠 활동에도 활발하게 참여하기 때문에 이러한 사회적 경험이 누적되어서 공간 능력에서의 차이가 나타날 가능성도 배재할 수 없다. 외국에서는 수학교육과정과 관련된 내용을 측정할 때는 평균점수에서는 성별 차이가 거의 사라졌다고 보고하는 반면에 한국은 PISA와 같은 국제 학업성취도 비교를 보면 수학적 소양이 가장 우수하면서도 성별 차이가 가장 큰 국가 중의 하나다(OECD, 2014).

2. 연구 방법

가. 연구대상

연구 대상은 본 연구자가 재직하는 대학교의 2014년 공과대학 합격자 중에서 공간능력 테스트에 참가한 819 명을 대상으로 하였다. 수학능력 시험 결과를 제출하여 최종적으로 통계자료에 포함된 학생의 수는 774명(남학생 582 명, 여학생은 192 명)이었다.

나. 검사도구

본 연구의 검사 도구는 수학능력 시험의 수학 영역과 언어 영역의 백분위 점수, 그리고 공간 시각화 검사이다. 이 중에서 공간 시각화 검사는 학생들의 공간능력을 측정하기 위한 도구이며 2014년 3월 초에 공대생 전체를 대상으로 공간시각화 검사(Purdue Spatial Visualization Test-Rotation, Fig.3)를 실시하였다. 검사 문항은 30문항이고 검사 시간은 25분 이었다.

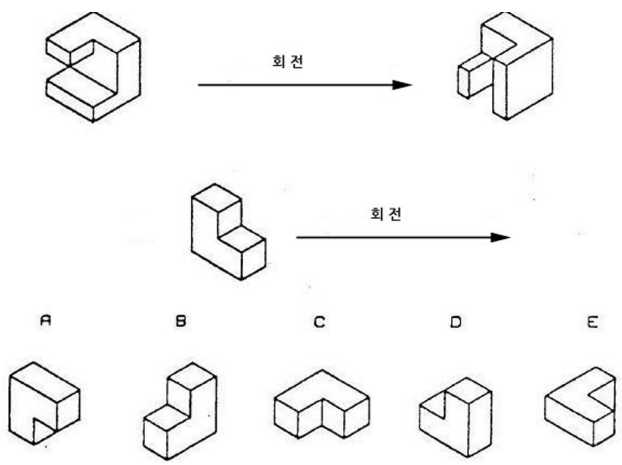


Fig. 3 Spatial Visualization Task(Guay, 1977).

이 검사는 공간능력을 측정하기 위하여 널리 사용되는 검사이고 신뢰도는 0.7 - 0.8 정도다(Guay, 1976; Sorby, 2009; Battista, 1990).

다. 자료의 분석

수학 및 언어 성취도와 공간 능력에 대한 기술 통계적 분석을 실시하기 위해서 각 영역의 점수에 대한 평균, 표준 편차, 그리고 각 영역 사이의 상관관계를 구하였다. 성별 차이에 관한 조사를 위해서는 t-검정을 실시하는 것 외에도 수학 및 언어 영역의 백분위 점수와, 공간 시각화 점수대별로 분포도를 작성하였고, 분포도에서 남학생과 여학생의 비를 조사하였다. 또한 수학 성취도 등급에 따른 공간 능력과 언어 영역에서의 평균 점수의 변화를 조사하였으며, 공간 능력이 변화할 때 이에 따른 언어 영역의 평균 점수와 수학 성취도의 평균 점수를 성별에 따라 분석하여 이들 사이의 관계를 확인하고자 하였다.

Ⅲ. 본 론

1. 영역별 성적 분포도와 통계 자료

다음 Table 1과 Table 2는 신입생들(남학생 582, 여학생 192명)의 수학능력 시험 중 언어 영역과 수학 영역에서 백분위 분포를 성별로 나타낸 것이다. 가로축은 점수를, 세로축은 백분위 분포를 나타낸다. Table 3은 공간 시각화 검사의 점수 분포를 성별로 나타낸 것이다. Table 4는 각 영역에서의 평균과 성별 평균, 편차, t-test 검증 결과이다. 그리고 Table 5에서는 수학 - 공간, 수학 - 언어, 공간 - 언어 영역 사이의 상관계수를 조사하였다. 통계를 보면 여학생은 언어 영역의 평균 점수가 남학생보다 7점 높은데, 이것은 남학생 평균 점수의 0.5SD에 해당한다. 남학생은 수학 영역에서 여학생보다 평균 10점 높은데, 이것은 여학생 평균 점수의 0.5SD에 해당한다. 공간 능력에서도 남학생이 3.7정도 평균 점수가 높다. 공간 능력의 점수 차이는 남학생이 여학생보다 10 % 혹은 1SD 정도 높다고 알려진 연구 결과와 일치하는 값이다(Robert & Chevrier, 2003). 그리고 남학생 65%의 공간 시각화 점수가 25점 이상이어서 절반 이상의 남학생이 상당 수준의 공간 시각화 능력을 확보했음을 알 수 있다. 이 수치는 여학생의 2배에 달한다. 종합하면 성별차이는 공간 시각화 능력에서 가장 크다. 그 밖에도 수학 및 공간 시각화 점수에서의 편차는 남학생이 여학생보다 작고, 언어 영역에서는 여학생의 편차가 남학생보다 작다.

Table 1 Distribution of students in verbal achievement

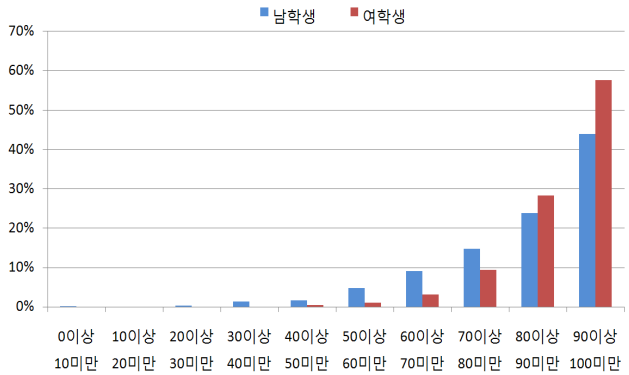


Table 2 Distribution of students in mathematics achievement

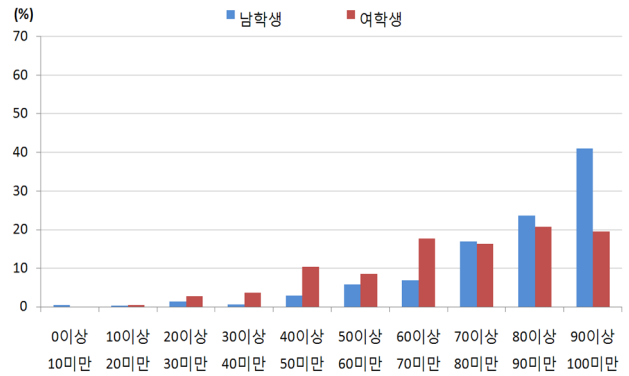
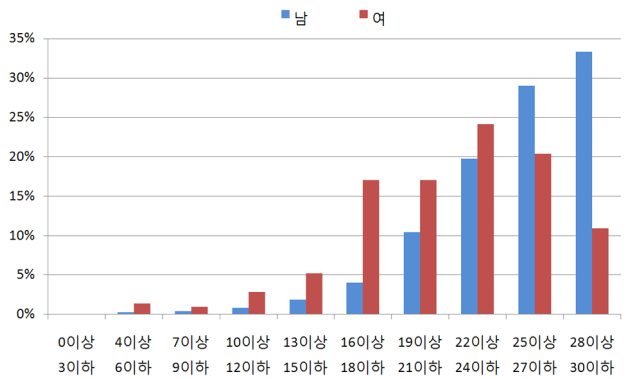


Table 3 Distribution of students in spatial visualization abilities



영역 간의 상관관계를 살펴보면 수학-언어 영역의 상관 계수는 음의 값이 나왔다. 이것은 입시 전형에서 합격권에 들기 위해서는 한 영역의 점수가 낮을수록 다른 영역의 점수가 높아야 한다는 현실을 반영한 것으로 해석된다. 그런데 수학-공간 영역의 상관 계수가 0에 가까운 것은 남학생과 여학생의 경우가 다른 요인에 의한 것이라고 추측되어서 이들 사이의 관계를 심층 분석할 필요성이 대두되었다.

Table 4 Statistics of mathematics, verbal achievement, and spatial visualization ability by gender(t-Test)

	수학 영역 평균 (79.3)		공간 능력 평균 (24.6)		언어 영역 평균 (84.2)	
	남 (582)	여 (192)	남 (582)	여 (192)	남 (582)	여 (192)
평균	81.4	71.9	25.5	21.7	82.0	89.0
편차	14.58	19.58	3.60	4.99	15.1	9.5
t test 검증	5.9561E-10		5.90635E-19		1.61805E-11	

Table 5 Correlations among mathematics - verbal - spatial visualization ability

	남	여	전체
수학 성취도-공간 시각화	0.08	0.12	0.19
수학 성취도-언어 성취도	-0.20	-0.24	-0.24
공간 시각화-언어 성취도	0.05	0.03	-0.02

2. 수학- 공간 -언어 능력 사이의 관계

가. 수학 성취도와 공간 능력 사이의 관계

Fig.4 와 Fig.5는 각각 남학생(M)과 여학생(F)의 수학 성취도와 공간 시각화 점수에 따른 산포도를 나타낸다.

다음 Table 6은 수학 영역의 등급(가로축)에 따른 공간 시각화 점수(세로축)를 성별로 조사한 것이다.

Table 6에서 관찰할 수 있는 것은 남녀 학생 모두 수학 등급에 따른 공간 능력의 점수 변화가 거의 없다는 사실이다. 이것은 수학 성적이 우수하다고 해서 공간능력이 올라가는 것도, 수학 성적이 나쁘다고 공간능력이 낮은 것을 의미하지는 않는다. 그 이유를 생각해보면 수학적 문제해결에는 다양한 인지능력들이 요구되는데, 공간능력은 그 중의 하나고, 그 외에도 양적 능력(quantitative reasoning)과 언어적이거나 비언어적인

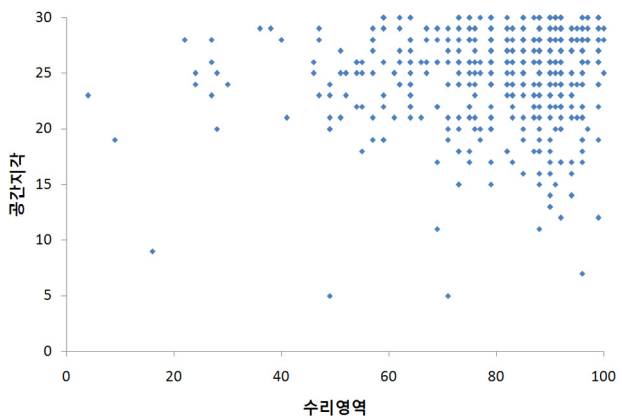


Fig. 4 Scatter plot between math - spatial abilities(M).

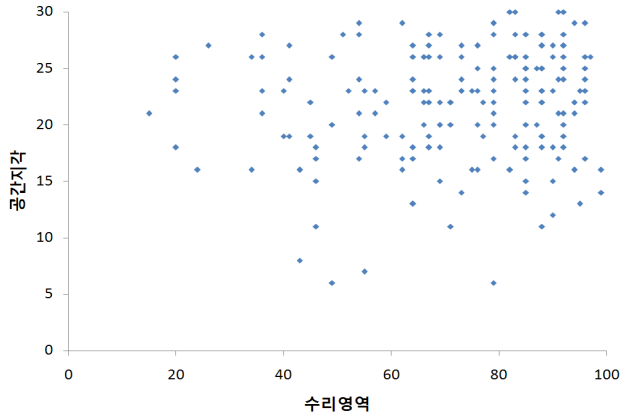
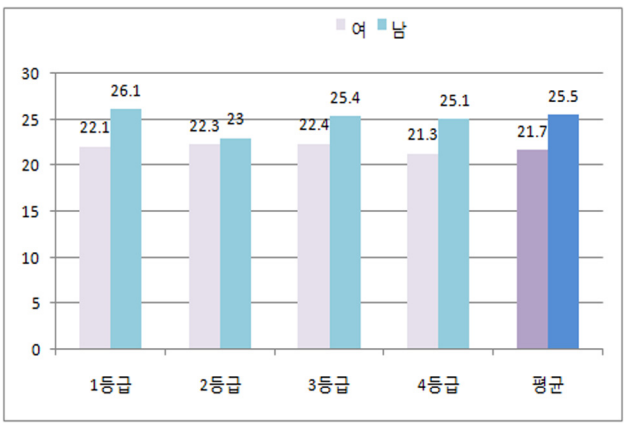


Fig. 5 Scatter plot between math – spatial abilities(F).

추론능력 등을 들 수 있다. 개인이 한 가지 인지능력에서 뒤쳐진다면(예를 들어 공간능력) 그 사람은 자신이 능숙한 다른 인지기능, 예를 들면 언어- 분석적 능력을 통해 우회하여 문제를 해결할 가능성도 존재한다. 그리고 무엇보다 수학능력 시험이 EBS와 연계되면서 난이도가 낮아지는 추세이고, 이런 경우라면 성취도에 가장 중요한 역할을 하는 것은 노력이라고 일선 교사들은 판단하기 때문에 모든 수학 등급에서 공간능력에는 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Table 7-1은 공간 시각화 점수를 4등급으로 나누고(수학 등급과 마찬가지로) 이에 따른 수학 영역의 성별 점수 분포를 나타낸 것이다. 여기에서는 남학생과 여학생의 점수가 변화하는 방식과 변화폭에서 차이가 뚜렷이 나타나는 것을 알 수 있다. 먼저 여학생의 경우에는 공간능력 점수가 상승하면서 수학 성취도도 증가하는 것을 관찰할 수 있다(15점 미만인 학생 수는 매우 적어서 통계적으로 유의미 하지 않다는 판단으로 제외하였다). 여학생은 공간 시각화 점수 25점을 기준으로(평균보다 1SD이상인 경우), 25점 이상에서는 평균점수보다

Table 6 Mean spatial visualization ability score according to the mathematics achievement level



높아진다. 그리고 최상위 구간인 29, 30점대에서는 수학 평균 점수가 81점으로 공간 시각화 점수가 20점 이하인 학생들과 비교하면 12점 이상 높다. 성별 점수 차이는 공간 시각화 점수가 최 상위권인 여학생들의 경우가 가장 적다. 반면 남학생은 전 구간에서 수학 점수의 변화폭이 4.3 점으로 여학생의 총 변화인 12.2와 비교하면 작다. 이 현상을 남학생의 경우는 공간 능력이 이미 성별 간의 수학 점수 차이에 반영되었기 때문에 성별 내에서의 수학 성취도에는 큰 영향을 주지는 않는 것으로 해석해 보았다. 위의 사실들을 확인하기 위하여 공간 시각화 점수에 따른 수학 평균 점수를 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 여학생의 공간 시각화 점수를 X, 수학 평균점수를 Y 로 놓았을 때 $Y = 56.2 + 0.74X$ 를 구하였다. 여학생의 경우에 R^2(결정계수)는 0.40이고, 계수들에 대한 p-값은 모두 0.05이하로 현상을 비교적 옳게 분석한 것으로 판단된다. 이 직선과 데이터를 Table 7-2에 나타냈다(x 축은 공간 시각화 점수, y 축은 수학 점수).

Table 7-1 Mean mathematics achievement according to the spatial visualization ability

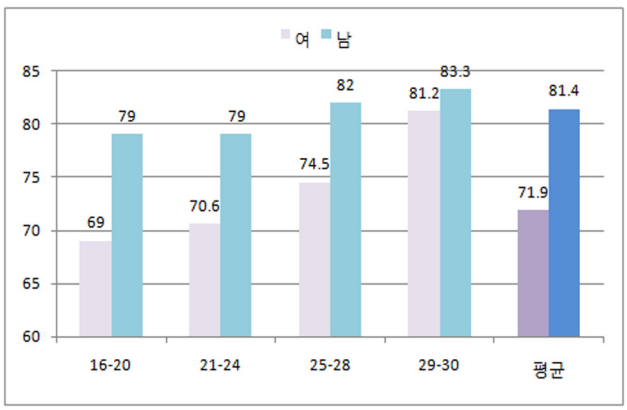
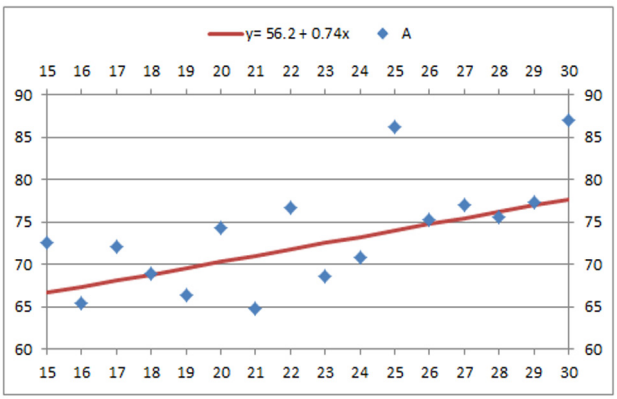


Table 7-2 Regression analysis curve between spatial ability and mathematics achievement



(◆: mean mathematics score for spatial ability)

회귀분석에 따르면 결정계수가 1에 가까운 값은 아니지만 공간능력이 일정 수준(25점) 이상인 여학생들의 수학 점수는 평균 보다 높고 점차 상승한다. 그러나 남학생의 경우는 다중상관관계, 결정계수 모두 0에 가까운 수치를 보여 여학생과 남학생 사이에는 차이가 있음을 알 수 있다. 이것은 (남녀 학생)전체적으로는 공간능력에서 차이가 있더라도 수학적 문제해결능력에서는 차이가 없지만, 공간능력이 우수한 여학생들이 문제해결에서 공간적 기술을 더 자주 사용하고 수학 성취도도 높다는 연구 결과와도 부합한다(Fennema & Tartre, 1985). 그렇지만 공간능력은 우수하지만 수학 성취도가 낮은 학생들도 존재하기 때문에 이 둘 사이의 관계에 대하여는 후속 연구가 더 필요하다.

나. 수능 언어영역과 공간 능력 사이의 관계

이 절에서는 수능 언어 영역의 등급에 따라서 공간 시각화 점수가 변화하는 정도와, 공간 시각화 점수 가 변화할 때 언어 영역에서 점수 변화가 있는가를 조사한다. Table 8에서는 남녀 학생 모두 언어 등급이 변화할 때 공간 능력의 평균 점수에서는 차이가 거의 없다는 점을 보여준다. 이 사실은 Table 6에서 관찰한 수학 등급과 공간능력 사이의 결과와 동일한 맥락이다. 다만 언어 등급이 4등급으로 낮은 경우는 남녀 학생 모두 공간 시각화 점수도 낮다.

Table 9에서도 공간 능력이 상승하면 이에 따라서 언어 영역의 평균 점수가 남녀 모두 미미하게 상승하는 것은 패턴으로 확인할 수 있지만 여기에도 유의미한 변화는 없다. 이 사실들을 종합하면 언어 성취도와 공간 시각화 능력은 독립적인 두 기능으로 간주해야 한다는 결론이다. 이것은 공간능력과 SAT-언어 영역 사이에서 양의 상관관계를 발견한 Tolar 외 (2009)의 연구와는 다른 결과다.

Table 8 Mean spatial visualization ability score according to the verbal achievement

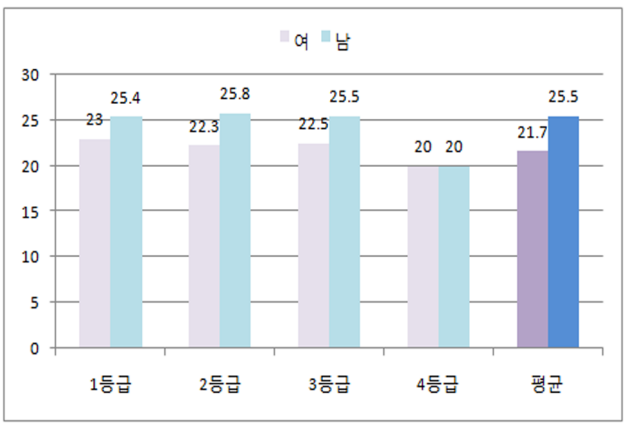
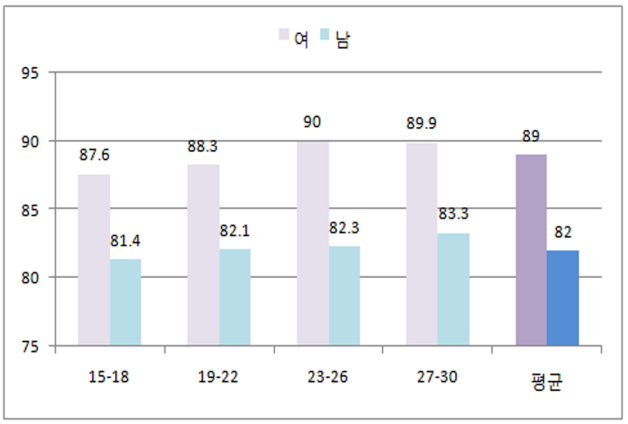


Table 9 Mean verbal score according to the spatial visualization ability(x axis: spatial visualization ability)



다. 수학 성취도와 언어 성취도 사이의 관계

이 절에서는 학생들의 수학 성취도의 등급에 따라 언어 영역의 점수가 변화하는 정도와, 언어 영역의 등급에 따라 수학 성취도에 나타나는 변화를 성별로 조사한다. Table 10에 의하면 언어 등급이 내려가면서 수학 점수는 전반적으로 상승하는데, 여학생들의 점수 변화폭은 14.2 점이고, 남학생들의 점수 변화폭은 10.8로 여학생들의 점수 변화폭이 더 크다.

Table 11에서는 수학 등급에 따른 언어 영역의 점수 변화를 조사하였다. 수학 영역에서 등급이 내려가면 언어 영역의 점수는 남녀 모두 상승한다. 여학생들의 점수 변화폭은 3.4로 크지 않지만, 남학생들의 변화는 14.2 점에 달해서 남학생들에서 더욱 두드러진다. 이것은 수학 - 언어 영역의 점수 사이에 음의 상관관계가 존재한다는 결과와 동일한 맥락으로 해석할 수 있다.

Table 10 Mean mathematics achievement score according to the verbal achievement(x axis: verbal achievement)

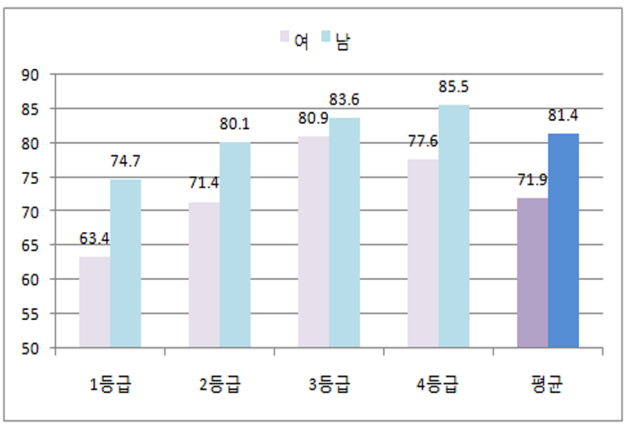
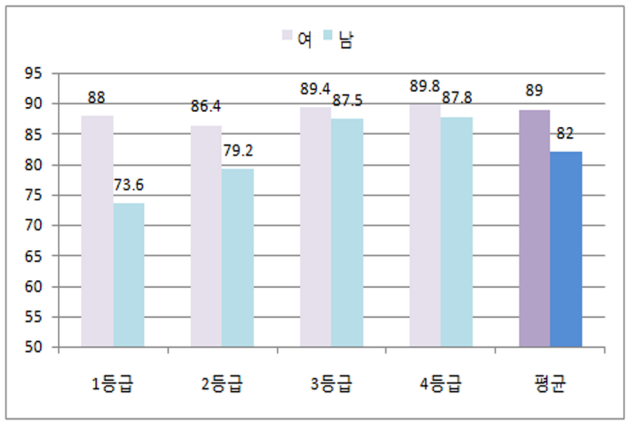


Table 11 Mean verbal score according to mathematics achievement (x axis: mathematics achievement level)



3. 분포곡선에서 남학생과 여학생의 비

최근의 인지능력에서의 성별 차이에 대한 연구 동향 중에는 성취도 분포 곡선 상에서 남학생과 여학생의 비가 변화하는 것을 조사한 것이 있다. 미국의 경우는 1990년 대 이후에는 수학 성취도에서 성별 간의 평균 점수의 차이는 점차로 거의 사라지거나 미미한 것으로 나타나지만, 상위권에서는 다른 양상이 전개된다. 예를 들면 SAT-수학의 경우 평균 점수에는 차이가 없지만 상위권으로 갈수록 남학생과 여학생의 비는 점점 커져서 750점 이상에서는(800점 만점) 남학생과 여학생의 비가 2 : 1 정도를 유지한다. 그런데 이 비율은 미국 수학 경시대회인 American Mathematics Competition 12에서 100점 이상을 받은 학생들에서는 4 : 1이고, 수학 올림피아드에 출전한 최상위 수준에서는 10 : 1에 이른다(Ellison & Swanson, 2009). 이러한 연구가 관심을 받는 이유는 STEM 분야에서 성공하기 위해서는 수학 및 공간 능력이 상위권에 속해야 유리하기 때문이고 여성의 인적 자원을 활용하는 것이 한 국가의 경제 성장과 과학기술 발전에도 영향을 미치기 때문이다.

Table 12, Table 13은 수학 및 공간 시각화 점수의 분포곡선에서 남학생과 여학생의 비를 조사한 것이다. 가로축은 점수를, 세로축은 남학생의 백분위 분포와 여학생의 백분위 분포의 비를 나타낸다.

아래 표들을 보면 상위권으로 올라갈수록 남학생의 비율이 여학생보다 점점 높아짐을 확인할 수 있다. 공간 시각화 검사에서 만점을 받은 남녀학생의 비율은 4.3 : 1로 수학 영역 최상위권에서의 남녀 비율인 3.4 : 1보다 더 높다. 이 차이가 나타나는 이유는 공간 능력은 일종의 잠재력을 측정한 것이지만 수학영역에서의 점수 차이는 공간능력뿐 아니라 투자한 노력과 학습 동기에 따라서 바뀐 결과라고 생각한다.

Table 12 Ratio of male to female students in the spatial visualization ability distribution

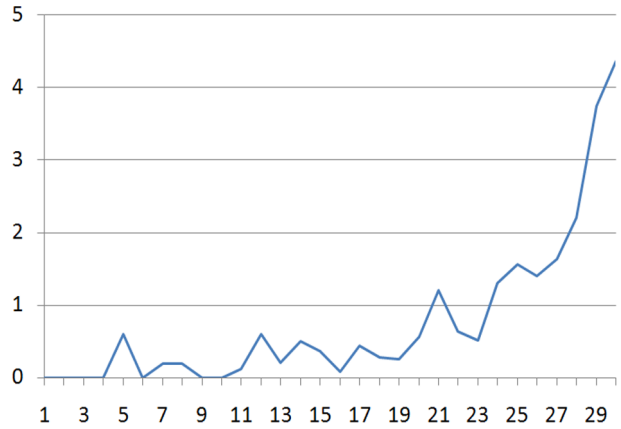
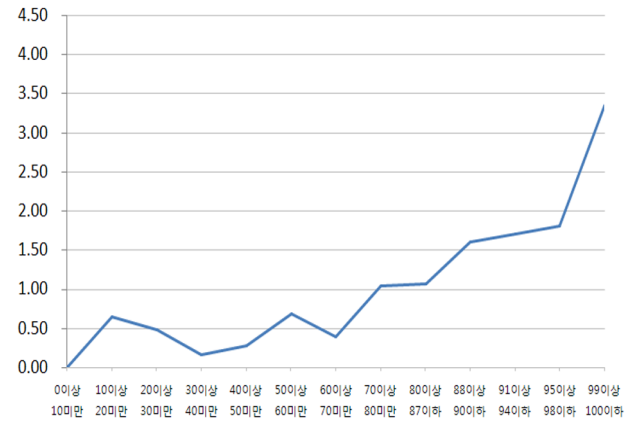


Table 13 Ratio of male to female students in the mathe-matics achievement



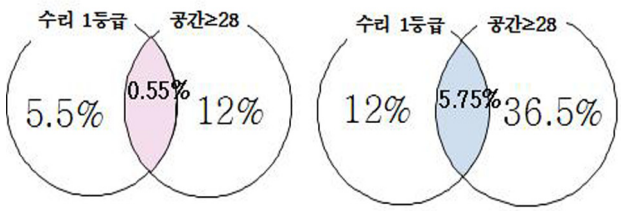


Fig. 4 Percent of female and male students in highest level both in math and spatial abilities. (left: female, right: male)

Fig.4는 수학 능력과 공간 시각화 능력이 최 상위권에 속하는 남녀 학생의 비를 구한 것이다. 왼쪽이 여학생을, 오른쪽은 남학생의 구성비를 나타낸다. 다이어그램을 보면 수학 영역과 공간 시각화 능력 모두에서 최 상위권에 속할 확률은 여학생이 훨씬 낮다.

Ⅳ. 요약 및 결론

공과 대학생이 장래에 STEM 분야에 진출하여 창의성을 발휘하고, 성공하기 위해서는 수학 및 공간 능력이 상위권인 것이 유리하다고 알려져 있다. 본 연구는 공과대학에 진학한 신입생들의 공간 능력과 수학 및 언어 성취도 사이의 상호 관계를 조사하고, 각 영역에서 성별 간의 차이가 어느 정도 존재하는지를 알아보기 위하여 수행되었다. 이것을 위하여 신입생들이 제출한 수학능력 시험의 언어 및 수학 영역의 점수와 2014년 3월 초에 본 대학에서 실시한 Purdue 공간 시각화 점수를 사용하였다.

통계에 의하면 여학생들은 남학생에 비하여 언어 영역에서의 점수는 남학생의 0.5 SD(+7점)에 해당하는 우세를 보였지만, 공간 능력에서는 남학생의 평균보다 1SD(3.7점) 만큼 낮은 점수를 보였고, 수학 영역에서는 남학생의 0.65 SD(9.5점) 만큼의 열세를 보였다. 그리고 수학 -언어 능력 사이에는 음의 상관관계가, 수학 - 공간 능력과 공간 - 언어 능력 사이에는 상관관계가 거의 없었다. 수학 - 언어 영역 사이의 상관계수가 음수인 이유는 대학에 합격하는 데에는 일정 수준의 점수 제한이 있기 때문에 한 영역의 점수가 낮을수록 다른 영역의 점수는 우수한 학생들이 지원한 결과로 해석된다. 수학 성취도와 공간 시각화 점수 사이의 상관계수가 작은 이유는 남학생은 공간 시각화 점수에서 치우침이 크기 때문인 것으로 추측되고, 여학생은 수학과 공간 시각화 점수 모두 분산이 크기 때문으로 추측되는데, 이 사실은 후속 연구에서 다시 검증해야 할 사항이다.

공간 시각화 검사 결과 대부분의 남학생들은 상당 수준 이상의 공간 능력을 지니고 있다는 점이 확인 되었다. 실제로 남학생의 65%가 공간 시각화 검사에서 25 점 이상을 받았다. 그러나 여학생들의 공간 능력 점수는 좀 더 하향화되고 고른 분포를 보였다.

수학 등급에 따라 공간 능력 점수를 조사했을 때, 남녀학생 모두 수학 등급이 좋아져도 공간 점수의 평균에는 변화가 거의 없었다. 이 사실은 수학능력 시험이 EBS와의 연계로 인하여 쉬워지는 추세이기 때문에 수학 영역 고득점은 무엇보다도 투자한 노력에 의해 좌우된다고 판단된다. 그러나 공간 시각화 점수에 따라 수학 성취도를 분석했을 때에는 남학생과 여학생 사이에 의미 있는 차이를 발견하였다. 공간능력이 일정 수준(25점) 이상인 여학생에서는 수학 영역의 점수도 동반 상승하였다. 그렇지만 이러한 결과는 남학생들에서는 나타나지 않았다.

위의 결과들을 종합하면 공간능력은 수학 성취도에서 성별 간의 차이를 설명하는 한 요인이 될 수 있다. 그러나 성별 내에서의 수학 성취도에서는 양상이 다르게 나타난다. 즉 남학생들에서는 공간능력은 보편적인 능력이기 때문에 수학 성취도가 공간능력에 의해서 크게 변하지 않는다. 그러나 여학생에게서 공간능력은 일종의 탤런트로 작용한다. 그런 이유로 일정 수준 이상의 공간능력을 소유한 여학생들은 자신들의 재능을 문제해결을 위한 자원으로 사용하는 것으로 판단된다. 이것은 공간능력이 수학 성취도에 미치는 영향이 성별에 따라 다르다는 것을 밝힌 국내 최초의 연구라고 생각된다.

마지막으로 성취도 분포곡선에서 상위권으로 올라가면서 어떤 변화가 나타나는가를 관찰하였다. 실제로 수학 성취도와 공간 능력 분포 곡선에서 상위권으로 갈수록 남녀 간의 성비가 더욱 커지는 것으로 나타났다. 그리고 공간 능력에서 최 상위권에 분포한 학생들의 성비가 수학 영역에서 최 상위권에 속하는 학생들의 성비보다 더 컸다. 그 이유는 수학 성취도는 노력이나 동기 등에 따라서 결과가 다르게 나타날 수 있는 반면에, 공간 능력은 학습 효과와는 관계없는 일종의 잠재력을 측정했기 때문이다. 여학생 중에서 뛰어난 공간능력을 소유하는 경우는 12% 정도에 국한되는 현상인데, 이들 중 수학 성취도까지 높을 확률은 더욱 낮아진다.

현재 한국의 K-12 교육과정에서 공간기술은 대수 분야에 비하여 소홀하게 다루어지는 것이 현실이다. 대수 영역은 수 단어로부터 시작해서 방정식의 풀이까지 배우는 내용들을 위계적으로 나열할 수 있고 문제해결 과정을 기호와 수식으로 표현할 수 있지만 공간능력은 이것이 어떤 순서로 발달하는지에 대하여도 알려진 바가 적고, 공간능력이 가진 직관적인 특성도 일조를 한다. 과거에는 공간능력은 일생에 걸쳐 변하지 않는다고 생각하였다면 최근에는 공간능력이 학습에 의해 개선될 수 있다는 것도 밝혀지고 있다. 현재 미국에서는 많은 대학에서 공간능력 개선을 위한 강좌를 개설하고 있다.

공과 대학생들을 대상으로 공간시각화 검사를 시행한 결과 수능 성적만 활용한 경우보다 학생들을 다양한 측면에서 파악할 수 있으며, 학생 지도에도 유용하게 사용될 수 있다는 점을 확신하게 되었다. 그리고 본 연구에서는 한 종류의 공간 시각화 검사만 시행했지만 공간능력을 측정하는 다양한 검사들이 개발되었기 때문에 다른 유형의 검사 결과들이 축적 된다면 공과 대학생들의 학업 성취나 STEM 분야에서의 성공과 관련된 분석에서 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다. 본 연구가 소개되어 많은 대학에서 공간능력 검사를 실시해보고 공간능력에서 어려움을 겪는 학생들을 선별하여 공간기술 개발과 관련된 강좌가 개설되기를 기대해본다.

본 연구는 2014년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의해 수행됨

참고문헌

1. Battista, M. T.(1990). Spatial visualization and gender differences in high school geometry, Journal for research in Mathematics Education, 21: 47 - 60.
2. Benbow, C.(1992). Academic achievements in mathematics and science of students between age 13 and 23: Are there differences among students in the top one percent of mathematical ability? Journal of educational psychology, 84: 51 - 61
3. Caroll, J. B. (2003). Human cognitive abilities: A survey of factor analytic studies. New York: Cambridge University Press Cambridge.
4. Casey, M., Nuttal, R., Pezaris, E.(2001). Spatialmechanical reasoning skills versus mathematics selfconfidence as mediators of gender differences on mathematics subtests using cross-national gender-based items. Journal for Research in Mathematics Education, 32(1): 28-57.
5. Chen, C-H, Chang, W-C, & Chang, W-T.(2009). Gender Differences in relation to wayfinding strategies, navigational support design, and wayfinding task difficulty, Journal of environmental psychology, 29: 220-226.
6. Ellison, G. & Swanson, A.(2009). The gender gap in secondary school mathematics at high achievement levels: Evidence from the American Mathematics competition. Retrieved from www. economics/mit.edu/files/4298
7. Fennema, E., & Tartre, L.(1985). The use of spatial visualization in mathematics by girls and boys. Journal for research in Mathematics Education, 16: 184 - 206.
8. Friedman, L.(1989). Mathematics and the gender gap: a meta analysis of recent studies on sex differences in mathematics tasks. Review of Educational research, 59(2): 185-213.
9. Guay, R.(1997). Purdue spatial visualization test-visualization of rotations, W. Lafayette, Indiana, Purdue Researh Foundation.
10. Hagarty, M & Waller, D.(2005). Individual differences in spatial abilities. In P. Shah, & A. Miyake (Eds.), The Cambridge handbook of visuospatial thinking (pp. 121e167). New York: Cambridge University Press.
11. Linn & Peterson.(1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-Analysis. Child Development, 56: 1479 - 1498.
12. Lohman, D. F.(2009). Identifying academically talented students: Some general principles, two specific procedures. In L. Shavinina (Ed.), International handbook on giftedness, (pp.971-997). New York, NY: Springer.
13. Lakin, J.(2012). Sex differences in reasoning abilities: Surprising evidence that male -female ratios in the tails of quantitative reasoning distribution have increased, Intelligence,
14. Lohman, D.F. & Lakin, J.(2008). Consistencies in sex differences on the cognitive abilities tests across countries, grades, and cohorts. Retrieved from http://auburn.edu/~jml0035/index_files/Lohman_Lakin_BJEP09.pdf
15. Lubinski, D. & Benbow, C.(1992). Gender differences in abilities and preferences among the gifted. Implications for the math-science pipelines. Current directions in Psychological Sciences, 1: 61 -66.
16. McGee, M. (1997). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurolgical influences, Psychological Bulletin, 86(5): 889 -918.
17. Nuttall, R., casey, B., & Pazaris, E. (2005). Spatial ability as a mediator of gender differences on mathematics tests. In A. Gallagher, J. Kaufmann(Eds.), Gender dofferences in mathematics, London: cambridge University
18. OECD(2014). PISA2012 results: what students know and can do. Vol(1), Vol(3), Paris: OECD Publishing
19. Raven, J., Raven, J. C. & Court, J. H.(1998, 2003). Manual for Raven's Progressive matrices and vocabulary Scales, Section 1: General overview, San Antonio: Texas, Hearcourt. Assessment.
20. Robert, M. & Chevrier, E.(2003). Does men's advantage in mental rotation persist when real 3 dimensional object are either felt or seen? Pub Med, 31(7): 1136 - 1145.
21. Shepard, R. N., & Metzler, J.(1971). Mental rotation of three-dimensional objects. Science, 171(3972): 701 - 703
22. Sorby, S.(2009). Developing spatial cognitive skills among middle school students. Cognitive Processing, 10(Suppl. 2): 312 - 315.
23. Tolar, T., Lederberg, A., & Fletcher, J.(2009). A structural model of algebra achievement: Computational fluency and spatial visualization as mediators of the effect of working memory on algebra achievement, Educational Psychology, 29(2): 239-266.

24. Tartre, L.(1990). Spatial orientation skill and mathematical problem solving, Journal for research in Mathematics Education, 21(3): 216-229.
25. Utal, D & Cohen, C.(2012). Spatial Thinking and STEM education: When, Why, and How?, Psychology of learning and motivation, 57: 147-181.
26. Wai, J. Lubinski, D & Benbow, C. (2010). Accomplishment in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) and its relation to STEM Educational Dose: a 25-year longitudinal study. Journal of Educational Psychology, 102: 860 - 871.

김연미 (Yeon Mi Kim)