인지과학, 제28권 제3호
Korean Journal of Cognitive Science
2017, Vol. 28, No. 3, 149～171.
http://dx.doi.org/10.19066/cogsci.2017.28.3.002

공과대학 신입생들의 공간 시각화 능력의 수학 성취도와의 관계와 문제해결 전략 및 성별 차이에 관한 연구*

김 연 미†
홍익대학교 공과대학

본 연구에서는 공과대학 신입생(수학능력 시험에서 수학 B형을 친 학생들)들과 공학전공을 희망하는 자율전공 학생(수학 A형을 친 경우)들의 공간능력을 조사하여 수학 성취도와 공간능력 사이의 상관관계를 성별로 조사하였다. 그리고 문제해결전략에 성별로 차이가 있는지, 전략 선택의 차이가 공간능력에 실제로 영향을 미치는지를 확인해보고자 하였다. 이를 위하여 검사도구로 Purdue 공간 시각화 검사-회전(이하 PSVT-R)을 사용하였다. 또한 문항별 정답률을 성별로 구하고 분석해보았다. 연구결과, 공간 시각화능력-회전 능력에서의 성별 차이는 일반 공대생과 자율전공 학생들 모두 공통적으로 나타났고, 두 집단 모두 남학생이 여학생보다 10% 정도 우월 하였다. 검사에 참여한 학생들을 네 집단(일반 공대 남학생, 일반 공대 여학생, 자율전공 남학생, 자율전공 여학생)으로 나누었을 때 공간 시각화 능력은 일반 공대 남학생의 점수가 25점으로 가장 높았고, 다음이 자율전공 남학생(22.5)과 일반 공대 여학생(22.4)이 거의 비슷하였으며, 자율전공 여학생(19.2)의 순서로 낮아졌다. 공간 시각화 능력과 수학 성취도 사이의 상관계수는 동일한 집단 내에서는 모두 0.25이하로 둘 사이의 상관관계는 미미하였다. 그렇지만 집단 간에는 차이가 존재하는데, 일반 공대 및 자율전공 모두 남학생의 수학성취도와 공간 시각화 능력이 여학생보다 높았고, 수학 심화과정을 배운 일반 공대 남(여)학생의 공간 시각화 점수가 그렇지 못한 자율전공 남(여)학생보다 높았다. 이 사실들은 공간능력과 수학 성취도 사이에 상관관계가 있음을 시사한다. 도형의 회전에서 문제해결 전략은 크게는 전인적(holistic) 전략부터 분석적(비교, 대조) 전략으로 나눌 수 있다. Mann-Whitney U 검증 결과 전략의 선택에서 유의미한 성별차이가 존재하였다. 그 외에도 일반 공대 남학생들에서는 전인적 전략을 80% 이상 사용했다는 응답이 가장 높았고, 일반 공대 여학생과 자율전공 학생들에서는 남녀 모두 전인적 전략을 50～80% 정도 사용하면서 비교, 대조와 같은 분석적인 방법을 곁들였다는 응답이 가장 높았다. 전략의 선택이 공간 시각화 능력의 점수 차이로 연결된다는 증거는 찾지 못하였지만, 만점을 받은 일반 공대생 집단은 남녀 모두 평균적인 선택보다는 전인적인 전략을 가장 많이 사용하였다. 한편 자율전공 하위권 학생들은 상대적으로 한 가지 전략에 치우치는 경향이 있었다. 따라서 도형의 회전과제에서는 두 가지 전략을 융통성 있게 사용하는 것이 문제해결에서 한 가지 전략만 과도하게 사용하는 경우보다 효과적으로 판명되었다. 마지막으로 문항별 정답률을 분석하여 여학생들의 정답률이 상대적으로 낮은 문항들을 추출하였다. 이 문항들의 특징은 회전축이 2개인 경우들에 집중되었다. 하지만 PSVT-R 점수의 차이는 효율적인 전략의 선택과 운영 외에도 주어진 도형에 대한 심적 이미지를 정확하게 만드는 능력에도 달려있음을 문항 분석 결과로 알 수 있었다. 위의 연구결과를 토대로 공간 시각화-회전 점수가 낮은 하위권 학생들에게 지금까지 그들에게 익숙하지 않았던 다른 전략을 학습할 경험과 기회를 제공할 것을 제안한다. 또한 문항 분석의 결과를 이용하여 정답률이 낮은 문항과 유사한 문항들을 개발하여 학습한다면 하위권 및 여학생들의 공간 시각화능력 향상에 도움이 될 것으로 기대한다.

주제어 : 공간 시각화, 성별 차이, 게슈탈트 대 분석적 전략, 심적 회전, STEM 분야

---

* 본 연구는 2017년도 홍익대학교 학술연구진흥비의 지원을 받아 수행되었음.
† 교신저자: 김연미, 홍익대학교, 공과대학 서울 마포구 상수동 72-1
연구분야: 인지심리학, 신경과학
Fax: 02-336-8130, E-mail: kimym@hanmail.net

서 론

공간적 정보를 머릿속에서 유지하면서 조작하고 회상하는 능력으로 알려진 공간능력은 일상생활이나 STEM(science, technology, engineering, mathematics) 분야에서의 성공, 그리고 바둑과 같은 보드 게임에서도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 여행을 위해서 짐 가방을 꾸리거나 거울을 보면서 헤어 드라이기를 조작하는 능력, 복잡한 빌딩 안에서 목표 지점을 손쉽게 찾는 능력들이 일상생활에서 요구되는 공간능력이라면 단면의 사진을 보고 원래의 모습을 상상 속에서 재현해보는 능력은 단층을 연구하는 지질학자, 방사선학자, 혹은 토목분야에서 요구되는 공간능력이다. 화학반응 공식은 공간적인 정보가 생략된 분자들에 대한 추상적 모델이지만, 분자들에 대한 보다 구체적인 정신적 모델이 요구될 때는 공간적 능력을 활용하여 그 정보를 이끌어 내야 한다.

공간능력은 인간이 수행하는 여러 인지기능 중의 하나이자 남녀 간의 성별차이가 남아 있다고 보고되는 영역이기도 하다. 또한 공간능력은 수학성취도와도 깊은 관계가 있다고 알려지는데, 그 이유 중에는 공간지각과 수를 처리하는 과정이 공통의 신경학적 기반을 갖기 때문이기도 하고, 인간이 추론활동을 할 때 요구되는 능력 중에는 언어와 통사구조를 통한 논리적 사고 능력뿐만 아니라 공간적 표상을 만들어야 하는 것도 포함되기 때문이다. 그런데 이 공간능력은 비언어적인 추론활동을 할 때 필요한 경우가 많다. 선진국에서도 STEM 분야에 진출한 여성의 비율이 상대적으로 낮으며 많은 노력들에도 불구하고 그 비율이 개선되지 않는다는 사실들이 학자들로 하여금 공간능력에서의 성별차이에 대하여 주목하는 요인이 되었다.

연구자가 소속된 대학에서는 2014년도부터 공과대학의 신입생들에게 학년 초에 공간 시각화 능력 검사를 실시하고 있다. 그 결과는 학생들에게 공지되며 일정 점수 이하인 학생들을 주 대상으로 해서 공간능력 향상 프로그램을 계절 학기에 실시하였다. 이런 활동은 학생들에게서 좋은 반응을 얻고 있다. 이러한 일련의 과정을 통하여 새로운 질문들이 대두되었는데 그것은 공간능력에서의 차이가 과연 어디에서 유래하는가라는 물음과, 이와 같은 프로그램을 통하여 얻어진 단기적인 공간능력의 향상이 과연 장기적으로도 지속될 것인가, 공간능력과 수학 성취도 사이에 모종의 관계가 존재하는가, 만약 존재한다면 이것은 인과관계인가 아니면 단순한 상관관계인가, 그리고 일반 공대생들에서 얻어진 데이터가 문과출신 학생들에서도 성립 하는가 등이다.

몇몇 학자들이 공간적인 과제를 해결할 때 성별 간에 전략의 차이가 존재한다고 주장하였다. 문제해결에서의 전략은 크게 전인적(holistic, 혹은 게슈탈트적)인 전략과 분석적인 전략을 양끝으로 하는 스펙트럼 중에서 선택된다고 생각할 수 있다. 주어진 도형을 머릿속에서 한 번에 모의 회전하는 전략을 전인적(holistic) 전략이라고 부르고, 도형의 특정한 한 면을 기준으로 삼아서 그 면과 이웃한 혹은 반대 지점에 위치한 면이 어디로 움직여야 하는가를 추론하는 방식을 분석적 혹은 선형적 방법이라고 부른다. 그런데 공간회전 과제에서 남성은 전인적 전략을 주로 사용하

고 여성은 분석적인 전략을 주로 사용한다는 주장도 제기되었다(Linn & Petrson, 1985). 나아가서 공간능력이 우수한 개인들은 한 가지 이상의 다양한 전략을 사용하며 언제 어떤 전략을 사용할지를 결정할 때 신속, 정확하다고 보고된다(Gage, 1994). 그렇지만 Kyllonen 등(1981)에 의하면 공간능력이 우수한 집단이나 낮은 집단이나 모두 공간과제에서 전략을 바꾸기도 하는 것으로 나타났다. 그렇다면 공간 시각화 능력에서도 성별 간에 이러한 선호현상이 실제로 존재하는지, 전략 선택의 차이가 공간능력의 차이로 이어지는지를 확인할 필요성도 대두된다. 공간능력이 우수한 학생들 혹은 그렇지 못한 학생들이 집중적으로 사용하는 전략이 있다면 우수한 학생들이 사용하는 전략을 학습하거나, 공간능력이 낮은 학생들이 사용하는 전략에 수정을 가하도록 도움을 줄 수도 있다. 외국의 경우에는 공간능력을 향상시키는 프로그램들의 성공 사례연구가 발표되면서 오랫동안 고정되고 불변의 것으로 믿어졌던 공간능력이 집중적인 학습에 의해서 개선될 수 있다는 연구 결과도 있다(Sorby, 2001).

최근에는 이공계 진학을 희망하는 학생들이 증가하는 추세이다. 그러한 변화와 함께 문과출신인 학생들도 공과대학 진학을 희망하는 현상이 나타나고 있다. 이로 인해서 다양한 배경을 가진 학생들이 동일한 강좌(미적분학 등)를 수강하는 현실로 이어지고 있는데 공간능력 검사는 학생들이 경험하는 어려움의 요인을 파악하는데 한 지표로 사용할 수 있으며 진로선택에도 도움을 줄 수 있다는 장점도 있다(김연미, 2015).

본 연구는 2014년도부터 진행되어온 조사를 확대한 것이며, 동시에 새롭게 제기된 문제들에 대하여도 해답을 찾고자하였다. 그 중에는 일반 공대생뿐만 아니라 문과출신 학생들을 연구 대상에 포함하는 문제, 문제해결 전략에서의 성별차이를 확인하는 인지적인 과제, 그리고 공간회전 과제해결에서 보다 효율적인 전략이 존재하는가를 확인하는 것들을 포함하였다.

이론적 배경

공간능력의 정의

공간능력이 무엇이며 구성요인은 어떠한지에 대한 연구는 네 단계를 걸치면서 진화한 것으로 알려진다(Mohler, 2008). 첫 번째 단계는 1880년 Galton 경이 심상(spatial imagery)에 대한 보고서를 작성한 이후부터 1940년까지의 시기이다. 이 시기에는 Thorndike(1921)나 Thurston(1950) 등에 의해서 공간능력을 일반지능(g)과는 독립적인 능력으로 인식하게 되었다. 두 번째 단계는 1940년부터 1960년대 까지다. 아직까지는 공간능력의 실질적인 중요성이 널리 인식되지 못한 때이며 공간능력은 '하위능력'으로 간주되었다. 이 시기에 연구자들은 공간능력을 구성하는 단일요인(unitary construct)이 존재하는지를 밝히려고 시도하였다. 하지만 이러한 시도는 실패하였고, 그 후 공간능

력을 구성하는 서로 다른 요소들을 찾기 시작하였다. 세 번째 단계인 1960부터 1980년대는 공간능력에 대한 다양한 연구 동향이 나타나는 시기다. 이 때는 Piaget와 Inhelder(1971)에 의해서 아동기부터 성인이 될 때까지 공간능력의 발달 단계가 연구되었고, 여러 가지 심리측정 도구들이 개발되는 시기다. 1980년대부터 현재까지는 공간능력을 향상시키는 프로그램들이 개발, 시도되었고 측정도구에 컴퓨터 테크놀로지가 도입된다는 특징을 꼽을 수 있다.

현재까지 공간능력의 정의나 구성요인은 학자들에 따라서 다르게 정의되고 있다. 예를 들면 Lohman(1988)은 공간능력을 "시각적 이미지를 만들어내고, 유지하고, 회상하고 변환할 수 있는 능력"이라고 정의한다. McGee(1979)나 Strong 과 Smith(2001), Carroll(2003)등도 공간능력을 조금씩 다르게 정의한다. Carroll(1993)에 의하면 공간능력은 "시각적인 패턴들에 대한 내적인 심적 표상을 형성할 수 있으며, 그러한 표상을 이용하여 공간과제를 해결할 수 있는 능력"이다. 공간능력의 정의가 다르다면 이에 따라서 공간능력의 구성요인도 달라질 것이다. Thurston(1950)은 공간요소를 심적 회전, 공간 시각화, 공간지각 등으로 구분한다. 학자에 따라서는 공간능력의 구성요소를 공간 시각화, 공간 방향화, 공간관계 등으로 구분하기도 한다(Smith, 1964).

현실적으로 공간능력에 대한 일관된 정의는 내리기 어렵다. 하지만 공간능력은 언어적 능력이나 추론 능력, 기억력과는 구분되는 지능의 한 특별한 유형으로 간주된다. 그리고 공간능력은 단 하나의 정적인 능력이 아니라, 여러 개의 하부기능들로 이루어졌으며, 이 하부 기능들은 서로 내적으로 연결 되어있다고 알려진다.

수학 및 공간능력에서의 성별차이

우리가 일상생활에서 활용하는 다양한 인지기능들에는 지각, 기억, 주의/집중, 운동, 언어, 시공간적 처리, 추론 등이 포함된다. 과거에는 이러한 인지적 속성들은 남녀 구분 없이 동일한 발달 과정을 따른다고 믿어졌지만 실제로는 남성과 여성에서 조금씩 다르게 나타난다는 것이 점차로 알려지게 되었다. 예를 들면, 여성은 언어나 지각처리에서 남성보다 정확하고 빠르고, 남성은 수학과 작업기억, 공간능력에서 여성보다 우월하다고 알려지고 있다.

이와 함께 공간 능력은 남성과 여성의 성별 차이가 가장 크다고 알려진 분야이다. 공간 능력에서 성별 차이가 현저한 이유에 대하여는 생물학적, 문화-사회학적 설명 등이 다양하게 제기되지만 그 원인을 어느 한가지로만 귀결시키려는 학자들은 많지 않아 보인다(Ambrose & Fennema, 2001). 공간능력의 한 요소인 심적 회전은 공학, 물리 및 화학분야에서의 성공과 관련 있고, 공간 시각화 능력은 높은 수학 성취도와 0.3 ~0.6 정도의 상관관계를 갖는 것으로 보고된다(van Garderen, 2006).

인간 발전에 대한 50 여년에 이르는 종단연구를 수행한 Wai 외(2009)에 의하면 인문-사회분야의 전문직 종사자들의 인지 능력은 공간능력 < 수리 능력 < 언어 능력 순으로 올라가지만

STEM(science, technology, engineering, & mathematics) 분야의 종사자들에서는 언어능력 < 공간 능력 < 수리 능력 순서로 올라간다. 이들 능력이 우수한 개인일수록 STEM 분야에서 성공할 확률도 높아질 것이다. 결국 STEM 분야에서의 성공이 개인의 미래수입과 직결되기 때문에 수학과 공간 능력의 중요성은 더욱 부각되고 있다.

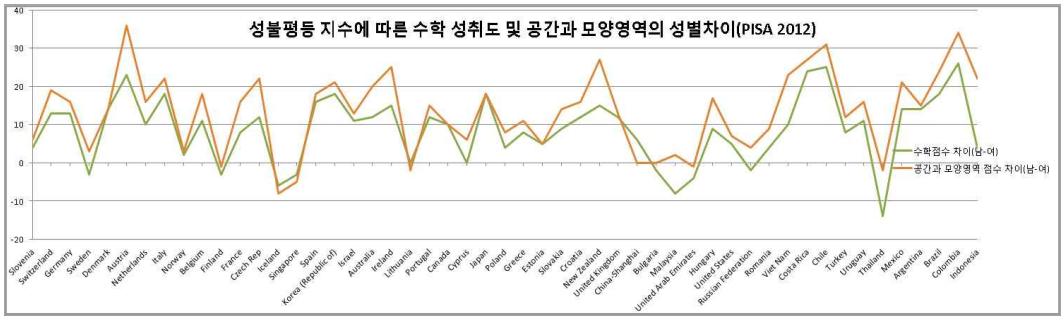
최근에는 공과대학에서 여학생들이 차지하는 비율이 전공에 따라서는 과반에도 이른다. 그러나 그 과정을 성공적으로 마치고 졸업 후 10년, 20년 후에도 STEM 분야에서 전문직을 유지하는 여성의 수는 선진국에서조차도 소수이다(이러한 현상을 줄줄 새는 파이프, leaking pipe라고 부른다). 그런 이유로 많은 학자들이 그 원인을 다양한 측면에서 분석하고 있다. 공간능력과 수학 성취도에서의 성별차이에 관한 연구 또한 그러한 맥락의 일환으로 생각할 수 있다.

수학 성취도 및 공간 능력에서의 성별 차이에 관한 논의는 지난 30 년 동안 지속되어 왔고 현재까지도 많은 연구자 뿐 아니라 일반인들도 관심을 갖는 분야이다. 예를 들어 공간능력에 관한 연구 결과들은 성별 간의 차이는 어느 정도 인정하지만, 그 차이가 언제부터 나타나는지, 그 원인이 무엇인지에 대하여는 일관된 결과를 도출하지는 못한 상태이다. Levine, Huttenlocher, Taylor와 Mohler(1999)는 발생 시기를 만 5세부터 이미 나타난다고 하고, Linn과 Peterson(1985)은 사춘기부터라고 주장한다. 수학 성취도에서의 성별차이에 대하여도 상이한 시각들이 존재한다. Else-Quest, Hyde와 Linn(2010)은 여학생의 수학학습능력에 대한 사회의 부정적인 고정관념이나 여기서 유래하는 남학생과는 다른 경험들, 낮은 자아 효능감, 수학 불안증 등을 성별차이의 원인으로 지목하고 있다. 하지만 이들에 의하면 적어도 북미권에서는 교육과정과 관련된 수학 성취도에서의 성별차이는 거의 사라졌으며, 연구자들은 국제간 학업성취 평가인 TIMSS 2003와 PISA2004의 분석에서 성별차이는 매우 작다는 결과(mean effect size d < 0.15)를 얻었다. 반면에 Stoet와 Geary(2013)의 PISA2000부터 2009까지의 종단연구에서는 대부분의 참가국에서 남학생들이 여학생보다 수학점수가 높았으며, 성별 간의 점수 차이는 해당 국가의 성 평등 지수와는 관계가 없었다.

다음 <표 1>은 PISA2012년의 결과 중에서 참가국의 남학생과 여학생의 수학평균 점수 차이(남학생 평균점수 - 여학생 평균 점수)(표 1. 2. 3.a)와 수학의 4개 영역 중에서 '공간과 모양' 영역에서의 점수(표 1. 2. 19)에서 차이를 구하여 UN의 성불평등 지표(gender inequality index)에 따라서 그래프로 나타낸 것이다(한국은 17위이다).

그래프에서 0은 남학생과 여학생의 평균 점수가 동일한 경우이다. 대부분의 국가들에서 남학생의 수학점수 평균이 여학생의 평균점수보다 높게 나타나며, '공간과 모양' 영역에서의 점수 차이가 수학점수 차이보다 크게 나타나는 것이 특징이다. 성불평등 지수가 높은 국가일수록 수학 및 '공간과 모양' 영역에서의 점수 차이가 커지는 경향이 있는 것은 사실이지만 이 차이는 불평등 지수가 낮은 국가에서도 존재하고 있다. <표 1>에서 도출할 수 있는 사실은 ① 만 14-16세에는 수학 성취도와 공간능력에서의 성별차이가 뚜렷이 나타난다는 것 ② 성불평등 지수가

〈표 1〉 성불평등 지수에 따른 수학과 '공간과 모양' 영역에서 남녀 평균 점수의 차이



낮은 선진국에서도 이러한 차이가 나타난다는 것은 그 원인이 문화 환경적 요인만은 아닐 수 있다는 점이다.

최근의 연구동향 중에는 수학 성취도나 공간능력의 분포곡선에서 오른쪽(상위권)으로 갈수록 남녀 간의 성비가 커진다는 사실에 주목하는 연구들도 늘고 있다. 예를 들면 미국에서는 SAT-수학에서 만점자의 비율은 2 : 1이지만 올림피아드 수학 본선에 진출하는 학생들의 경우에는 성비가 10 : 1까지 벌어지고 있다(Ellison & Swanson, 2009). 본 대학에서 수행한 공간 시각화 검사에서도 상위권으로 올라갈수록 성비가 커졌으며 만점자의 남녀 비율은 4.3 : 1에 달하였다(김연미, 2015).

공간능력과 STEM

현대 사회에서 STEM분야의 중요성이 점점 커지면서 공간능력도 실용적인 측면에서 관심을 받고 있다. 예를 들면 심적 회전(mental rotation) 과제에서 높은 점수를 받는 개인들의 수학 성취도가 높다는 결과(Casey, Nuttall, Pezaris, & Benbow, 1995)나 SAT-수학 점수와 공간 시각화 능력 사이의 상관관계($r \sim 0.45$) 등이 그것이다(Tolar, Lederberg, & Fletcher, 2009). 이들은 공간능력이 뛰어난 개인에게서 발견되는 높은 수준의 추론 능력이나 문제해결능력이 SAT-수학과의 상관관계에 기인한 것으로 설명한다. 공간 시각화 능력과 STEM 분야와의 연관성을 조사한 여러 연구결과들에 의하면 공간 시각화 능력과 물리, 화학, 건축, 의학 등의 분야와의 상관계수는 평균적으로 0.35 정도로 나타났다(김연미, 2015).

그렇지만 Friedman(1995)은 메타 분석을 통해서 공간능력과 수학적 기술 사이의 상관관계는 그다지 높지 않으며 이것은 과장된 것이라고 주장한다. 상관관계가 높다는 연구들이 주류를 이루기 때문에 그렇지 않은 결과를 얻은 연구들은 발표로 이어지지 못하고 연구자의 파일 캐비넷에서 잠들고 있다는 주장이다. 본 대학에서 2015년에 조사한 공과대학생들의 공간 시각화 능력과 수학능력 수학 백분위 점수 사이에는 각 집단별로 상관계수를 구했을 때 그 값이 0.2 미만으로

상관관계가 거의 존재하지 않았다. 그렇지만 여학생들의 경우에는 공간 시각화 점수가 상승할 때 수학 성적도 상승한다는 특징이 있었다. 남학생들의 경우에 공간능력은 보편적인 능력이어서 이것이 수학 성취도에 영향을 줄 수 있는 변수로 작용하지 않지만 여학생들의 경우에는 이 능력이 일종의 탤런트이므로 수학문제해결의 도구로 사용되어 도움을 줄 수 있다고 해석하였다.

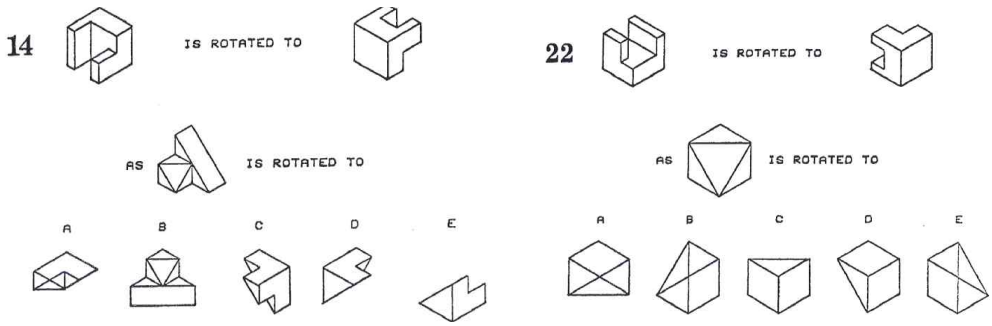
연구 내용 및 방법

연구 내용

본 연구에서는 2015년에 이어서 2016년도에도 공과대학 신입생들을 대상으로 공간 시각화-회전 검사를 실시하여 그들의 공간능력을 파악하며, 공간 시각화능력과 수학 성취도 사이에 상관관계가 존재하는지, 존재한다면 어느 정도인지, 그리고 성별에 따라 의미 있는 차이가 존재하는가를 조사하고자 한다. 2015년도의 연구와의 차이점은 공간 시각화 검사에 자율전공 학생들(수학능력 시험에서 수학 A형을 친 학생들)을 참가시킨 점이다. 이를 통해서 고등학교에서 수학 심화과정을 배운 공과대학생들과 그렇지 않은 자율전공 학생들 간에 공간 시각화 능력에서 차이가 나타나는 지를 확인하고자 한다. 세 번째 주제는 학생들의 문제해결 전략을 조사하는 것이다. 공간 시각화 문제를 해결하는 전략에서 성별 간에 차이가 존재하는지, 나아가서 수학 A형과 B형을 친 학생들에서도 전략의 차이가 나타나는지도 확인하고자 한다. 그리고 공간 시각화 능력이 우수한 학생들 혹은 낮은 학생들이 특별히 선호하는 전략이 있는지를 조사함으로써 공간과제의 해결에 가장 효과적인 전략이 존재하는지를 찾아보는 것도 본 연구의 주제 중 하나다. 마지막 주제는 문항별 정답률을 구하고 분석하는 것이다. 정답률이 낮은 문항들에 대한 분석을 통하여 이와 유사한 문항들을 개발하는데 일조를 할 수 있기를 기대해 본다.

검사도구

본 연구의 검사 도구는 대학수학능력 시험 중 수학 영역의 백분위 점수와 Purdue 공간 시각화 검사 - 회전부분이다. Bodner와 Guay(1977)에 의하여 개발된 이 검사는 현재까지 다양한 STEM 분야에서 공간능력을 측정하는데 가장 많이 사용되는 검사도구로 알려져 있다. 2016년도에는 공간 시각화 검사의 마지막에 문항을 추가하여 학생들이 자신의 문제해결 전략을 스스로 평가하여 전인적 전략부터 분석적 전략까지 5가지 중에서 선택하게 하였다(문항31, 본문8쪽). Purdue 공간 시각화 - 회전 검사는 2016년 3월 첫 주에 미적분학(I)을 수강하는 모든 학생들을 대상으로 실시되었다. 30문항이고 검사 시간은 30분이었다. 문항들은 회전축이 하나인 것(그림 1의 14번 예시



(그림 1) Purdue 공간 시각화 능력 테스트의 예시 문항들(1 회전-#14, 2회전-#22)

문항)과 두 개의 회전축을 가진 것(그림 1의 예시문항 22)들 각각 15 문항으로 구성되었다. 검사 시작 전에 문제의 성격을 이해하도록 예시문제가 답과 함께 제공되었다. PSVT-R에서는 처음에 주어진 도형이 회전하는 방식대로 목표 도형을 회전하여 그 결과를 고른다. 학생들은 답을 선택하여 OMR카드에 표시하였고, 그 결과는 전산처리 되었다. 문항 당 배점은 1점이고, 총점은 30점이다.

3. 연구 대상

본 연구는 연구자가 재직하는 서울 소재 대학교의 2016년도 공과대학 신입생 중에서 미적분학 I을 수강하는 학생들을 대상으로 3월 첫 주에 실시하였다. 공간 시각화 검사에 참여한 일반 공대생은 남학생 671명, 여학생 277명이다. 이들은 수시전형으로 입학한 학생과, 수학능력시험 수학 B형을 친 학생들(남 548, 여 199)로 구성되었다(이하 일반 공대생으로 칭함). 이 외에도 수학 A형을 친 자율전공 학생 중에서 공과대학을 희망하는 학생들도 검사에 참여했는데 이중에 남학생은 84명, 여학생은 69명이다(이하 자율전공으로 칭함).

결과 및 분석

기본 통계자료

<표 2-1>에서는 수학능력 시험에서 일반 공대생과 자율전공 학생들의 성별에 따른 공간 시각화 점수의 평균, 표준편차 및 t-검정 결과를 구하였다. <표 2-2>에서는 일반 공대생들 중에서 수시 전형을 제외하고 수학 B형을 친 그룹과 수학 A형을 친 자율전공 학생들의 성별에 따른 수학 영역 점수의 평균, 표준편차 및 z- 검정 결과를 구한 것이다.

〈표 2-1〉 공간 시각화 능력의 평균, 표준편차 및 z - 검정

	일반 공대생		자율전공	
	남(671)	여(277)	남(84)	여(69)
M	25	22.4	22.5	19.97
SD	4.63	4.90	4.92	4.95
z - 검정(p value)	27.17(0)		13.13(0)	

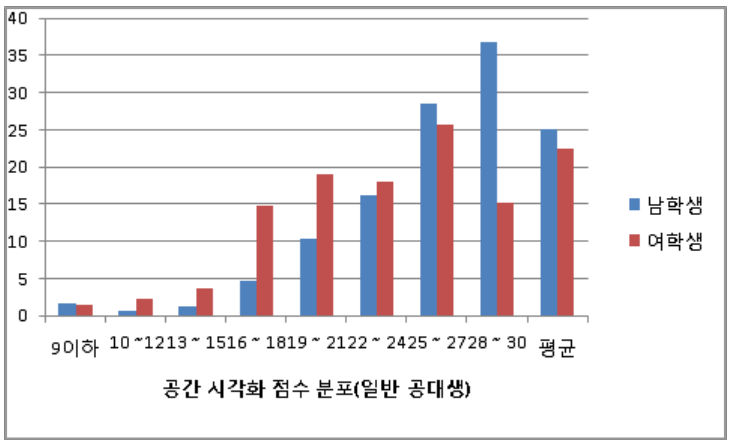
<표 2-1>에 의하면 공간 시각화 점수는 일반 공대 남학생의 평균 점수가 25점으로 가장 높고, 다음이 자율전공 남학생, 일반 공대 여학생, 그리고 자율전공 여학생의 순서로 낮아진다. 그러나 일반 공대 여학생과 자율전공 남학생 사이에는 차이가 거의 존재하지 않는다. 일반 공대 여학생은 일반 공대 남학생보다 평균 2.6점(0.56d, Cohen's *d*) 낮으며, 자율전공 여학생 역시 자율전공 남학생보다 2.53(0.51d) 점이 낮다. 일반 공대 여학생과 자율전공 여학생 간의 점수 차이는 2.4점이고, 이 차이는 일반 공대 남학생과 자율전공 남학생 사이의 차이인 2.5점과 비슷한 수준이다.

〈표 2-2〉 수능 유형에 따른 수학 성취도 평균, 표준편차 및 z - 검정

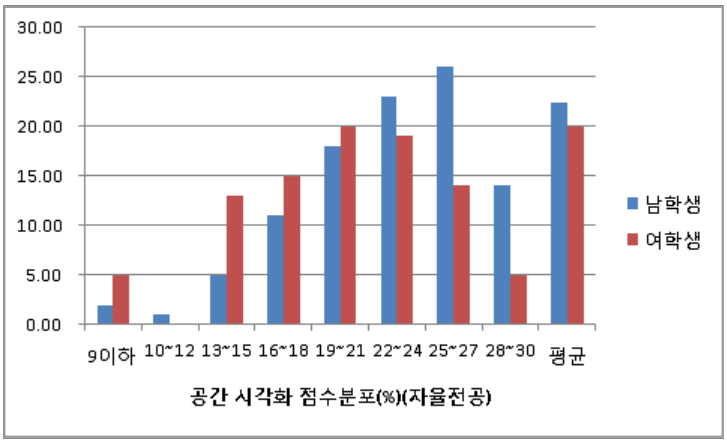
	수학 B형 공대생		자율전공(수학 A형)	
	남(548)	여(199)	남(78)	여(69)
M	77.18	70.48	93.88	88.85
SD	19.32	19.54	5.84	13.50
z - 검정(p value)	17.21(0)		13.69(0)	

<표 2-2>에 의하면 수학 평균 점수는 B형을 친 학생들의 경우는 여학생의 평균점수가 남학생보다 7점(0.34d)정도 낮으며, A형을 친 자율전공 학생들의 경우는 여학생이 남학생보다 5점(0.86d)정도 낮다. 현재 주어진 조건, 즉 수능 성적만으로는 수학 B형을 친 학생들과 A 형을 친 학생들을 동일한 측정으로 계량화하기는 어려운 상황이다. 다만 수학 B형을 친 학생들은 A형을 친 학생들과 달리 대부분 고등학교에서 수학 심화과정을 배웠고 수학에 상대적으로 더 많은 시간을 투자했다고 볼 수 있다. <표 2-1>과 <표 2-2>를 종합해보면 수학 B형을 친 남학생들이 수학 A형을 친 남학생보다 공간능력이 우수하고, 이것은 여학생의 경우에도 마찬가지로 성립한다. 수학 A, B형을 친 학생들 사이에서도 마찬가지로 남학생의 공간능력점수와 수학점수가 여학생의 그것보다 높다. 이 사실은 수학심화학습과 공간능력 사이에 일정부분 상관관계가 존재한다고 해석할 여지를 준다. 그리고 일반 공대생들에서는 공간능력에서의 성별차이가 수학 성취도에

〈표 3-1〉 공간 시각화 능력의 점수별 분포(일반 공대생)



〈표 3-2〉 공간 시각화 능력의 점수별 분포(자율전공)



서의 성별차이보다 크지만, 자율전공 학생들의 경우에는 수학 성취도에서의 성별 점수차이가 공간능력에서의 차이보다 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 추세가 지속될 지의 여부는 차후의 연구에서 지속적으로 관찰, 분석할 예정이다.

<표 3-1>과 <표 3-2>는 일반 공대생과 자율전공 학생들의 공간 시각화 점수 분포를 각각 성별로 나타낸 것이다.

<표 3-1>과 <표 3-2>를 관찰하면 일반 공대 남학생의 점수분포는 2차 곡선처럼 증가하며 최상위권(28~30점)의 분포가 36.7%로 가장 높다. 평균점수인 25점 이상인 남학생들이 전체의 65%를 차지하고 있다. 여학생의 분포는 남학생과는 다른 양상으로 25~27점 구간에 속한 여학생이 가장 많아서 전체 여학생의 1/4에 달하는 것으로 나타났다. 이 점수대를 제외하면 16~18

점 구간, 19~21점 구간, 22~24점 구간, 28~30점 구간에 속한 여학생의 비율이 비슷한 점이 특징이다. 25점 이상인 여학생의 비는 전체 여학생의 40% 정도이고 이 수치는 남학생과 비교하면 2/3 수준이다. 수학 A형을 친 자율전공 남학생과 여학생의 분포는 일반 공대생들의 분포와는 차이점이 존재한다. 남학생의 분포는 13점부터 27점 구간까지 거의 선형으로 증가하다가 최 상위 구간에서 낮아지며 25~27점대에 가장 많은 학생이 밀집해 있다. 여학생의 분포는 평균 근처인 19~21점대에 밀집해 있다.

<표 3-1>과 <표 3-2>에는 나타나지 않지만 일반 공대생들 중에서 공간 시각화 점수가 만점인 남학생은 56명이다. 이것은 남학생 전체의 8.3%에 해당한다. 여학생 만점자는 9명으로 여학생 전체의 3.2%에 해당하는 수치다. 자율전공 학생 중에서 만점을 받은 학생은 남학생 3명, 여학생 2명으로 남학생은 전체의 3.8%, 여학생은 2.9%에 해당한다.

다음 <표 4>에서는 수학성취도와 공간 시각화 능력 사이의 상관관계를 조사하였다. 성별로 나누었을 때 네 그룹 중에서 상관계수가 가장 큰 집단은 자율전공 남학생 집단이다. 그러나 상관계수는 모든 집단에서 0.3보다 낮아서 수학성취도와 공간 시각화 능력 사이에 유의미한 상관관계가 존재한다고 볼 수 없다고 판단된다.

〈표 4〉 수학 성취도와 공간 시각화 능력 사이의 상관관계

	수학 B형		자율전공	
	.170(전체)			
상관계수	남학생	여학생	남학생	여학생
	.145	.136	.247	.058

다음 주제는 문제해결 전략에서 성별 차이에 관한 것이다.

2. 문제해결 전략

학생들이 사용하는 문제해결 전략을 이해하기 위하여 PSVT-R의 마지막 문항에서 학생들 스스로 자신들이 어떻게 문제를 풀었는지를 재고하여 다섯 가지 예시 중에서 고르도록 하였다. 물론 이러한 self report 방식에는 장점과 단점이 동시에 존재한다. 먼저 장점으로는 정보의 풍부성과, 보고를 하고자 하는 높은 동기, 그리고 비용의 효율성 등을 들 수 있다. 정보의 풍부성(information richness)이란 각 개인이야말로 자신의 사고나 감정, 감각 등에 대하여 어떤 타인과도 비교할 수 없을 만큼 풍부한 정보를 가졌고 광범위한 관찰이 가능한 사람이라는 인식이다. 이러한 측면에서 볼 때 각 개인은 자신에 대한 양질의 정보를 가지고 있는 사람이므로 self-report가

적절하다는 것이다. 보고에 대한 동기(motivation to report)는 모든 사람은 일정 단계까지는 자신에 대하여 말하는 것을 즐긴다는 믿음이다. 타인에 대한 보고를 하는 경우라면 무성의하게 대충 끝내도 그만이지만 자신에 대한 보고를 할 때는 보다 정확하게 하려고 애쓰기 때문에 self-report가 유용하다는 믿음이다. 마지막으로는 실용성을 들 수 있다. Self-report는 효율적이고 비용이 적게 든다. 여기서 요구되는 것은 본인의 협조만 있으면 되기 때문에 제 3자를 고용하기 위한 비용 면에서도 절감이 된다.

반면에 이와 같은 방식의 self-report는 문제를 접하고 처음 느낀 이미지나 정보가 그의 판단에 영향을 미칠 수 있다는 점을 들 수 있다. 이렇게 선입관이 형성되면 다른 유형의 문제를 접했을 때도 그의 생각은 처음 접한 정보로 좌우되고 고정될 가능성이 존재한다는 점이다. 두 번째 단점으로는 개인의 진술을 어느 정도까지 신뢰할 수 있는가의 문제이다. Self report를 작성할 때 개인의 판단에는 기억의 왜곡이라든가 자기기만, 과장, 사회적 통념에서 벗어나지 않으려는 의지 등이 복합적으로 작용한다. 이것들이 개인의 판단에 다양한 방식으로 영향을 미칠 수 있기 때문에 그의 진술이 부정확할 가능성은 항상 존재하며, 정확한 진술을 하겠다는 생각만이 유일한 동기는 아니라는 점이 지적되고 있다(Paulhus & Vazire, 2007).

예시는 다음과 같다.

(**문항** 31) 도형의 공간회전 과제는 다양한 방식으로 해결할 수 있습니다. 예를 들면 도형이 회전하는 모습을 머릿속에서 한 번에 모의회전 할 수도 있고, 어느 한 면을 기준으로 삼아서 그 면이 회전한 것을 기준으로 이웃면이나 다른 면들이 어떻게 이동했는지를 비교, 대조하는 방법까지 다양합니다. 1번에서 30번까지의 문제들을 어떤 방식으로 풀었는지 생각해보고 자신이 사용한 것에 가장 가까운 것을 고르시오.

머릿속에서 한 번에 회전하는 방법을 80% 이상 사용하였다	한 면을 기준으로 비교도 하였지만 회전을 더 많이 사용하였다(회전 전략이 50-80% 정도)	회전과 비교 및 대조를 절반씩 사용하였다.	회전보다는 기준면을 중심으로 비교, 대조를 더 많이 사용하였다(비교, 대조하는 전략을 50～80% 정도 사용)	비교분석적인 방법을 80% 이상 사용하였다.
①	②	③	④	⑤

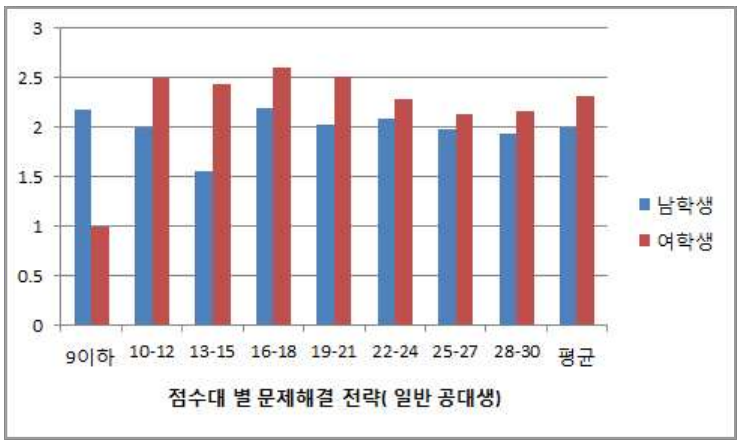
다음 <표 5>는 수학 B형을 친 학생들과 수학 A형을 친 학생들의 문제해결 전략을 조사한 것이다. 설문조사를 시작할 때의 예상은 남학생은 전인적(holistic, 게슈탈트적) 전략을 많이 사용하고, 여학생은 분석적인 비교, 대조를 더 많이 사용할 것이라고 가정을 하였지만 그 정도에 대하여는 예측할 수 없었다. <표 5>의 Mann- Whitney U 검증에 의하면 일반 공대생과 자율전공 학생들 모두 남학생과 여학생에서 의미 있는 전략적 차이가 있다. 평균 점수가 2부터 2.4 사이에 있다는 것은 학생들이 '한 면을 기준으로 비교도 하였지만 전체적으로 회전을 더 많이 사용

〈표 5〉 수학 유형에 따른 문제해결전략의 선택

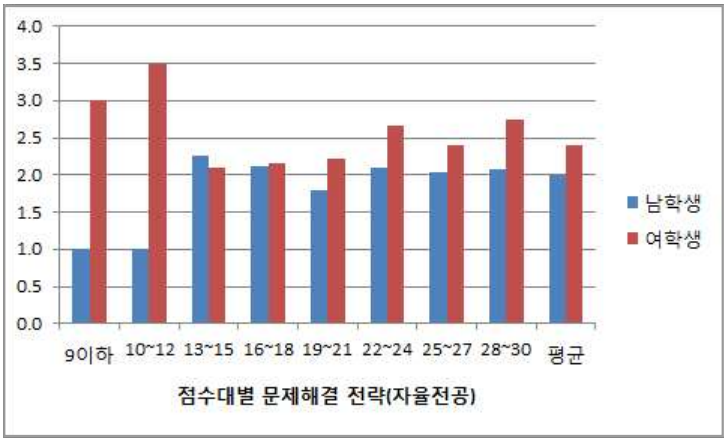
	일반 공대생		자율전공(수학 A형)	
전체 평균	2.07		2.186	
	남(548)	여(197)	남(78)	여(69)
M	1.992	2.321	2.01	2.40
SD	0.985	1.05	0.931	1.004
Mann-Whitney U 검증	$u > u_{critcal}$ $u = 117847$, $u_{critical} = 49068$		$u > u_{critcal}$ $u = 5276$ $u_{critical} = 2118$	
	유의미함		유의미함	

하였다'는 의미이다. 실제로 PSVT-R의 문항 구성이 1번부터 15번 문항까지는 회전축이 하나이므로 한 번에 회전하는 전략을 사용하는 것이 대부분의 학생들에게 크게 어렵지 않았지만, 16번부터 30번 문항까지는 회전축이 두 개이므로 이들 문항을 풀 때는 어떤 한 면을 기준으로 이웃면을 비교, 대조하는 분석적 전략도 사용한 결과로 해석할 수 있다. Mann- Whitney U 검증에서는 남학생과 여학생에서 전략의 차이가 있으며, 일반 공대생이나 자율전공 학생 모두 남학생보다는 여학생들이 분석적인 전략을 조금 더(0.3 ~0.4점) 사용한 것으로 나타났다. 결과적으로 분석적 전략을 빈번하게 사용한 집단은 ① 자율전공 여학생 ② 일반 공대 여학생 ③ 자율전공 남학생 ④ 일반 공대 남학생의 순서이다. <표 2-1>과 <표 5>를 비교해보면 자율전공 남학생과 일반 공대 여학생들은 전략의 선택에서는 차이가 있지만 두 집단의 공간 시각화 평균 점수는 거의 같다는 점도 특징이다.

〈표 6-1〉 일반 공대생들의 공간 시각화 점수에 따른 문제해결전략의 점수대별 평균



〈표 6-2〉 자율전공 학생들의 공간 시각화 점수에 따른 문제해결전략의 점수대별 평균



<표 6>에서는 공간 시각화 점수에 따라 문제해결 전략의 차이가 존재하는가를 조사하였다.

<표 6-1>을 관찰하면 일반 공대 남학생과 여학생들 모두 한 두 구간만 제외하면 공간 시각화 점수에 따른 전략의 선택에서 변화가 거의 없다. 먼저 남학생이 선택한 전략의 평균은 1.99, 여학생의 전략의 평균은 2.31이다. 여학생은 9점 이하를 제외하고는 대부분 2와 2.5 사이(회전 전략을 약 65% 이상~ 80% 이하)를 유지한다. 이것은 여학생들도 남학생과 마찬가지로 한 번에 회전하는 게슈탈트적(전인적) 전략을 주로 사용하지만 분석적 전략도 동시에 함께 사용한다는 의미이다. 다만 여학생들의 경우는 상위권으로 올라가면서 게슈탈트적 전략을 조금씩 더 사용하는 양상을 나타나고 있다. 남학생들은 전 구간에서 평균점인 2점 대 근처에 있는데 이것은 남학생들이 전인적 전략을 50~80% 정도 사용했다고 스스로 평가한다는 의미이다. 결국 일반 공대생들의 경우는 우수한 학생이나 그렇지 못한 학생이나 비슷한 전략을 사용한다고 해석할 수 있다. 하지만 일반 공대 여학생 중에서 최하위권인 9점 이하의 집단에서는 다른 점수대의 학생들과는 달리 전인적 전략을 과도하게 사용하는 것으로 나타났다. 이 전략적 차이 혹은 미숙한 전략의 선택이 공간 시각화 능력에서 차이를 가져올 가능성도 존재한다고 보인다. 한편 남학생 만점자들의 전략의 평균은 1.69이고, 여학생 만점자들이 응답한 전략은 평균 1.67로 나타났다. 이 사실은 만점자의 경우에는 남학생과 여학생 사이에 전략의 차이가 거의 없으며, 다른 점수대의 학생들과 비교했을 때도 특히 만점 여학생들이 게슈탈트적인 전략을 남학생들과 유사한 방식으로 사용하는 것으로 해석할 수 있다.

<표 6-2>에 따르면 자율전공 남학생들은 13점 이상의 그룹에서는 2점 근처를 유지한다. 이것은 일반 공대생과 비슷한 수준이므로 남학생들은 전략의 선택에서는 별다른 차이를 보이지 않는다고 해석할 수 있다. 그러나 공간 시각화 점수가 9이하인 최 하위권 남학생들의 평균값이 1이어서 이들은 전인적 전략만을 과도하게 사용하고 있으며 이것은 빈번한 실수, 그리고 낮은 점

수로 연결되었다는 분석이다. 자율전공 여학생의 경우는 13점 이상의 집단에서는 전략의 선택이 일반 공대 여학생들과 비슷한 수준이다. 그러나 공간 시각화 점수가 12점 이하의 최하위권 여학생들은 전략의 선택에서 비교 분석적인 방법을 50% 이상 사용하는 것으로 나타났다. 분석적인 전략을 과도하게 사용한다면 주어진 시간 내에 문제를 모두 해결하는 것조차 어려울 가능성이 높아지기 때문에 분석적 전략을 집중적으로 사용한 것은 시간의 부족과 점수의 하락으로 연결될 수 있다.

<표 6-1>과 <표 6-2>를 종합하면 다음과 같다. ① 남학생들의 경우 일반 공대생과 자율전공 학생 모두 평균 점수 이상인 집단에서는 전략의 차이가 거의 없으며 두 가지 전략을 섞어서 사용한다. 이것은 여학생의 경우도 마찬가지다. ② 일반 공대 여학생 중 최하위권 그룹은 전인적 전략을 과도하게 사용하였으며 이로 인하여 실수로 이어졌을 가능성이 높다. 자율전공 학생들의 경우에도 최 하위권에서는 남학생은 전인적 전략을, 여학생은 분석적 전략을 주로 사용하는 것으로 판단된다. ③ 위의 데이터에 따르면 최상위권 학생들에서만 독특한 전략은 없어 보이지만 만점자들은 남녀 모두 전인적 전략을 가장 빈번하게 사용하였고 이 집단은 전인적 전략과 분석적 전략을 적절히 효율적으로 전략을 사용한다고 판단된다.

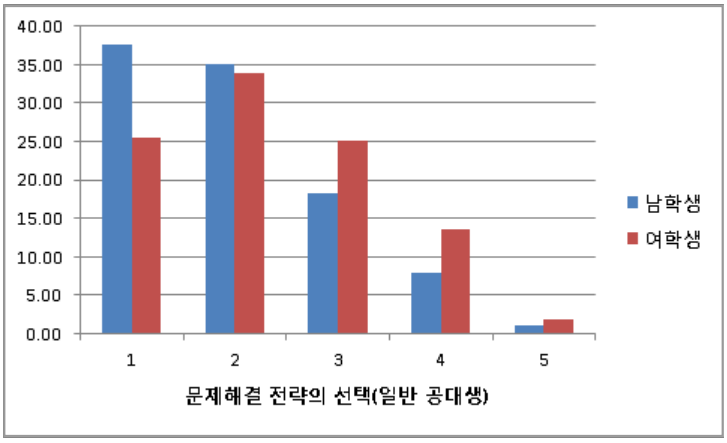
다음 <표 7>에서는 일반 공대생과 자율전공 학생들의 공간 시각화 능력과 문제해결 전략 사이의 상관관계를 공간 시각화 점수의 평균을 중심으로 상위권, 중위권, 하위권으로 나누어서 구하였다. 자율전공 여학생의 경우는 평균이 19점이고 10점 이하의 인원이 극소수인 관계로 이상점(outlier)을 제외하고 다른 기준을 적용하였다(괄호 참조)

〈표 7〉 공간 시각화 능력과 문제해결전략 사이의 상관관계

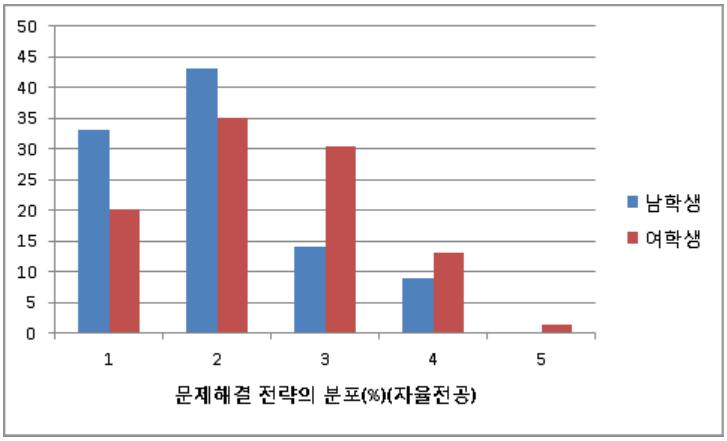
일반 공대생(수학 B형)			자율전공(수학 A형)		
	남학생	여학생		남학생	여학생
상위권(28-30)	-0.19	-0.19	상위권(28-30)	-0.20	0.03(25 이상)
중위권(24- 26)	-0.03	-0.01	중위권(22-24)	0.08	0.06(19-23)
하위권(18이하)	0.21	0.17	하위권(18이하)	0.03	-0.2(14-16)
평균	-0.05	-0.12	평균	0.13	0.04

<표 7>에 따르면 12개로 나눈 전 그룹에서 상관계수는 0.2 이하의 작은 값으로 나타났다. 이것은 각 그룹 내에서는 문제해결 전략과 공간 시각화 능력 사이에 상관관계가 거의 존재하지 않는다는 의미이다. 또 상위권으로 갈수록 음의 값이 조금씩 커지는데, 이것은 이 집단에 속한 학생들이 전인적 전략을 조금이라도 더 사용했다는 의미이다. 이 수치들은 <표 6>에서 얻은 결과를 뒷받침 해 준다.

〈표 8-1〉 일반 공대생들의 문제해결전략 선택에 대한 성별 분포(%)



〈표 8-2〉 자율전공 학생들의 문제해결전략 선택에 대한 성별 분포(%)



<표 8-1>과 <표 8-2>는 각각 일반 공대생과 자율전공 학생들의 성별에 따른 문제해결전략의 선택 분포를 나타낸 것이다.

<표 8-1>에 의하면 일반 공대 남학생들은 전인적 전략을 80% 이상 사용한 경우가 가장 높았고(37%), 그 뒤를 전인적 전략을 50~80% 정도로 사용한 경우가 약간 낮으며(35%), 그 다음이 전인적 전략과 분석적 전략을 5: 5로 사용한 경우(18.4%), 분석적 전략을 주된 전략으로 80%까지 사용한 경우(약 8%)의 순서로 낮아진다. 반면에 일반 공대 여학생들의 경우는 전인적 전략을 50~80%정도로 사용한 경우(약 40%)가 가장 높으며, '전인적 전략과 분석적 전략을 5 : 5 정도로 사용하였다' 또는 '전인적 전략을 80%이상 사용하였다'에 비슷한 비율(각각 25% 정도)로 응답하였고, 분석적 전략을 50~80%까지 사용하는 경우(약 14%)였다. 분석적 전략만 80% 이상 사용한

경우는 남녀 모두 극소수다. 남학생의 경우에는 최빈값과 평균값이 차이를 보인다는 점이 특징이다.

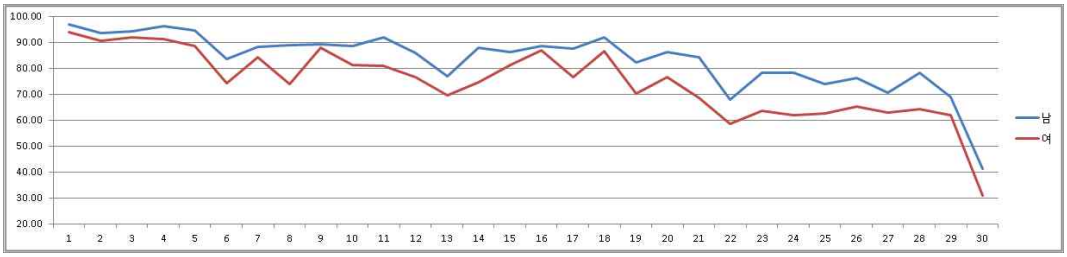
<표 8-2>에 의하면 자율전공 남학생들의 경우는 '전인적 전략을 50～80% 정도 사용했다'는 응답이 43%로 가장 높았고 그 뒤를 '전인적 전략을 80% 이상 사용했다'가 33%로 뒤를 이으며, 다음이 '분석적 전략을 50～80% 정도 사용했다'(14%)이고, '분석적 전략을 80% 이상 사용했다'(약 9%)의 순서로 낮아진다. 자율전공 여학생의 경우도 가장 많은 응답을 한 경우가 '전인적 전략을 50～80% 정도 사용했다'(35%)이고 그 다음이 '분석적 전략을 50% 정도 사용했다'(30%)이고, 세 번째가 '전인적 전략을 80% 이상 사용했다(20%)'이며, '분석적 전략을 50～80% 정도 사용했다'(약 10%)의 순서로 낮아진다. 자율전공 학생 중에서 극소수의 여학생만이 '분석적 전략을 80% 이상 사용했다'는 응답을 하였다. <표 8-1>과 <표 8-2>를 종합하면 다음과 같다. ① 일반 공대 남학생들이 전인적인 전략을 가장 많이 사용했다. ② 성별로는 여학생들이 분석적인 전략에 좀 더 치우치는 경향이 있으며 그 중에서 자율전공 여학생들이 분석적인 전략을 조금 더 사용했다.

다음 <표 9>는 전체 학생에 대한 문항별 정답률을 남녀 학생별로 구한 것이고 <표 10>은 표를 그래프로 나타낸 것이다. <표 9>에서 붉은 글씨로 표시된 것은 남녀별로 정답률이 낮은 문항들을 나타낸 것이다.

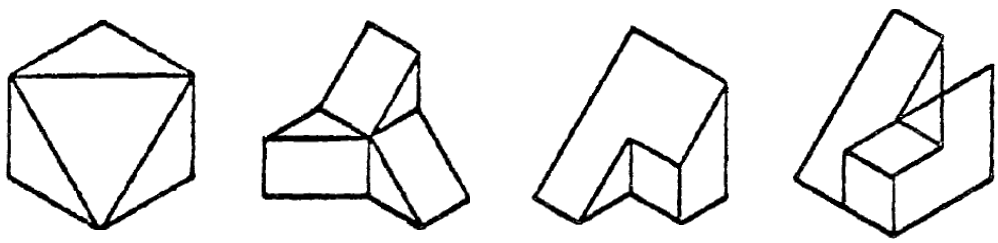
〈표 9〉 문항별 정답률

문항	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
남	97.2	93.7	94.5	96.6	94.6	83.7	88.5	89.0	89.3	88.7
여	94.2	90.6	92.0	91.3	88.8	74.3	84.4	73.9	88.0	81.5
평균	96.3	92.8	93.8	95.0	92.9	81.0	87.3	84.6	88.9	86.6
문항	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
남	92.2	86.1	77.2	87.9	86.4	88.7	87.6	92.2	82.4	86.4
여	81.2	76.8	69.6	75.6	81.5	87.0	76.8	86.6	70.3	76.8
평균	89.0	83.4	75.0	84.0	85.0	88.2	84.5	90.6	78.9	83.6
문항	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
남	84.3	68.1	78.2	78.2	74.2	76.4	70.6	78.2	69.1	41.2
여	68.8	58.7	63.8	62.0	62.7	65.2	63.0	64.5	62.0	30.8
평균	79.8	65.3	74.0	73.5	70.8	73.2	68.4	74.2	67.0	38.2

〈표 10〉 문항별 정답률 그래프



<표 9>의 문항별 정답률에 의하면 모든 문항에서 남학생의 정답률이 여학생의 경우보다 우위를 유지하며 9번과 16번 문항에서만 정답률이 거의 비슷하다. 남학생의 점수는 21번까지는 80% 이상을 유지하다가 22번부터 80% 이하로 낮아져서 그 상태를 유지한다. 남학생의 경우에 정답률이 가장 낮은 문항들은 22, 29, 30번이다. 여학생들의 경우는 20번까지는 정답률이 70% 이상이지만 21번부터는 정답률이 70% 이하로 떨어진다. 특히 마지막 문항의 정답률은 남녀 모두 45% 미만이다. 평균적으로 정답률이 70% 이하인 문항이 22, 27, 29, 30번이었다. 남녀 간의 정답률 차이가 10% 이상 나타나는 문항은 8, 11, 14, 17, 19, 21, 24, 26, 28, 30 번이고, 가장 점수 차이가 큰 문항은 21번으로 남학생의 정답률은 84.3%인 반면에 여학생의 정답률은 68.8%에 그쳤다. 여학생들의 정답률이 상대적으로 낮은 문항들이 후반인 20번 대에 몰려있다는 점도 주목하여야 할 것이다. 그렇지만 정답률이 낮은 문항 중에는 회전 능력보다는 오히려 주어진 도형 자체에 대한 시각적 이미지 또는 표상을 만드는 것이 어려운 문항도 포함되었기 때문이라는 학생들의 진술이 있었다(그림 4-1). 특히 13번 문항은 회전축이 z축으로 비교적 간단한 90^0회전임에도 남학생들의 정답률도 낮게 나온 것은 그런 이유라고 분석하였다. 그러므로 PSVT-R에서 높은 점수를 받기 위해서는 회전능력 뿐만 아니라 도형의 심적 이미지 혹은 표상을 정확하게 만드는 것도 중요하다고 판단된다. 이 사실은 본 연구의 시작 단계에서는 기대하지 않았던 성과이다. PSVT-R과 같은 공간과제에서 분석적인 전략만으로는 해결하기 어려운 이유 중의 하나는 도형이 회전했을 때 처음에 보였던 면들이 사라지는 경우가 있기 때문에 더 이상 비교, 대조 등의 방법이 불가능해지기 때문이다. 그러므로 보이지 않는 면들까지도 포함한 심적 이미지를 정확하



(그림 4-1) 정답률이 낮은 문항들의 목표 도형들(좌로부터 22, 24, 26, 30번 문항)

게 만드는 것이 중요하다고 분석하였다. 그리고 이러한 문항 분석은 전체적으로 정답률이 낮은 문항들을 분석해서 이것과 유사한 문항들을 개발하고, 공간능력 향상을 위한 프로그램을 만드는데 일조할 것으로 기대한다.

결론 및 제언

본 연구는 2014년부터 실시해온 Purdue 공간시각화 - 회전 검사(PSVT-R)에서 얻은 결과들을 재확인하면서 그 결과들이 수학능력시험 중 수학 A형을 친 학생들에게도 적용되는지를 살펴보고자 하였다. 더불어 공간 시각화 능력의 점수 차이 혹은 성별 간의 점수 차이가 전략선택의 차이에서 비롯되는지도 확인하고자 하였다.

연구에서 얻은 결과들은 다음과 같다. 먼저 수학 B형을 친 일반 공대생들에서 평균과 점수분포는 남학생 25점, 여학생 22점으로 2014, 2015년과 거의 동일하였다. 점수의 분포에서도 남학생의 분포는 상위권으로 갈수록 높아지는 2차 곡선의 형태이고, 여학생은 종형에 가까운 고른 분포를 보여서 예년과 거의 동일하였다. 올해 처음 검사에 참가한 자율전공 학생들은 이와는 다른 분포를 보였다. 전체적으로 공간 시각화 점수는 일반 공대 남학생(25점)이 가장 높고, 다음이 자율전공 남학생(22.5)과 일반 공대 여학생(22.4)이 거의 같았으며, 자율전공 여학생(19.2)의 순서로 낮아졌다. 남학생과 여학생의 점수 차이는 각 집단에서 2.3 내지 3점 정도로 공간능력에서 남학생이 10% 혹은 1SD 정도라는 외국의 결과 및 2015년과 유사한 결과를 얻었다. 공간능력과 수학 성취도와의 상관관계를 구했을 때, 상관계수는 위의 네 그룹에서 모두 0.25 이하로 집단 내에서의 상관관계는 거의 없는 것으로 나타났다. 상관계수는 자율전공 남학생 그룹에서 0.24로 가장 높았다. 일반 공대생과 자율전공 학생들은 다른 유형의 수학시험을 쳤기 때문에 동일한 기준으로 계량화하기는 힘들지만 수학 심화과정을 배운 학생들이 공간 시각화 점수도 높다는 점과, 남학생의 수능 수학 평균 점수와 공간 시각화 점수가 여학생보다 높다는 사실은 수학 성취도와 공간능력 사이에 상관관계가 있음을 시사한다.

공간능력의 성별 차이에 대한 연구 중에서 여성과 남성이 각각 다른 전략을 선호한다는 주장이 1980년대에 제기되었다. 공간회전 과제에서 전략은 크게 전인적 전략과 분석적인 전략으로 구분할 수 있는데, 전인적(게슈탈트) 전략은 머릿속에서 도형을 한 번에 모의회전 해 보는 것이고, 분석적 전략은 도형에서 기준으로 삼은 특정 면이 이동한 것을 통하여 다른 면들이 어떻게 이동할지를 파악하는 비교, 대조의 과정을 거치는 전략이다. 그런데 남학생들은 전인적 전략을 선호하고 여학생들이 분석적인 전략을 많이 사용한다고 알려져 왔다. 본 연구에서는 전략의 차이가 점수의 차이로 연결되는지 확인하기 위하여 검사지 마지막 항목에 학생들이 스스로의 문제해결 전략을 재고해서 5개 항목 중에서 선택하도록 하였다. 그 결과들은 다음과 같다. 먼저

Mann- Whitney U 검증에서는 남학생과 여학생에서 전략에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 두 번째로 선호하는 전략을 물었을 때 일반 공대남학생들은 가장 많은 37%가 '전인적 전략을 80% 이상 사용했다'를 선택하였다. 그러나 일반 공대 여학생들은 33%가 '전인적 전략을 50～80% 정도 사용하면서 분석적인 전략을 사용했다' 는 항목을 가장 많이 선택하였다. 자율전공 남학생과 여학생들도 각각 42%, 30%가 이 항목을 가장 많이 선택하였다. 세 번째로 공간능력에 따른 전략의 선택을 비교했을 때 모든 점수대에서 비슷한 분포를 보였다. 즉 여학생은 2와 2.5 사이(전인적 전략을 65～80% 정도 사용하는 것으로 해석함)에서 움직였고, 남학생은 전체적으로 2(전인적 전략을 50～80% 정도 사용함)에 가까운 값을 모든 점수대에서 유지했다. 그런데 일반 공대생들 중 만점을 받은 남학생은 전략선택의 평균값이 1.69, 여학생은 1.67(점수가 1에 가까울수록 전인적 전략을 많이 사용한 것이다)으로 전체 평균에 비하여 전인적 전략을 가장 많이 사용한 것으로 나타났다.

공간능력이 최하위권인 학생들에서도 몇 가지 특징이 나타났다. 공간 시각화 12점 이하인 자율전공 여학생들은 분석적 전략을 가장 많이 사용하였고, 자율전공 남학생들은 전인적인 전략을 80% 이상 사용했다고 응답하였다. 9점 이하인 일반 공대 여학생은 전인적 전략을 80% 이상 사용했다고 대답한 점도 특징이다. 이 사실을 어느 한 가지 전략을 치우쳐서 사용하는 것은 하위권에서는 결코 효율적이지 못하다는 것을 알려준다. 그 이유로는 분석적 전략을 과도하게 사용하면 시간이 부족할 수 있고, 전인적 전략만 사용하면 실수로 이어질 수 있기 때문인 것으로 해석하였다. 공간과제에서 우수한 점수를 받는 학생들은 언제 어떤 전략을 사용해야 할지를 판단하는 능력이 뛰어나다고 알려져 있는데, 본 조사에서도 공간 시각화 능력이 뛰어난 학생들은 일반학생들에 비하여 전인적 전략을 효율적으로 사용하고 있기 때문이라는 판단이다. 한편 자율전공 남학생과 일반 공대 여학생들이 주로 사용하는 전략은 다르지만 평균점수는 동일하였다. 이것은 전략의 선택이 공간능력을 결정하는 유일한 요인은 아님을 의미한다. 이것을 토대로 공간능력이 부족한 학생들을 위한 프로그램을 계획할 때 우수한 학생들이 문제를 해결하는 과정을 관찰하고, 두 가지 전략을 함께 사용하는 시범과 연습을 포함할 것을 제안한다.

마지막으로 본 연구에서는 남학생과 여학생들의 정답률을 분석하였다. 이를 통하여 여학생들이 남학생보다 정답률이 10% 이상 낮은 문항들을 추출하였는데, 그 특징은 회전축이 2개인(2회의 심적 회전을 수행하는) 문항들에 집중되었다는 점이다. 이러한 문항들은 한 가지 전략, 특히 분석적인 전략만으로는 해결하기 어렵다는 특징이 있다. 그 외에도 회전축이 하나인 비교적 간단한 문항들임에도 정답률이 낮은 경우는 주어진 도형 자체를 정확하게 인식하고 심적 표상을 만드는 것이 어렵기 때문이라고 분석할 수 있다. PSVT-R은 회전능력 뿐만 아니라 표상을 만드는 능력까지 다루는 복합적인 문제들로 구성되었다는 사실은 공간과제해결에서 전략의 차이 이외의 것들도 고려해야 한다는 점을 시사하며 이러한 발견들은 후속 연구에서 다루고자 한다. 정답률이 낮은 문항들에 대한 분석은 이와 유사한 문항들을 개발하는데 도움을 줄 것으로 기대한다.

참고문헌

김연미 (2015). 공과대학생들의 공간 시각화 능력, 수학 성취도 및 언어 성취도 사이의 관계 및 성별 차이에 관한 연구, **한국수학교육학회지 시리즈** C, *29*(3), 553-571.

Ambrose, R. & Fennema, E. (2001). Gender and social learning: mathematics and science. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 5972-5976.

Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.

Casey, M. B., Nuttall, R., Pezaris, E., & Benbow, C. (1995). The influence of spatial ability on gender differences in mathematics college entrance test scores across diverse samples. *Developmental Psychology, 31*(4), 697-705.

Ellison, G., & Swanson, A. (2010). The gender gap in secondary school mathematics at high achievement levels: Evidence from the American Mathematics Competition. Retrieved from www. economics/mit.edu/ files4289

Else-Quest, N., Hyde, J., & Linn, M. (2010). Cross-national patterns of gender differences in mathematics: A meta analysis. Psychological Bulletin, *136*(1), 103-127.

Friedman, L. (1995). The Space Factor in Mathematics: Gender Differences. *Review of Educational Research, 65*(1), 22-50.

Gages, T. T. (1994). Th e interrelationship among spatial ability, strategy used, and learning style for visualization problems. (Doctoral Dissertation, The Ohio State University, 1994). Dissertation Abstracts International, *55*(11), 3399.

Kyllonen, P. C., Woltz, D. J., & Lohman, D. F (1981). Models of strategy and strategy shifting in spatial visualization performance (Technical Report No. 17). Arlington, VA: Advanced Research Projects Agency.

Levine, S., Huttenlocher, J., Taylor, A., & Mohler, J. (1999). Early sex difference in spatial skill. *Developmental Psychology, 35*(4), 940-949.

Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1986). A meta analysis of gender differences in spatial ability: Implications for mathematics and science achievement. In J. S. Hyde & M. C. Linn (Eds.), *The psychology of gender: Advances through meta-analysis* (pp. 67-101). Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press

Lohman, D. F. (1979). Spatial ability: A review and re-analysis of the correlational literature (Technical Report No. 8). Stanford, CA: Aptitudes Research Project, School of Education, Stanford University.

McGee, M. G. (1979). *Human spatial abilities: Sources of sex differences*. New York: Praeger Publishers.

Mohler, J. (2008). Review of spatial ability research. *Engineering Design Graphics Journal, 72*(3), 19-30.

Paulhus, D., & Vazire, S. (2007). The Self Report Method, In R.W. Robins, R.C. Fraley, & R.F. Krueger (Eds.), *Handbook of research methods in personality psychology*(pp.224-239). New York: Guilford.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1971). *Mental imagery in the child* (F. W. Langdon & J. L Lunzer, Trans.). New York: Basic Books.

OECD (2014) PISA 2012 results: What students know and can do, Vol(1) PISA, Paris: OECD Publishing.

Smith, I. M. (1964). Spatial ability, its educational and social significance. San Diego, CA: Robert R. Knapp.

Sorby, S. A. (2001). Improving the spatial skills of engineering students: Impact on graphics performance and retention. *Engineering Design Graphics Journal*, *65*(3), 31-36.

Stoet, G., & Geary, D. (2013). Sex differences in reading and mathematics are inversely related: within and across nation assessment of 10 years of PISA data. *PLOS one*, *8*(3), e57988.

Thorndike, E. L. (1921). On the organization of the intellect. *Psychological Review, 28*, 141-151.

Thurstone, L. L. (1950). *Some primary abilities in visual thinking*. Chicago, IL: University of Chicago Psychometric Lab Report No. 59.

Van Garderen, D. (2006). Spatial visualization, visual imagery, and mathematical problem solving of students with varying abilities. *Journal of Learning Disabilities. 39*(6): 496-506.

1차 원고 접수: 2017. 04. 18
1차 심사 완료: 2017. 06. 07
2차 원고 접수: 2017. 08. 11
최종 게재 확정: 2017. 08. 16

(*Abstract*)

Spatial Ability, Its Relationship to Mathematics Achievement, and Strategic Choices for Spatial Tasks Among Engineering Freshmen, and Gender Differences

Yon Mi Kim

Hong Ik University, School of Engineering

In this research, based on the fact that spatial ability is important for the achievement in the STEM fields, and technological innovation, Purdue Spatial Visualization Test-Rotation has been used to investigate engineering freshmen's spatial ability and gender differences. Students who have taken advanced mathematics courses in high school(those who have taken type B math test in Korean SAT test) and students with general math courses(those who have taken type A in Korean SAT-Math test) are included in this study to find out the relationship between mathematics achievement and spatial ability. Finding out the strategies taken by students was another aim of this study. This strategic differences between high achievers and lower achievers, male and female students were analyzed from students' self report. Spatial ability test score was highest in the SAT-Math type B male students, decreased in the order of type A male students, type B female students, and lastly type A female students. There was no substantial difference between second and third groups. In each group, male students' average score was 8~10% higher than female students, which affirms 2015's results. The correlation between spatial ability and mathematics achievement was negligible in each group, but male students' math score and spatial ability score were higher than that of female students. This can be interpreted that there is some correlation between these two. Strategic choices can vary in the continuous spectrum with analytic method and holistic method at both ends. From students' self report, using Mann-Witney test, it turned out that there exists strategic differences between male and female students. Male students have a tendency to use holistic strategy more often than female students. I also found that the strategy choice did not vary greatly among all score groups. For the perfect score groups, both female and male students used holistic strategy most frequently. For low achieving groups, there is an evidence that these students overuse one method compared to average or high achieving groups, which turned out to be less effective. Based on these, I suggest that low achieving students need to have more chances to adopt efficient strategies and to practice challenging problems to improve their spatial abilities.

Key words : spatial visualization, STEM, holistic(gestalt) vs analytic strategies, gender difference