

## 공과대학 신입생들의 공간 시각화 능력, 수학 성취도와 언어 성취도 사이의 관계 및 성별 차이에 관한 연구

김 연 미 (홍익대학교)

본 연구는 공간능력이 수학 성취도 및 STEM 분야의 성공에서 중요한 역할을 한다는 사실에 기초하여, 공과 대학생들의 공간능력, 수학 성취도, 그리고 언어 성취도 사이의 관계와 각 영역에서 성별 차이를 파악하는데 목적을 두었다. 그와 함께 수학 성취도에서의 성별 차이가 공간능력에서의 차이에 의해서 매개되는 지도 확인하고자 하였다. 이를 위하여 서울 소재 공과대학 신입생들에게 공간 시각화-회전(PSVT-R)검사를 실시한 후에 대학수학능력 시험의 수학 및 언어 영역과의 상관관계를 성별로 조사하였다.

연구 결과, 성별 차이는 공간 시각화 능력에서 가장 크게 나타났고, 다음이 언어 성취도, 그리고 수학 성취도의 순서로 낮아졌다. 남학생의 공간 시각화 능력이 여학생보다 0.8d(effect size) 정도 우수하였으며 남학생의 67%가 도달한 수준에 여학생은 34%가 속해있었다.

영역별 상관계수를 살펴보면 수학과 언어 성취도 사이에는 음의 상관관계가 존재하였다, 그러나 예측과는 다르게 수학 성취도와 공간 시각화 능력 사이의 상관관계는 작았다. 공간 시각화 능력과 언어 성취도 사이에도 상관관계는 존재하지 않았다. 그렇지만 공간 시각화 능력은 남학생보다는 여학생의 수학 성취도에 좀 더 강한 영향을 주는 것으로 나타났다. 그 이유는 남학생에서는 공간능력이 보편적인 현상이기 때문에 남학생 내에서는 공간능력이 수학 성취도에 별다른 영향을 미치지 않았던 것으로 파악된다. 그 외에도 공간능력이 낮은 집단에서도 수학 성취도에서는 성별 차이가 나타나는 것을 확인하였다. 이것은 현 연구 집단에서는 공간능력이 수학 성취도를 결정하는 주된 요인은 아니라는 점을 보여준다.

언어 성취도가 수학 성취도와 음의 상관관계를 갖는 이유는 입시전형에 합격하기 위해서는 한 영역에서 낮은 점수를 받은 경우에 다른 영역의 점수는 상위권인 학생들이 지원한 결과로 해석된다.

마지막으로 공간 시각화와 언어 능력이 결합하여 수학 성취도에 미치는 영향을 살펴보았다. 언어 성취도와 공간 시각화 점수를 상위권과 하위권으로 구분한 다음 네 그룹으로 나누어서 수학 성취도를 비교하였다. 이 때 수학 성취도는 남학생, 여학생 모두에서 ① 공간 상위권-언어 하위권인 그룹, ② 공간 하위권 - 언어 하위권인 그룹, ③ 공간 상위권 - 언어 상위권 그룹, ④ 공간 하위권 - 언어 상위권 그룹의 순서로 낮아졌다.

### I. 서론

수학과 언어능력, 그리고 공간능력은 STEM(science, technology, engineering, and mathematics) 분야에서의 성공을 예측할 수 있는 중요한 지표로 알려져 있다. 수학과 언어능력은 많은 전문직 영역에서 성공하기 위한 능력으로서 그 중요성이 이미 오래전부터 인식되어 왔다. 하지만 공간능력은 영상과학이나 컴퓨터 그래픽, 로봇 등과 같은 최근의 과학기술의 발달과 더불어 그 중요성이 더욱 대두되고 있다. 공간감각, 공간기술, 공간지각 등

\* 접수일(2015년 6월 17일), 심사(수정)일(1차: 2015년 8월 10일, 2차: 2015년 8월 24일), 게재확정일(2015년 9월 18일)

\* ZDM 분류 : C15

\* MSC2000 분류 : 97C40

\* 주제어 : 공간 시각화, 성별 차이, 계수탈트 대 분석적 전략, 심적 회전, STEM 분야

\* 본 연구는 2015년도 홍익대학교 학술연구 진흥비의 지원에 의하여 수행됨

\* 본 연구에서 사용된 Purdue 공간 시각화 검사 데이터는 WISSET 서울지역사업단에서 제공하였다

다양한 이름으로 불리는 공간능력은 상상 속에서 이미지를 만들어내고, 기억하며, 조작하는 능력이다. 공간능력은 수학과 과학 기술 분야에서는 실용적면서도 고차원적인 사고를 위한 도구로 인식되고 있으며, 예술과 디자인 분야에서는 창의성을 발휘하는데 중요한 역할을 한다고 알려져 있다. 미국에서 40 년간 진행된 Project Talent의 연구에 의하면 다양한 전문직에 종사하는 사람들의 인지능력을 수학, 언어, 공간능력으로 구분하여 조사했을 때 인문 사회분야의 종사자들에서는 공간능력 < 언어능력 < 수학능력의 순서로 높아지고, 반면에 STEM 분야의 종사자들에서는 언어능력 < 공간능력 < 수학능력의 순서로 높아졌다(Wai, Lubinski, & Benbow, 2009).

공간능력과 수학 성취도 사이에는 긴밀한 관계가 있으며, 공간능력의 차이가 수학 성취도에서의 개인 차이 및 성별 차이를 부분적으로 설명하고 있다고 알려져 있다(Casey, Nuttall, Pezaris, & Benbow, 1995; Halpern, 2004). 이에 따라 공간능력과 수학 성취도 사이의 관계, 그리고 이들 능력에서의 성별 차이와 그 원인을 연구하는 분야에 수학 교육학계, 심리학계 및 여성학계에서도 관심을 보이고 있다. 또한 최근에는 경제학자들도 연구에 동참하고 있는데 그 이유는 수학 능력이 미래의 임금 수준을 예측한다고 알려져 있기 때문이다(Neiderle & Vesterlund, 2010).

현재까지의 연구들에 의하면 공간능력과 STEM 분야에서의 성공을 긍정적으로 연관지어주는 많은 증거들이 있다. 그럼에도 불구하고 STEM 분야에서의 성공에 기여하는 공간능력의 중요성에 대하여는 아직도 많은 논란이 있다. 공간능력은 STEM 분야로 진입할 때는 관문 혹은 진입장벽으로 작용하지만, 전문성을 획득한 후에는 조직화된 지식과 정신적 표상을 활용할 수 있기 때문에 공간적 능력을 동원할 필요가 감소한다(Uttal & Cohen, 2012). 그리고 공간능력과 같은 일반 지능에서의 개인 차이는 새로운 기술을 습득하는 초기 단계에서는 수행력을 강하게 예측하지만 영역 특정적인(domain specific) 지식을 획득함에 따라서 예측력은 감소한다(Akerman, 1988; Hambrick & Meinz, 2011).

최근에 발표된 수학이나 공간능력과 같은 인지능력과 관련된 연구들 중에는 분포도에서 상위권인 오른쪽 꼬리분부(high-end)에서의 성비에 주목하는 연구들이 늘고 있다. 예를 들면 미국 수학 경시대회인 American Mathematics Competition12에서 본선에 진출하는 학생들에서 남학생과 여학생의 성비는 4 : 1 인데 이것은 SAT—수학에서 만점인 경우에서 나타나는 성비의 2배이다(Ellison & Swanson, 2010). Stoet & Geary(2013)는 PISA 2000부터 PISA 2009까지 데이터를 분석하였는데 4회 모두 참가한 33개 국 대부분에서 수학 성적이 95%에 속하는 그룹에서는 남학생의 비가 1.7 ~ 1.9 배 정도 많았지만 99%(상위 1%)인 그룹에서는 2.3 ~ 2.7 배 많았다. 오른쪽 꼬리로 갈수록 성비가 더 커지는 현상은 우리나라에서도 관찰되는 현상이다. 한국의 경우는 PISA 2012에 의하면 수학 성적은 최상위권(평균: 554, OECD 평균: 494)이지만 성별 간 점수 차이(남학생 평균: 562, 여학생 평균: 544, 차이:18, OECD 평균 차이:11)가 큰 국가에 속한다. 또한 수학 최상위권인 6 단계에 속하는 학생들의 비율을 조사해보았을 때 2003년부터 2012년까지 남학생 우위로 1.5 ~ 1.7 : 1을 유지하고 있다(OECD, 2003, OECD, 2014). 이러한 이유로 수학 및 공간능력이 더욱 요구되는 공과대학생들에서도 유사한 현상이 나타나는 지를 확인할 필요도 대두된다.

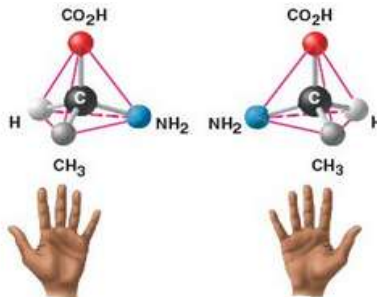
본 연구자가 속한 대학에서는 2014년부터 공과대학 신입생들을 대상으로 공간시각화 능력을 측정하고 있다. 그리고 그 점수가 일정 수준 미만(30점 만점 중 18점 이하)인 학생들을 대상으로 공간능력 향상을 위한 시범 강좌를 2015년부터 진행하고 있다. 이렇게 하여 얻어진 학생들의 공간 시각화 점수와 대학수학능력 시험의 수학 및 언어 영역의 점수를 이용하여 공과 대학생들의 수학과 언어 성취도, 그리고 공간능력 사이의 상관관계와 각 영역에서의 성별 차이 및 성취도 분포곡선에서의 성비를 조사하였다. 대학생을 대상으로 공간능력과 수학 성취도 사이의 관계를 조사한 것은 본 대학이 처음이라고 알고 있다. 이 같이 공간 시각화 능력과 수학 및 언어 성취도와와의 상호 관계를 조사함으로써 공과 대학생들이 전공분야에서 이루는 학업 성취와의 관련성을 파악할 수 있고, STEM 분야에서 어려움을 겪는 학생들이 있다면 그 원인을 파악하는 데도 도움을 줄 수 있다. 나아가서

장기적으로는 다양한 STEM 분야에서 성공하기 위해서 각 분야에서 어떤 능력이 어느 정도 요구되는지에 대하여도 정보를 제공할 것으로 기대된다.

## II. 이론적 배경

### 1. 공간 능력과 STEM

공간능력은 STEM 분야에서 고차원적 사고를 하는데 도움이 될 뿐 아니라 창의성을 발휘하고 기술 혁신을 이루기 위해서 필요한 능력으로 알려져 있다. 예를 들면 화학에서 분자구조나 이성질체(isomer)([그림II-1])를 이해하는 데는 공간 시각화 능력이 중요하다(Bodner & Guay, 1997). 거울상(mirror image)의 이성질체들은 원자들의 조성은 동일하지만 화학반응에서는 다르게 작용한다. 또 3차원 입체를 가상으로 잘랐을 때 나타나는 단면을 통해서 원래의 모습을 머릿속에서 재생할 수 있는 능력은 X-레이나 MRI(magnetic resonance image)의 판독 뿐 아니라 생물학, 지질학, 토목 분야에서 필수적이다. Rochford(1985)에 의하면 형상을 시각화하거나 변환하고 단면을 자르는 과정에서 어려움을 겪는 학생들은 해부학 실습에서도 어려움을 겪는다. STEM 분야 중 전기전자공학의 과목들 중에는 구리선 내부에서 원자들 사이를 움직이는 전자들과 같이 극 미소 영역에서 일어나는 현상을 다루는 경우가 많다. 이 경우에 새로운 극 미소 공간에서 문제의 해를 시각화하기 위해서는 '마음의 눈'으로 창조된 심적 모델을 사용해야 하며 이 때 공간적 추론 능력이 필연적으로 요구된다(Smith, 2009, p. 13).



[그림 II-1] 이성질체(isomer) 중 분자 비대칭성(chirality)을 가진 경우

Lubinski(2010)는 공간능력에서의 개인 차이가 학업과 미래 수입, 전문직 종사 여부, 그리고 특허권의 유무에도 기여한다고 보고한다. Wai 외(2009)는 STEM 분야를 전공하는 23세의 대학생들을 A그룹: 물리학 전공, B그룹: 수학/컴퓨터 전공, C그룹: 전자전기 공학 전공, D그룹: 기타 공학 군으로 분류하고 이들의 수학, 언어, 공간능력을 측정하였다. 여기서 언어 능력은 전자전기 공학 < 수학/컴퓨터 전공 < 기타 공학 전공 < 물리 전공자들의 순서로 높았으며, 수학 능력은 기타 공학 전공 < 수학/컴퓨터 전공 < 전자전기 공학 < 물리 전공자의 순서로 높았다. 그리고 공간능력은 수학/컴퓨터 전공 < 기타 공학/물리 전공 < 전자전기 공학 전공의 순서로 높았다.

전통적으로 수학과 언어 능력은 미래의 엔지니어들이 엄격한 공과대학 교육과정을 성공적으로 마칠 수 있는가를 측정하는 지표들이었다. 그런데 이러한 지표들만으로는 공과대학 교육과정에서의 성공을 보장하지 못한다는 사실들이 밝혀지게 되었다. 미국 대학에서 공과대학생들의 자퇴율이 50%에 이르고, 졸업율이 40% 밖에 안 된다는 연이은 보고들이 많은 대학들로 하여금 학생들의 성공과 관련지을 수 있는 다른 형태의 지표를 찾아보게 하는 시발점이 되었다(Greenagel, 2005). 현재 공간능력을 측정하기 위하여 많이 사용되는 검사로는 Bodner

& Guay(1997)에 의해서 개발된 퍼듀 공간 시각화 과제-회전(Purdue Spatial Visualization Test- Rotation, 이하 PSVT-R)과 Shepard & Metzler(1971)가 개발한 심적 회전과제(Mental Rotation Test)가 있다. PSVT-R은 화학, 기계공학을 포함한 STEM 전공의 대학생들에게 학업 성취도와와의 관계를 찾기 위하여 주로 실시되었다(Bodner & Cuay, 1997; Sorby & Baartman, 1996). Shepard & Metzler의 Mental Rotation Test는 쌍으로 주어진 두 도형이 동일한 것인지의 여부를 판단하는 과제인데, 연구자들은 도형의 회전각이 클수록 비례해서 반응시간이 길어진다는 것을 발견 하였다. 이 검사는 성별 간 차이를 조사하기 위한 목적으로 BBC 방송의 온라인 설문조사를 비롯하여 여러 국가에서 사용되었다(Lippa, Collaer, Peters, 2010; Tsui, Vanator, & Xiaoying, 2014). 다양한 공간능력 검사 중에서 PSVT-R과 Shepard & Metzler의 심적 회전 과제가 상관관계( $r = 0.61$ )가 가장 높다고 알려져 있다(Bodner & Guay, 1997).

공간능력은 연구자들에 따라 매우 다양한 방식으로 정의된다(Mc Gee, 1979; Lohman, 1979; Linn & Peterson, 1985). McGee(1979)는 공간능력을 공간 시각화(spatial visualization)와 공간 방향화(spatial orientation)로 분류하였다. 그에 의하면 공간 시각화는 “시각적인 자극(그림 또는 이미지)을 정신적으로 조작하고, 회전하고, 뒤집는 능력을 의미하는데, 여기에는 이미지를 인식하고, 머릿속에서 유지하며 회상하는 능력을 포함한다” Strong & Smith(2001)는 이와는 약간 다르게 공간 시각화를 “가상의 3-D 공간에 놓인 대상을 조작해서 새로운 관점에서 그 대상을 창조하는 능력”으로 정의한다. McGee는 공간 방향화란 “환경 속에서 시각적인 자극이 주어질 때 구성 원소들의 배열을 이해하고, 방향이 바뀌어도 혼란을 느끼지 않는 능력을 의미 한다”고 정의한다. 공간 방향화의 예는 비행사가 비행 곡예를 할 때 자신의 현 위치로부터 지상의 위치를 파악하거나, 쥐가 미로 실험에서 먹이나 통로를 찾을 때 요구되는 능력을 예로 들 수 있다. 결국 공간 시각화는 대상과 관찰자 중에서 대상의 좌표가 변화하는 것이고, 공간 방향화는 대상의 좌표는 변하지 않지만 관찰자의 좌표가 변화하는 것으로 이해할 수 있다.

다음 표는 공간 시각화 능력과 STEM 분야와의 연관성을 조사한 여러 연구들이다. 이 연구들에서 구한 공간 능력과 STEM 분야에서의 상관계수(Pearson's  $r$ )는 평균적으로 0.35 정도이다.

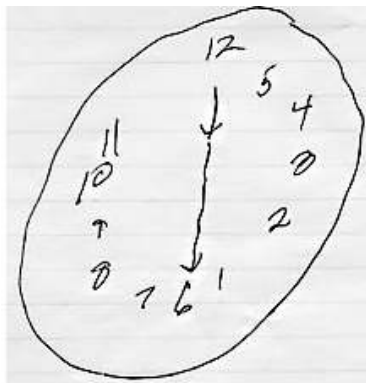
<표 II-1> 공간 시각화 능력과 STEM 분야와의 연관성에 관한 연구

연구자(연도)	표본 수	분야	측정	도구	상관계수
Pallrand & Seeber(1984)	136	물리	ability,	공간방향, 시각화	
Bodner & Guay(1997)	1643	화학	ability, achievement	ROT	.35
Sorby (2001)	536	디자인	(상동)	ROT	.36
Alias, Black, & Gray(2003)	148	건축	ability	VIS	.48
Tai, Yu, Lai, & Lin(2003)	60	컴퓨터	ability achievemen	ROT	.256
Hedman 외(2006)	54	의학	(상동)	VIS	.443
Tolar, Lederberg, & Fletcher(2009)	195	대학생	ability achievement	VIS,SAT-수학, 언어	.45 .58
Smith (2009)	154	전자공학	achievement	ROT, DAT	.29

(ROT: rotation, VIS: visualization, DAT: Differential aptitude test)

**2. 공간능력과 수학 성취도, 성별 차이**

공간능력이 특별히 관심을 끄는 또 다른 측면은 그것이 고차원적인 수학 능력과 양의 상관관계를 가진다는 점이다. 예를 들면 공간 시각화를 측정하는 심적 회전(mental rotation) 과제에서 높은 점수를 받는 개인들이 수학 성취도도 높다는 사실이 많은 연구에서 확인되었다(Casey 외, 1995; Gallagher, Levin & Cahalan, 2002). 공간능력과 수학 성취도가 깊은 상관관계를 갖는 이유는 첫째 신경학적으로 수 감각, 시간, 그리고 공간 지각을 담당하는 신경회로들이 표상의 정보처리를 위하여 두정엽(parietal lobe)이라는 뇌 기제를 부분적으로 공유하기 때문일 가능성이 있다((Hubbard, Piazza, Pinel & Dehaene, 2005). 예를 들면 수의 대소를 비교할 때 심적 수직선에서 오른쪽에 놓인 수가 더 크다고 판단하는데 이것이 수를 공간적으로 이해하는 방식이다. 우뇌가 손상될 때 나타나는 편측(한쪽) 공간 무시증(unilateral spatial neglect)의 경우에 심상을 구성하는 능력이 훼손되고, 이에 따라 심적 수직선에서 수를 나타내고 조작하는 능력도 함께 손상되는 사례가 동반된다(Kuhlenschmidt, 2006) ([그림 II-2]). 두 번째, 언어적 이해만으로는 문제해결의 도구로서 충분하지 못하고, 여기에 시각적 이미지의 활용과 같은 공간감각이 병행되어야 하기 때문이다. Kintsch & Greeno(1985)는 문장 이해도를 측정했을 때, 많은 아동들이 수학에서 문장제를 해결하지 못하는 이유가 문장 이해의 어려움뿐만 아니라 텍스트에 제시된 모델만으로는 문장제를 해결하기에 충분하지 못하기 때문이라고 판단하였다. 아동들은 텍스트에 제시된 모델에 따라서 시각적인 정신적 모델을 구성해야만 성공적으로 문제를 해결할 수 있었는데 연구진은 문제가 복잡해질수록 시각적인 모델을 구성하는 것이 더욱 중요하다는 것을 발견하였다. 그뿐 아니라 고등 수학적 사고인 연역적 추론 과정에서도 공간능력은 중요하다. 명제적 추론과정에서 언어와 논리적 규칙을 따라감으로써 결과를 유도할 수도 있지만 경우에 따라서는 정신적 이미지나 공간적으로 조직된 심적 모형을 구성하고 이들을 조작함으로써 추론 활동을 한다(Kroger, Nystrom, Cohen & Johnson-Laird, 2008).



[그림 II-2] 우뇌가 손상된 환자가 그린 시계(permission from Kuhlenschmidt, 2006)

Casey 외(1995)의 종단연구에서는 모든 능력별 그룹에서 남자 대학생이 여자 대학생보다 심적 회전 과제와 SAT-수학에서 높은 성적을 보였다. 그러나 공간능력을 제어했을 때는 남학생의 수학 성취도에서의 우월성이 무의미한 수준으로까지 감소하였다. 이것을 토대로 이들은 공간능력에서의 성별 차이가 수학 성취도에서의 성별 차이를 매개한다고 주장하게 되었다. 이밖에도 많은 연구들이 공간능력을 수학적 성취와 연관 지으면서 높은 수준의 수학에서 남학생들이 우월한 것이 부분적으로는 공간능력에서의 차이에서 기인한다고 설명하고 있다 (Benbow, 1988; Geary, 1999 Halpern, 2004).

그러나 모든 연구들이 공간능력과 수학 성취도사이에서 양의 상관관계를 발견한 것은 아니다. 예를 들면

Friedman(1995)은 메타 분석을 통해서 공간능력과 수학적 기술 사이의 상관관계는 높지 않으며, 수학과 언어 사이의 상관관계가 오히려 높다고 주장하였다. 또한 수학과 공간능력 사이의 상관관계는 남학생보다 여학생에서 뚜렷이 나타난다(Fennema & Tartre, 1985). 한편 Tsui, Vanator, E., & Xiaoying(2014)는 중국의 물리학 전공 대학생들에게 GRE 모의수학 시험을 실시하였다. 그들은 GRE 시험에서는 성별 차이를 발견하지 못하였지만 심적 회전에서는 남학생 우위를 발견하였다(Cohen's  $d = 0.73$ ). 이들이 GRE 모의시험을 Gallagher(1992)의 분류를 이용하여 다시 검토하였을 때 해당 문제들을 남학생 우위가 나타나지 않는(공간적 표상을 요구하지 않는) 다단계 문제들로 분류되었다.

193 명의 예비 수학교사들을 대상으로 공간능력과 학업 성적, 성별 차이를 조사한 다른 연구에서는 공간능력과 학업 성취 사이에서는 양의 상관관계가 존재하지만, 공간능력에서는 성별차이를 발견하지는 못했다(Turgut & Yilmaz, 2012). 이들은 몇 가지 연구과제도 제시하였는데, 그 중에는 미분 기하나 해석 기하 강좌들이 학생들의 공간능력에 실제로 영향을 주는지의 여부와, 미적분학과 공간능력 사이에 유의미한 상관관계가 존재하는지를 확인해야 한다는 것들이다.

심적 회전과 공간지각에서 성별차이가 존재하지만 공간능력 검사에서 성별 차이가 나타나는 것은 능력 그 자체가 아니라 과제를 처리하는 방식의 차이에서 비롯된다는 주장이 오래전부터 제기되었다(Barratt, 1953; French, 1965). 심적 회전과제의 해결에는 두 가지 전략이 있다고 알려져 있다. 그것은 분석적 전략(analytic strategy)과 전인적(혹은 게슈탈트 전략)이다. 전인적 전략은 인간이 얼굴을 인식하는 것과 동일한 방식으로 도형 전체를 한번에 인식한 다음 심적 이미지를 만들어서 전체를 회전하는 전략이다. 분석적 전략은 전체를 부분들로 분해한 다음에, 이들 사이의 관계를 일대 일 방식으로 한 번에 하나씩 대응시키면서 두 도형을 비교, 대조하는 것이다. 그런데 남학생들은 전인적 전략을 많이 사용하지만 여학생들은 분석적인 전략을 많이 사용하고, 여학생이 남학생에 비하여 신중하게 판단하기 때문에 시간도 오래 걸리는 경향이 있다. PSVT-R이나 Shepard & Metzler의 검사에서는 전인적 전략이 시간이 단축되고 우월한 전략이라고 보고되고 있다(Bodner & Guay, 1997).

현재까지 한국에서 공간 능력과 수학 성취도 사이의 관계를 연구한 논문들은 초등학교와 중학교를 대상으로 한 것들이 대부분이다. 그러나 여기에서도 공간능력과 수학 성취도 사이의 관계가 일관되지 나타나지는 않는다(한정혜, 2002; 박성선, 2013). 그 외에도 우리나라의 대학수학능력 시험의 수준은 미국 SAT-수학 보다 상대적으로 심화과정을 많이 다루기 때문에 대학생들을 대상으로 공간능력과 수학 성취도 사이의 관계를 조사할 때 초등학교나 중학교를 대상으로 한 국내 연구나 외국의 연구들과 동일한 결과가 나타날지를 예단하기는 어려운 실정이다.

### III. 연구 내용 및 방법

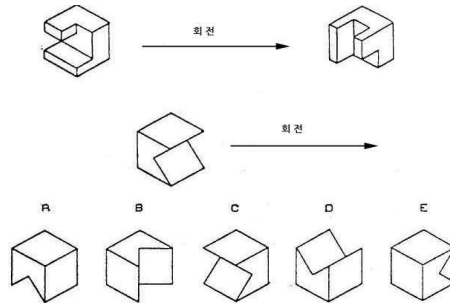
#### 1. 연구 내용

본 연구에서는 STEM 분야 중 하나인 공학을 전공하는 대학생의 경우에 공간 시각화 능력과 수학 및 언어 성취도 사이에 상관관계가 존재하는지, 그렇다면 어느 정도인지, 그리고 그 관계에는 성별로 차이가 있는지를 파악하려고 한다. 중학생을 대상으로 한 연구에서는 수학과 언어 능력 사이의 관계가 수학과 공간 시각화 능력 사이의 관계보다 더 크게 나타났는데(Friedman, 1995), 이 결과가 공과 대학생의 경우에도 성립하는지 확인하고자 한다. 두 번째는 각 영역에서의 성별 차이가 어느 정도 나타나는가를 확인해 보는 것이다. 수학과 공간능력을 많이 요구하는 공과 대학생들에서 상위권으로 올라갈 때 성비에서 어떤 변화가 나타나는 지를 확인할 필요성도 대두된다. 공과대학에 진학한 여학생들이라면 수학이나 과학 영역이 언어 영역보다 우수하거나 혹은 이들 영역

에서 자신감을 가지고 있는 경우가 인문사회학 전공의 여학생들 보다 많다고 가정해볼 수 있기 때문에 수학 성취도나 언어 성취도에서 성별차이가 작거나 나타나지 않을 가능성도 존재하기 때문이다. 세 번째는 대학생 수준에서 공간능력이 수학 성취도에 영향을 주는가 하는 점이다. 그것이 사실이라면, 그것은 성별로도 다르게 나타나는가?, 그리고 공간능력이 낮거나 높은 남학생과 여학생에서도 수학 성취도에서 성별차이는 나타나는가? 등이다. 선행 연구에 의하면 공간 능력은 남자 중학생보다 여자 중학생에서 수학 성취도에 조금 더 영향을 주었다(Fennema & Tarte, 1985). 본 연구는 위의 질문들에 대한 답을 찾아보고 이 현상의 배후에는 어떤 것이 있는지를 파악해보고자 한다. 마지막으로 공간 시각화 능력과 언어 능력이 상호작용하여 수학 성취도에 어떤 영향을 주는지 알아보는 것도 본 연구의 내용에 포함된다.

### 2. 검사 도구

본 연구의 검사 도구로는 대학수학능력 시험 중 수학 및 언어 영역의 백분위 점수와 PSVT-R 검사이다. 공간능력을 측정하기 위하여 여러 가지 공간능력 검사 중에서 3차원 회전 능력에 중점을 두고 검사하기로 결정하였다. 그 이유는 이 검사나 Shepard & Metzler의 심적 회전 과제가 문제해결 과정에서 분석적인 추론 전략과의 충돌이 가장 적은 것으로 알려졌기 때문이다. 또한 기존의 연구들에 의하면 본 검사의 그 신뢰도는 0.7~0.85 정도로 알려져 있다(Bodner & Cuay, 1997; Sorby & Baartman, 1996; 박성선, 2013). PSVT-R 검사는 2015년 3월 초에 실시되었고, 검사 문항은 30 문항, 시간은 25분이었다. 문항 중에는 회전축이 하나인 것(1번부터 14번까지 14문항)과 두 개의 회전축을 가진 것(15번부터 30번까지 16문항)들이 포함되어 있다. 학생들은 다음 [그림 III-1]처럼 예시와 동일한 방식으로 도형을 회전해보고 그 결과를 다섯 개의 보기 중에서 선택해야 한다. 학생들은 답을 OMR카드에 표시하였고 그 결과를 전산처리 하였으며, 문항 당 배점은 각 1점이고 총점은 30점이다.



[그림 III-1] PSVT-R의 예시 문항

### 3. 연구 대상

본 연구에서는 연구자가 재직하는 서울 소재 대학교의 2015년도 공과대학 신입생을 대상으로 하였다. 그 중에서 3월 초에 시행된 공간 시각화 검사에 참여하고, 대학수학능력 시험 중 수학 B형의 점수와 언어 영역의 점수를 제출한 학생들로 선정하였다. 그 결과 남학생은 356 명, 여학생은 159 명이 선정 되었다. 여기에서 이상점을 제외하였다. 이상점(outlier)의 선정은 평균으로부터  $\pm 2.5$  SD이상 차이가 나는 경우로 결정하였다. 그 결과 남학생의 20 명, 여학생의 10 명이 이상점에 포함되었으며, 최종적으로 남학생 336 명과 여학생 149 명이 선정되었다.

## IV. 결과 및 분석

### 1. 기본 통계자료

<표 IV-1>에서는 공간 시각화 검사와 수능 수학 영역 및 언어 영역의 전체 평균과 표준편차를 구하였다. <표 IV-2>는 성별로 공간 시각화 점수와, 수학 및 언어 영역의 평균과 표준편차, 그리고 성별 차이를 검사한 t-검정 결과를 나타낸 것이다. <표 IV-3>에서는 공간 시각화 능력과 수학 영역, 수학과 언어 영역 사이의 상관계수, 그리고 언어 영역과 공간 시각화 능력 사이의 상관계수를 구하였다(Pearson의 상관계수). <그림 IV-1>에서는 공간 시각화 검사 결과를 남녀 학생 별로 백분위 분포도로 나타냈다.

<표 IV-1> 수학, 언어, 공간 시각화 능력의 평균( $M$ ) 및 표준편차( $SD$ )

$N$	수학백분위		공간 시각화		언어 백분위	
	$M$	$SD$	$M$	$SD$	$M$	$SD$
485	77.3	15.19	24.7	3.76	84.7	13.2

<표 IV-2> 성별에 따른 수학, 언어, 공간 시각화 능력의 평균 및 표준편차 및 t-검정

	수학 백분위		공간 시각화		언어 백분위	
	남 (336)	여 (149)	남 (336)	여 (149)	남 (336)	여 (149)
$M$	79.5	72.5	25.6	22.6	82.2	90.6
$SD$	14.7	15.2	3.4	3.9	14.0	8.7
t 검정 ( $p$ -값)	.000*		.000*		.000*	

\* $p < .05$

<표 IV-3> 영역 간의 상관계수(전체, 성별)

	남	여	전체
수학 성취도-공간 시각화	.088	.20	.183
수학 성취도-언어 성취도	-.25	-.25	-.289
공간 시각화-언어 성취도	.073	-.04	-.053

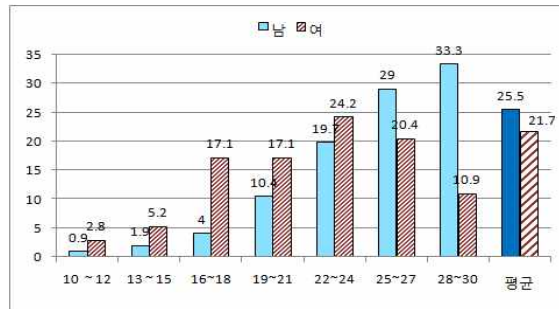
<표 IV-1>의 기본 통계 자료를 보면 공간 시각화 검사에서 전체적인 평균과 표준편차는 각각 24.7과 3.76이다. 485명 중에서 32명이 만점을 기록하였다. 여학생 만점자는 한 명도 없고 모두 남학생이었다. 이것은 남학생 중에서 9.5%에 해당한다.

<표 IV-2>에 의하면 수학 평균 점수는 여학생이 남학생 평균보다 7점(0.46 $d$ , Cohen's  $d$ ) 정도 낮으며, 공간 시각화 점수는 여학생이 남학생 평균보다 3점(0.8 $d$ ) 정도 낮다. 그리고 언어 영역은 남학생의 점수가 여학생 평균 점수보다 8.4점(0.64 $d$ ) 정도 낮다. 그러므로 여학생과 남학생의 평균점수 차이에서의 효과크기(effect size)는 공간 시각화 점수가 가장 크고 다음은 언어 성취도 그리고 수학 성취도 순서로 낮아진다.

<표 IV-3>에서 영역 간의 상관관계를 관찰하면 수학 성취도와 언어 성취도 사이에는 음의 상관관계가



( $r \sim -0.29$ ) 존재한다. 상관 계수는 남학생과 여학생 모두에게서 음수이고  $-0.25$ 로 동일한 값이다. 수학 성취도와 공간 시각화 능력 사이의 상관관계는 여학생( $r \sim 0.2$ )이 남학생( $r \sim 0.09$ )보다 0.1 정도 컸지만 크기는 기존의 연구들과는 다르게 매우 작았다. 이것은 특히 남학생의 경우는 수학 성취도와 공간 시각화 능력 사이에 상관관계가 거의 없다는 의미이다. 공간 시각화 능력과 언어 성취도 사이에도 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났다. 하지만 여기서도 남학생은 상관관계수가 양수이지만 여학생의 경우는 음수로 나타났다는 점에서 차이가 있다. 그러므로 영역들 사이의 상관관계는 수학- 언어 성취도 사이에는 음의 상관관계가 존재하지만 크기는 가장 크고 다음은 수학- 공간 시각화 능력, 마지막으로 언어 -공간 시각화 능력의 순서이다.



[그림 IV-1] 공간시각화 점수 분포  
(가로축: PSVT-R 점수, 세로축: 남녀 별 퍼센트 인원 분포)

[그림 IV-1]에 나타낸 공간 시각화 점수분포를 통하여 남학생과 여학생의 차이를 관찰할 수 있다. 남학생은 상위권으로 올라갈수록 분포 비율이 올라가서 28점 이상에 가장 많이 포진해있다. 이 비율은 33%가 넘는다. 그리고 25점 이상의 비율이 전체의 62%를 넘는다. 반면 여학생의 분포는 좀 더 하향화되고 고르게 분포한다. 28점 이상에 속한 여학생의 분포는 남학생의 1/3 수준이고, 25점 이상인 비율 역시 31%로 남학생의 절반에 해당한다. 여학생의 평균 점수는 22.6으로 남학생보다 약 3점 낮는데, 이것은 남학생 평균보다 10%(0.8d) 정도 낮은 값이다. 이 결과는 여학생의 점수가 남학생의 평균보다 약 10 % 혹은 1d 정도 낮다는 연구 결과와 비교적 일치한다 (Halpern, 2004; Robert & Chevrier, 2003).

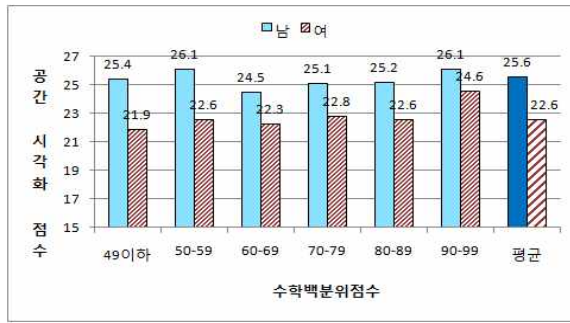
## 2. 영역들 사이의 관계

이 절에서는 각 영역들 사이의 관계를 좀 더 상세히 분석함으로써 수학과 언어 영역 사이의 상관계수는 남학생과 여학생이 거의 동일하지만, 공간 능력과 수학 성취도 사이의 관계는 성별로 차이가 나는 현상을 조사해보고자 한다. 이와 함께 공간 시각화 능력이 낮은 집단에서도 수학 성취도에서 성별 차이가 나타나는지 확인해 볼 것이다.

### 가. 공간 시각화능력과 수학 성취도 사이의 관계

[그림 IV-2]에서는 수학 성취도가 변화할 때 이에 따른 공간 시각화 점수를 조사하였다. <표 IV-4>와 <표 IV-5>은 공간 시각화 점수와 수학 평균 사이의 회귀분석 결과이다. [그림 IV-3]에서는 [그림 IV-2]과는 반대로 공간 시각화 점수가 변할 때 이에 따른 성별 수학 성취도를 나타냈다.

[그림 IV-2]를 보면 남녀 모두 수학 점수에 관계없이 공간 점수에서는 큰 변화를 보이지 않는다. 그러나 남학생의 공간 시각화 점수의 변화폭은 1.6점(26.1~24.5)인 반면에 여학생의 변화폭은 2.7점으로 남학생보다 크다. 하지만 여학생의 공간 시각화 점수도 수학 점수의 변화와 관계없이 전체적으로 평균 근처에서 유지되다가 수학 90점 이상인 구간에서 상승하는 것을 관찰할 수 있다. 그러므로 [그림 IV-2]는 수학 성취도가 높아질 때 공간 시각화 점수가 비례하여 상승하지 않는다는 것을 보여준다.



[그림 IV-2] 수학 성취도에 따른 공간 시각화 능력

<표 IV-4>는 공간 시각화 점수를 독립변수로 놓고, 수학 성취도를 종속변수로 놓았을 때, 이들 사이의 회귀분석을 실시한 결과다. <표 IV-5>은 여학생의 통계량을 나타낸 것이다. [그림 IV-3]에서 왼쪽 그래프는 남학생의 공간 시각화 점수에 따른 수학 평균을 나타내고 오른쪽 그래프는 여학생의 회귀분석의 결과를 데이터와 직선  $y = 38.9 + 1.418x$ 으로 나타냈다. 남학생은 결정계수가 작기 때문에 직선으로 나타내지 않았다. 관측그룹이 14(17점부터 30점까지)인 것은 공간 시각화 점수가 16점 미만인 경우에는 해당되는 학생 수가 매우 적기 때문에 분석에서 제외한 결과이다.

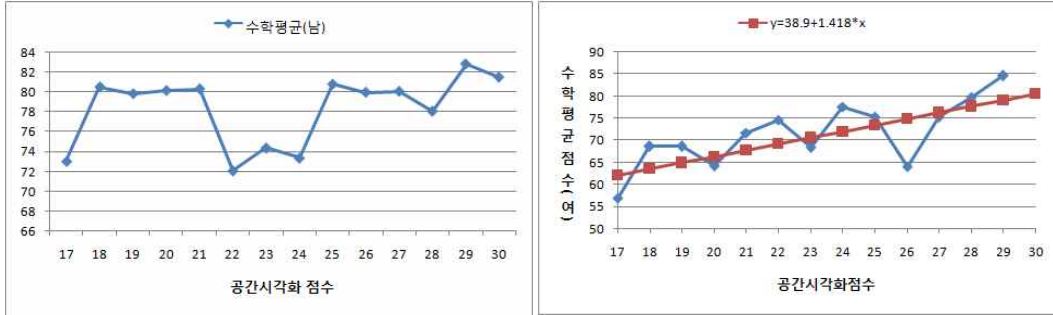
<표 IV-4> 공간 시각화 점수와 성별 수학 성취도 사이의 회귀분석

	남	여
다중 상관계수	0.37	0.75
결정계수( $R^2$ )	0.136	0.56
수정 결정계수	0.064	0.51
표준 오차	3.44	5.16
관측 그룹	14	14

<표IV-5> 여학생 회귀분석 계수의 통계량

	계수	t 통계량	p -값	표준오차
Y절편	38.9	4.36	0.001	8.916
X 1	1.418	3.71	0.003	0.383

<표 IV-4>에 의하면 여학생과 남학생은 결정계수( $R^2$ )에서 차이가 있다. 여학생의 결정계수는 0.56이고 남학생은 0.1에 가까운 값이므로 공간 시각화 능력이 수학 성취도에 기여하는 바는 남학생보다 여학생에서 더 크다고 판단된다. 또 여학생의 경우에는 결정계수와 수정 결정계수의 차이가 0.05로 작기 때문에 이 분석이 의미가 있다고 판단한다.

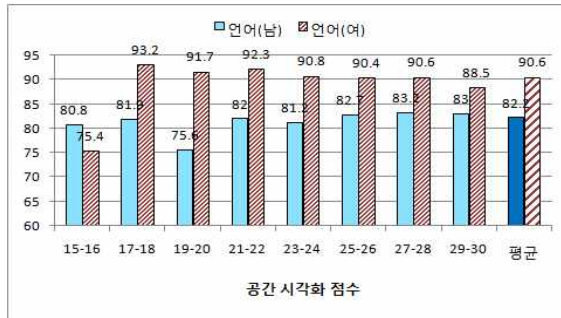


[그림 IV-3] 공간 시각화 점수대별 수학평균(좌: 남학생)과 여학생의 회귀분석(우)

[그림 IV-3]을 보면 먼저 남학생들의 점수 변화폭은 13점이지만 여학생들의 점수 변화폭은 20점이다. 이것은 남학생의 변화의 약 1.5배다. 두 번째는 공간 시각화 점수가 29점 이상(평균 + 1SD 이상)인 남학생 집단(상위 25%)에서는 수학 점수가 평균보다 0.5SD 높아졌고, 29점 이상인 여학생 집단(상위 10%)에서는 평균보다 0.77SD 가 상승하였다. 이것을 공간능력이 우수한 경우, 특히 여학생의 경우에 공간 시각화 점수에 따라 수학 점수가 더 큰 영향을 받는다고 해석할 수 있다. 한편 공간 시각화 점수가 20점(평균 -1SD) 이하인 남학생과 여학생의 점수를 비교해보면 여기서도 남학생의 점수보다 여학생의 점수가 낮은 것을 관찰할 수 있다. Tartre(1990)는 낮은 공간능력을 가진 집단에서 수학 성취도에서 성별차이가 나타나는 이유로 남학생들이 언어적 힌트를 융통성 있게 사용하거나, 부족한 능력을 보상하기 위하여 다른 인지능력을 사용하는데서 남학생들이 여학생들보다 앞서기 때문이라고 제안하였다.

나. 공간 시각화 능력과 언어 성취도 사이의 관계

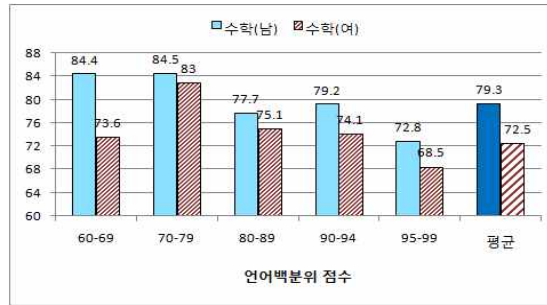
이 절에서는 공간시각화 능력과 언어 성취도 사이의 관계를 살펴본다. [그림 IV-4]은 공간 시각화 점수가 변할 때 이에 따른 언어 영역의 백분위의 변화를 나타냈다. [그림 IV-4]에 따르면 남학생과 여학생 모두 공간 시각화 점수가 상승해도 언어 영역의 점수에는 별다른 변화가 없음을 보여준다. 남학생의 점수 변화폭은 7.4 이고, 여학생의 점수 변화폭은 4.7이다. 여학생의 경우 15 - 16점대를 제외하면 공간시각화 점수에 따라서 언어 영역의 점수는 오히려 낮아진다. 이것이 여학생의 경우는 언어 영역과 공간 시각화 능력 사이에 음의 상관관계가 존재하고, 남학생은 0에 가깝기는 하지만 양의 상관관계를 보이는 현상을 부분적으로 설명할 수 있을 것 같다.



[그림 IV-4] 공간 시각화점수(x 축)에 따른 언어 영역 백분위 점수

다. 언어 성취도와 수학 성취도 사이의 관계

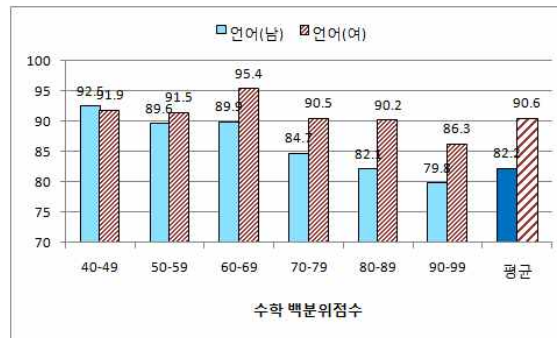
이 절에서는 언어 성취도와 수학 성취도 사이의 관계를 [그림 IV-5]와 [그림 IV-6]를 통하여 살펴본다.



[그림 IV-5] 언어 영역 점수의 변화에 따른 수학 성취도

[그림 IV-5]에서는 언어 영역의 점수에 따른 수학 성취도를 성별로 조사하였다. 여기서 관찰할 수 있는 사실은 60-69점대의 여학생 집단을 제외하면 남녀 학생 모두 언어 영역의 점수가 상승하면서 수학 성취도가 전반적으로 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 남녀 모두 언어 점수가 최상위인 95 - 99점 구간에서 수학 점수가 가장 낮다. 여학생의 경우는 수학 점수의 변화폭이 15점이고 남학생의 점수 변화는 11점이다. 언어 점수가 좋아질 때 수학 점수가 낮아지는 현상은 대학 입시 전형에 합격하기 위해서는 한 영역의 점수가 낮은 경우에 다른 영역의 점수가 높은 학생들이 지원한 결과로 보인다.

[그림 IV-6]에서도 수학 성취도가 올라갈수록 언어 영역의 점수는 전반적으로 하락하는 것을 확인할 수 있다. 남학생의 점수 변화는 23.3이고, 여학생의 점수 변화는 9.1이다. [그림 IV-5]와 [그림 IV-6]은 언어 영역과 수학 영역 사이의 상관계수가 -2.5 로 음의 값이 나오는 이유를 부분적으로 설명해 준다. 그런데 이 사실은 본 대학과 비슷한 수준의 공과대학에서는 성립하지만 일반 대학생들에게도 적용되는 지에 대하여는 후속 연구가 필요하다는 판단이다.



[그림 IV-6] 수학 성취도에 따른 언어 영역의 점수 변화

라. 공간 시각화 능력과 언어 성취도가 수학 성취도에 미치는 영향

이 절에서는 공간 시각화 능력과 언어 성취도가 결합되었을 때 수학 성취도에 미치는 영향을 살펴본다. <표

IV-1>에서 본 것처럼 공간능력은 수학 성취도와 양의 상관관계를 가지고, 언어 능력과 수학 성취도는 음의 상관관계를 가지기 때문에 미리 예측할 수 있는 것은 공간능력이 상위권이면서 언어 능력이 하위권인 그룹의 수학 점수가 공간능력이 하위권이면서 언어 능력이 상위권인 집단에 비하여 수학 성적이 높을 것이라는 추측이다. 그런데 공간능력이 상위권(플러스 효과)이고 언어 능력이 상위권(마이너스 효과)인 집단과 공간능력이 하위권(마이너스 효과)이며 언어능력도 하위권(플러스 효과)인 집단에 대하여는 각 영역이 기여하는 바가 상쇄되어서 어떻게 나타날 지 예단하기 힘든 상황이다.

먼저 각 영역에서 상위권과 하위권을 상위 30%와 하위 30%와 평균 점수±1SD을 고려하여 결정하였다. 남학생의 경우는 공간 시각화 상위권 점수는 28점으로 선택했는데 이 점수는 백분위 순위(percent rank)로 62.6%에 해당한다. 하위권은 24점이고 이것은 24.1%에 해당한다. 언어 영역 상위권은 94점(73.5%), 하위권은 79점(30.7%)로 결정하였다. 여학생의 경우는 언어 상위권을 96점(68.9%) 기준으로 정하고, 하위권은 89점(24.3%)으로 결정하였다. 공간 시각화 상위권은 26점(68.9%) 이상으로, 공간 하위권은 21점(29%)을 기준으로 선별하였다. 이렇게 선별했을 때 각 그룹의 인원과 수학 평균 점수는 다음 <표 IV-6>과 같다.

<표 IV-6>에 의하면 성별에 관계없이 각 그룹의 수학 점수는 ① 공간 상위-언어 하위 그룹, ② 공간 하위-언어 하위 그룹, ③ 공간 상위-언어 상위 그룹, ④ 공간 하위-언어 상위 그룹의 순서인 것을 알 수 있다. 이것은 수학 성취도는 언어 영역의 점수와는 음의 상관관계가 있고, 공간 능력과는 약하지만 양의 상관관계가 있다는 사실을 반영한 것으로 판단된다. 즉 공간 능력이 동일한 집단에서는 언어 영역 점수가 낮을수록 수학 성취도가 올라가고, 언어 영역의 점수가 동일한 집단에서는 공간 시각화 점수에 따라 약간 상승하는 경향을 보인다는 사실과 부합된다. 그리고 1위 그룹과 4위 그룹의 점수 차이는 여학생은 20점, 남학생은 14점이다. 이것은 공간 시각화 능력과 언어 성취도가 결합되었을 때 수학 성취도에서 여학생에게 더 큰 영향을 준다는 Fennema & Tarte(1985)의 결과와 일부는 부합되는 사실이다. 그러나 Fennema & Tarte의 연구에서는 높은 공간시각화 능력과 낮은 언어적 능력의 남학생과 낮은 공간시각화 능력과 높은 언어적 능력의 남학생 사이에는 수학 점수에서 차이가 거의 나타나지 않았으나, 동일 기준에 따른 두 여학생 집단에서는 통계적으로 유의미하지는 않지만 남학생의 경우보다는 차이를 보였다. 본 연구에서는 높은 공간시각화 능력과 낮은 언어적 능력의 학생들의 수학 점수가 낮은 공간시각화 능력과 높은 언어적 능력보다 남녀 학생 모두에서 높았다는 점이 차이점이다. 그렇지만 이들의 연구에서는 심적 회전 능력을 측정한 본 연구와는 다른 측정 도구를 사용하였다.

<표 IV-6> 공간 능력과 언어 성취도의 결합에 따른 수학 성취도

그룹	인원(남)	인원(여)	수학평균(남)	수학평균(여)
공간 상위-언어 상위	35	12	75.6	65.5
공간 상위-언어 하위	36	15	85.9	82.4
공간 하위-언어 상위	27	17	71.4	62.4
공간 하위-언어 하위	45	15	80.4	71.9

## V. 결론

본 연구에서는 공간능력이 수학 및 언어 능력과 함께 STEM 분야에서 창의성을 발휘하고 기술혁신을 이루기 위해서 중요한 능력으로 꼽힌다는 사실을 바탕으로 다음 사항들을 연구의 주제로 선택하였다. 첫째, STEM 분야를 전공하는 공과 대학생들의 공간능력과 수학 성취도, 언어 성취도 사이에 어떤 상관관계가 존재하는가? 그리고 이 상관관계에서는 성별 차이가 존재하는가? 둘째, 공과대학에 진학한 학생들에서도 이들 영역에서는 성별

차이가 과연 존재하는가? 만일 존재한다면 어느 정도로 존재하는가? 셋째, 공간능력이 성별 내에서의 수학 성취도에 실제로 어떤 기여를 하는가? 등이다. 이것을 위하여 2015년 3월에 시행한 신입생들의 Purdue 공간 시각화 검사-회전의 시각화(PSVT-R)와 대학수학능력 시험 중 수학과 언어 영역의 백분위 점수를 사용하였다. 본 연구의 결과는 공간 시각화 능력이 공과 대학생들의 수학 성취도와 어떤 관련이 있는지를 알려줄 수 있고, 나아가서 다양한 STEM 분야에서 성공하기 위해 요구되는 능력은 분야별로 어떻게 다른지를 파악하는 데도 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 공간 시각화 검사 결과는 전공학업에서 어려움을 겪는 학생들의 경우 그 원인을 파악하는데도 도움을 줄 수도 있다.

본 연구에서는 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 공간 시각화 능력과 수학, 언어 영역의 학업 성취도 사이의 상관관계를 조사해본 결과 수학과 언어 영역 사이에는 음의 상관관계가 존재하고( $r \sim -0.29$ ), 수학과 공간 시각화 능력 사이에는 매우 약한 양의 상관관계가 존재하였다. 그리고 공간능력과 언어 성취도 사이에는 0에 가까운 상관관계가 있었다.

둘째, 영역 간의 상관관계를 성별로 조사해보았을 때 결과는 다음과 같았다. 수학과 언어 영역 사이의 상관관계는 남녀학생 모두 음의 상관관계( $r \sim -0.25$ )가 존재했고, 그 크기도 동일하였다. 반면 수학과 공간 시각화 능력 사이의 상관관계는 남학생보다는 여학생에서 0.1 정도 더 크게 나타났다. 그리고 언어와 공간능력 사이에는 상관계수가 매우 작았다. 여기서도 여학생의 경우에는 음의 상관관계가( $r \sim -0.05$ ), 남학생에서는 0에 가까운 양의 상관계수를 구하였다.

셋째, 영역별 성별 차이는 공간능력에서 가장 크게 나타나고(.8d), 그 다음이 언어 성취도(.64d), 마지막으로 수학 성취도(.46d)의 순서였다. 공간 시각화 점수 분포를 조사했을 때 남학생과 여학생 사이에는 뚜렷한 차이가 나타났다. 공간 시각화 검사에서 25 점 이상을 받은 남학생은 62% 정도이지만 이 수준에 도달한 여학생의 비율은 남학생의 절반 정도인 31%에 그쳤다. 이 비는 28점 이상인 집단에서는 더 커진다. 그리고 남학생과 여학생의 평균 점수의 차이는 3점으로(0.8d) 그 동안 외국에서 보고된 성별차이의 결과와 거의 일치한다.

넷째, 공간 시각화 점수와 수학 성취도 사이의 상관계수가 성별로 차이가 나타나는 이유를 파악하기 위하여 수학 성취도( $x$ 축)에 따라서 공간 시각화 점수를 나타내보았다. 이때는 남녀 학생 모두 공간 시각화 점수에서 변화가 크게 나타나지 않았다. 반면에 공간시각화 점수를 독립변수로 놓고 이에 따라서 수학 백분위 점수를 그래프로 나타냈을 때는 남학생과 여학생 사이에 주목할 차이점을 발견하였다. 먼저 남학생의 점수 변화는 13점이지만 여학생의 점수 변화는 이보다 1.5배 수준인 20점 이었다. 그리고 여학생의 수학 점수는 지그재그 형태이기는 하지만 전반적으로 상승세를 보였고, 공간시각화 점수가 평균 + 1SD인 지점부터는 수학 평균 점수 역시 전체 평균보다 올라갔다. 그리고 공간 시각화 능력이 29점 이상인 여학생 집단에서 남학생과의 수학 점수 차이가 가장 작았다. 공간 시각화 능력이 20점 이하인 그룹에서도 수학 성취도의 성별 차이는 존재하였다. 이상의 사실들을 종합하면 남학생에서는 공간능력이 보편적인 능력이지만, 29점 이상인 여학생이 남학생의 1/3 수준이라는 의미에서 공간능력은 여학생에게는 일종의 재능이고, 이 집단에 속한 여학생들은 수학적 문제해결의 도구로 공간능력을 사용하는 것으로 해석된다.

다섯 번째는 공간 시각화 능력과 언어 능력이 결합되어 수학 성취도에 어떤 영향을 주는지 확인하였다. 공간 시각화 점수와 언어 성취도를 각각 상위권과 하위권으로 구분하고 언어 - 공간능력의 조합을 네 그룹으로 나누어서 수학 성취도를 조사하였다. 이때 각 그룹별 수학 점수는 성별에 관계없이 공간 상위권-언어 하위권의 조합이 가장 높았고 다음이 공간 하위권 -언어 하위권 > 공간 상위권 -언어 상위권 > 공간 하위권-언어 상위권의 순서로 나타났다. 이것은 언어 능력과 수학 성취도 사이에는 음의 상관관계가, 공간 능력과 수학 성취도 사이에는 양의 상관관계가 존재하며, 전자의 절댓값이 후자보다 더 크기 때문에 나타나는 현상을 반영한 결과로 파악된다.

본 연구에서는 수학 성취도에서의 성별차이는 공간능력이 낮은 집단에서 더 크게 나타나는 현상을 관찰하였지만 그 원인을 규명하지는 못하였다. 공간 시각화 17-19 점대에서는 여학생의 언어 점수가 남학생보다 월등히 높았기 때문에, 이 집단에서는 공간능력과 언어능력이 아닌 다른 요인이 성별차이에 작용한다고 해석해야 할 것이다.

한편 본 연구는 몇 가지 한계점도 가지고 있다. 무엇보다 공간 시각화 검사가 특정지역의 공과대학 학생들을 대상으로 한 것이기 때문에 일반적인 대학생들의 경우에도 동일한 결과가 재현되는지에 대하여는 후속 연구가 필요하다. 특히 공간 시각화 중에서 회전 능력과 수학 성취도 사이의 상관관계가 예측과는 다르게 매우 작게 나온 현상은 다시 검증되어야 할 것이다. 그 외에도 언어 성취도와 수학 성취도 사이에 음의 상관관계가 존재하는 것은 본 대학의 입시 전형의 제도적 특성상 대학수학능력 시험 중에서 언어 영역과 수학 영역의 점수에서 많은 차이가 나는 학생들이 지원한 결과일 수도 있기 때문에 이 결과를 일반 대학생들로 일반화하는 것이 현재로서는 무리일 수 있다. 마지막으로 본 연구에서는 공간 시각화 능력에서 성별 차이가 나타나는 것은 확인하였지만 그 원인이 실제로 남학생과 여학생의 전략의 차이에서 오는 것인지는 규명하지 못하였다.

본 대학에서 공간시각화 검사를 시행해본 결과 이 검사의 몇 가지 장점을 확신하게 되었다. 무엇보다 수학능력 시험 점수만 활용하는 경우보다 학생들의 지도에 유용하게 사용할 수 있다는 점이다. 그리고 공간능력 검사는 STEM 분야를 전공하는 학생들이 어려움을 겪을 때 원인을 파악하기 위해서도 사용될 수 있다. 본 대학에서 현재 실시하는 공간능력 향상을 위한 시범강좌의 효과와 수학 성취도에 미치는 영향 등은 후속 연구에서 살펴보고하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- 박성선 (2013). 초등학생의 공간 시각화 능력 및 수학 성취도에 관한 연구, 한국수학교육학회 시리즈 C <초등수학 연구> **12(16)**, 303-313.
- Park, S-S.(2013). Spatial ability and mathematics achievement of elementary school students, *Journal of Korean society of mathematics education*, series C, **12(16)**, 303
- 한정혜 (2002) 논리적 사고력과 공간 시각화 능력이 수학 성취도에 미치는 영향: 인문계 고등학교 2학년을 대상으로, 이화여자 대학교 논문
- Han, J-H(2002). *The effect of ability logical thinking and the spatial visualization in the second year of high school students' achievements of mathematics*, Thesis, Ewha Women's University: Seoul.
- Akerman, P. L. (1988). Determinants of individual differences during skill acquisition: Cognitive abilities and information processing. *Journal of Experimental Psychology*, **117**, 288 -318.
- Alias, M., Black, T. R., & Gray, D. E. (2003). The relationship between spatial visualization ability and problem solving in structural design. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, **2(2)**, 273-276.
- Barratt, E. (1953). An analysis of verbal reports of spatial problems as an aid in defining spatial factors, *The Journal of Psychology*, **36**, 17-25.
- Benbow, C. P. (1988). Sex Differences in Mathematical Reasoning Ability in Intellectually Talented Pre adolescents: Their nature, effects, and possible causes, *Behavioral and Brain Sciences*, **11**, 169-232.

- Bodner, G. M., & Guay, R. B. (1997). The Purdue visualization of rotations test. *The Chemical Educator*, 2(4), 1-18.
- Casey, M. B., Nuttall, R., Pezaris, E., & Benbow, C. P. (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. *Journal of Economic Perspectives*, 24(2), 109-128.
- Fennema, E., & Tartre, L. A. (1985). The use of spatial visualization in mathematics by girls and boys. *Journal for Research in Mathematics Education*, 16(3), 184-206.
- French, J. (1965). The Relationship of Problem-Solving Styles to the Factor Composition of Tests. *Educational and Psychological Measurement*, 25, 9-28.
- Friedman, L. (1995). The Space Factor in Mathematics: Gender Differences. *Review of Educational Research*, 65(1), 22 - 50.
- Gallagher, A., Levin, J., & Cahalan, C. (2002). *Cognitive Patterns of Gender Differences on Mathematics Admissions Tests*. GRE Board Professional Report No. 96-17, Princeton, N.J.: Educational Testing Service.
- Gallagher, A. (1992). Sex Differences in Problem-Solving Strategies Used by High-Scoring Examinees on the SAT-M. The College Board Report No. 92-2, The College Board.
- Geary, D. (1999). Sex Differences in Mathematical Abilities: Commentary on the Math-Fact Retrieval Hypothesis. *Contemporary Educational Psychology*, 24, 267-274.
- Greenagel, J. (2005). *Engineering schools push stay-in-school programs*. Retrieved from [http://www.sia-online.org/pre\\_release.cfm?ID=363](http://www.sia-online.org/pre_release.cfm?ID=363)
- Hambrick, D. Z., & Meinz, E.J. (2011). Limits on the predictive power of domain-specific knowledge and experience for complex cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 20, 275 - 279.
- Halpern, D. F. (2004). A Cognitive-process taxonomy for sex differences in cognitive abilities. *Current Directions in Psychological Science*, 13(4), 135-139.
- Hedman, L., Strom, P., Andersson, P., Kjellin, A., Wredmark, T., & Fellander-Tsai, L. (2006). High-level visual-spatial ability for novices correlates with performance in a visual-spatial complex simulator task. *Surgical Endoscopy*, 20(8), 1275-1280.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(6), 435 - 448
- Kintsch, W., & Greeno, J. G. (1985). Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review*, 92(1), 109-129.
- Kroger J. K, Nystrom L. E, Cohen J. D, & Johnson-Laird P. N. (2008). Distinct neural substrates for deductive and mathematical processing. *Brain Research*, 124, 86 - 103.
- Kuhlenschmidt, S. (2006). *My mother's response to stroke*, retrieved from <http://people.wku.edu/sally.kuhlenschmidt/stroke/>
- Linn, M. C. & Peterson, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 479-498.



- Lippa, R., Collaer, M., & Peters, M. (2010). Sex differences in mental rotation and line angle judgments are positively associated with gender equality and economic development across 53 nations, *Arch Sex Behavior*, 39, 990-997.
- Lohman, D. F. (1979). Spatial Ability: A Review and reanalysis of the correlational literature, in aptitude research project, Technical report No. 8, Aptitude Research Project; School of Education, Stanford University: Palo Alto, CA.
- Lubinski, D.(2010). Spatial ability and STEM: A sleeping giant for talent identification and development, *Personality and Individual Differences*, 49(4), 344-351.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918.
- Neiderle, M., & Vesterlund, L. (2010). Explaining the gender gap in math test scores: The role of competition, *Journal of Economic Perspectives*, 24(2), 129-144.
- OECD (2014). PISA2012 Results: What students know and can do. Vol(1) PISA, Paris: OECD publishing.
- OECD (2003). Learning for tomorrow's world: First results from PISA 2003. Paris: OECD publishing..
- Pallrand, G. J., & Seeber, F. (1984). Spatial ability and achievement in introductory physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(5), 507-516.
- Robert, M; Chevrier, E (2003). Does men's advantage in mental rotation persist when real three-dimensional objects are either felt or seen?. *Memory & Cognition* 31(7), 1136 - 1145.
- Rochford, K. (1985). Spatial learning disabilities and underachievement among university anatomy students, *Medical Education*, 19, 13-26.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701 - 703.
- Smith, M. (2009). *The correlation between a pre-engineering student's spatial ability and achievement in an electronics fundamentals course*(Unpublished doctoral thesis), Utah State University, USA
- 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.
- Sorby, S. A., & Baartmans, B. J. (1996). A course for the development of 3-D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 60(1), 13-19.
- 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.
- Strong, S., & Smith, R. (2001). Spatial visualization: Fundamentals and trends in engineering graphics. *Journal of Industrial Technology*, 18(1), 2-6.
- Tai, D. W. S., Yu, C. H., Lai, L. C., & Lin, S. J. (2003). A study on the effects of spatial ability in promoting the logical thinking abilities of students with regard to programming language. *World Transactions on Engineering and Technology Education*, 2(2), 251-254.
- Tartre, L. A. (1990). Spatial orientation skill and mathematical problem solving. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(3), 216-229.
- Tolar, T. D., 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.
- Tsui, M., Vanator, E., & Xiaoying, X.(2014). Mental rotation performance of chinese male and female

- university students, *Chinese Studies*, 3, 41-46.
- Turgut, M., & Yilmaz, S. (2012). Relationships among pre-service primary mathematics teachers' gender, academic success, and spatial ability, *International Journal of Instruction*, 5(2), 5-20.
- Uttal, D., & Cohen, C. (2012). Spatial thinking and Stem education, when why, and how? *Psychology of Learning and Motivation*, 57, 147-190.
- Wai, J. Lubinski, D. & Benbow, C. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance, *Journal of educational psychology*, 101(4), 817-835.

## The Relationships among Mathematics Achievement, Spatial Ability, and Verbal Achievement for Engineering Freshmen and Gender Differences

**Kim, Yon Mi**

Hongik University

E-mail : kimym@hanmail.net

Mathematical, verbal, and spatial abilities are known as three important indicators for the success in the STEM disciplines. In this study, Purdue Spatial Visualization Test-Rotation, College Entrance Scholastic Aptitude Test- Math and Verbal score of engineering freshmen students have been used to find the relationships among these areas. In addition, gender differences in spatial visualization, verbal achievement and mathematical achievement have been investigated, too.

In this research, I found that gender difference was highest in spatial visualization ability, followed by verbal achievement and smallest in mathematical achievement. Substantial number of male students possess high level of spatial abilities, but only half of female students were at the same level where their male colleagues were.

The correlation between spatial ability and mathematical ability was negligible, contrary to former researches on elementary and middle school students. But the correlation was stronger for female students than male students. The correlation between mathematical achievement and verbal achievement was negative. It reflects the fact that when one section of SAT score is low, score of other sections should be higher to get admitted to college. Gender difference in mathematics was smallest for high achieving spatial ability group. For low spatial ability group gender difference in mathematics achievement has been observed, too.

To find the combined contribution of spatial and verbal abilities to mathematics achievement, students were divided into 4 ability groups. Mathematics achievement decreased in the order of ① high spatial -low verbal group, ② low spatial - low verbal group, ③ high spatial - high verbal group, ④ low spatial - high verbal group.

---

\* ZDM classification: C15

\* MSC 2000 classification: 97C40

\* key words: spatial visualization, STEM discipline, holistic(gestalt) vs analytic strategies, gender difference