

초등학생용 공간 시각화 검사지 개발 및 표준화

박 성 선 (춘천교육대학교)

본 연구는 초등학생용 공간시각화 검사지를 개발하고 표준화하는데 목적이 있다. 이를 위하여 총 24문항으로 구성된 초등학생용 공간시각화 검사지를 개발하였으며, 초등학생 1482명을 대상으로 검사를 실시하여 신뢰도와 타당도를 분석하였다. 분석결과는 다음과 같다. 첫째, 초등학생용 공간시각화 검사지의 문항내적일관성 신뢰도는 Cronbach's $\alpha=.794$ 로 양호한 것으로 나타났다. 둘째, 검사지의 24문항에 대한 타당도를 검증하기 위하여 확인적 요인분석을 한 결과, 검사지의 타당도가 양호한 것으로 판단되었다. 셋째, 검사지 24문항에 대한 문항난이도는 .200에서부터 .886으로 나타났으며, 평균 문항난이도는 .544인 것으로 나타났다. 이상의 연구 결과로 볼 때, 본 연구에서 개발한 초등학생용 공간시각화 검사지는 신뢰도와 타당도를 확보한 것으로 보이므로, 초등학생들의 공간시각화 능력을 측정하는데 활용할 수 있을 것이다.

I. 서론

Lohman(1994)의 정의에 따르면, 공간 능력은 잘 구조화된 시각적 이미지를 생성하고, 기억하고, 재생하고, 변환하는 능력을 말한다. 공간 능력은 기하학적 세계를 해석하고 이해하는데 필수적인 능력으로서, 공간 능력과 수학 성취도 사이에는 유의미한 상관관계가 있으며(Battista, 1990), 수학 성취도에서 개인차를 설명하는 중요한 요인으로 인정되고 있다(Wai, Lubinski & Benbow, 2009). 또한, 공간 능력은 2차원과 3차원 도형의 특징을 이해하고, 도형들 사이의 상호관계를 인식하기 위한 기반을 제공하며, 공간 능력을 바탕으로 한 시각적 표상은 여러 수학 분야에서 직관적 관점과 직관적 이해에 도움이 되기 때문에 수학 학습에 있어

서 매우 중요하다(Krutetskii, 1976; Usiskin, 1987).

Del Grande(1987)는 공간 능력 중에서 특히, 공간 지각력은 기하학을 성공적으로 학습하는데 반드시 필요한 능력이라고 하였으며, NCTM(2000)에서도 기하에 관련된 최근의 연구 결과들을 반영하여 수학교육에서 공간에 대한 이해의 중요성을 강조한 바 있다. 즉, 기하는 공간과 관련된 기호 체계를 취급하는 공간 과학이라는 측면에서, 공간 능력은 기하 학습에 있어서 일차적으로 개발해야 하는 중요한 능력이다(Freudenthal, 1973).

공간 능력은 공간 감각, 공간 지각력, 공간 시각화 등과 같이 함께 사용되고 있다. 7차 교육과정에서는 공간 능력이라는 표현 대신에 공간 감각이라는 용어를 사용하였으며, 공간 감각을 다음과 같이 설명하고 있다. “공간 감각은 자기 주위의 상황과 그 물체에 대한 직감의 일부분으로, 공간 감각을 기르기 위해서 학생들은 기하적 관계, 공간에서의 물체의 방향, 도형이나 물체의 상대적 모양에 초점을 둔 경험을 학습해야 한다”(교육인적자원부, 1997). 7차 교육과정에서 두드러진 특징 중의 하나는 도형 영역에서 공간 감각이라는 항목을 신설한 것이다. 이것은 이제까지 학교교육에서 강조되었던 Euclid의 정적인 기하에서 동적인 기하의 배양에 역점을 둔 것이라고 할 수 있다.

지능에 관한 연구에 있어서, 공간 능력은 지능(intelligence)의 한 영역으로 고려되어 왔으며 영재성의 한 분야로 그 중요성을 다음과 같이 인식해 왔다. 첫째, 공간 능력은 Gardner(1993)의 다중지능이론에 근거한 인지능력의 하나이다(Gardner, 1993; Plucker, Callahan & Tomchin, 1996; Reid, Udall, Romanoff & Algozzine, 1999). 둘째, 공간 능력은 과학, 기술, 공학 및 수학(STEM) 분야에서의 수행능력을 예측 할 수 있는 중요한 지표가 될 수 있다(Humphreys, Lubinski, & Yao, 1993; Lubinski & Benbow, 2006; Wai, Lubinski & Benbow, 2009; Webb, Lubinski &

* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2011-327-B00597).
* 접수일(2014년 8월 5일), 게재확정일(2014년 8월 26일)
* ZDM분류: G22
* MSC2000분류: 97C40
* 주제어 : 공간 시각화검사, 회전의 시각화, 공간능력, 3차원 회전능력, 확인적 요인분석

Benbow, 2007; Wheatley, 1983). 셋째, 비언어 능력인 공간 능력은 문화, 언어, 사회경제적 지위의 영향을 받지 않는 독립된 인지 능력이다(Chan, 2010; Lohman, 2005; Naglieri & Ford, 2003).

최근에 영재 교육과 관련하여 공간 능력과 STEM (과학, 기술, 공학, 및 수학) 분야에서의 성취도 및 업적과의 연관성이 강조된 연구 결과가 연이어 보고되고 있다(Lubinski & Benbow, 2006; Wai, Lubinski & Benbow, 2009; Webb, Lubinski & Benbow, 2007). 예를 들면, Lubinski와 Benbow(2006)는 1970년대부터 Stanley(1996)에 의해 존스 홉킨스 대학에서 시작된 수학영재 연구 프로그램(SYMP, Study of Mathematically Precocious Youth)에 등록된 만 12-13세 영재 학생들의 언어, 수학, 그리고 공간 능력을 측정하였으며, 이를 바탕으로 그 학생들이 성년이 된 뒤 사회생활에서의 성취도와 업적을 35년 동안 추적, 분석하였다. 연구 결과에 의하면, 12-13세 때 측정된 공간 능력이 성인이 되어 STEM 영역에 종사하는 영재들의 성취도와 업적을 예측하는데 좋은 지표가 될 수 있다는 것을 보였다. 연 이은 Lubinski와 Benbow의 연구진에 의한 연구는 공간 능력이 전통적인 잣대로 선출된 영재들뿐만 아니라 일반 학생들의 STEM 영역에서의 성취도를 예측하는데 언어와 수학보다 더 효과가 있는 잣대가 될 수 있음을 보고한 것이며, 21세기의 국가의 경쟁력을 높이기 위해 STEM 영역에 뛰어난 인재를 육성하는데 공간능력의 측정의 중요성을 강조한 것이다(Wai, Lubinski & Benbow, 2009).

이처럼 공간 능력의 중요성이 강조되면서(Gohm, Humphreys & Yao, 1998), 미래의 국가 경쟁력을 확보하기 위한 인재 육성에 초점을 맞추어, STEM 영역에서 재능을 발휘 할 수 있는 인재를 판별하기 위해 공간능력의 측정을 심각하게 고려하며 수행하고 있다(Chan, 2010; Lohman, 2005; Naglieri & Ford, 2003). 이러한 공간 능력의 중요성을 인식하여 여러 연구자들은 이를 평가하기 위한 검사 도구를 개발하여 왔다(Eliot & Smith, 1983). 그 중 공간 시각화의 하위 요인인 3차원 공간 회전 능력을 측정하기 위한 대표적인 검사 도구는 'Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization of Rotations, PSVT:R'(Guay, 1976), 최근 개정판인 'The Revised PSVT:R'(Yoon, 2011)과 Shepard & Metzler(1971)가 고안한 도형으로 구성된

'Mental Rotations Test: MRT'(Vandenberg & Kuse, 1978)와 그 개정판인 Redrawn MRT (Peters, Laeng, Lathan, Jackson, Zaiouna, & Richardson, 1995)가 있다. 이 검사도구들은 공간 시각화의 하부 요인들 중에서 3차원 회전의 시각화 능력에 초점을 두어 3차원의 도형을 머릿속으로 마음대로 원하는 방향으로 회전시킬 수 있는 인지 능력을 측정하기 위해 개발된 것으로만 13세 이상을 대상으로 하고 있다. 그 중 MRT/Redrawn MRT는 심리학과 사회과학 분야의 연구에서 많이 사용되어진 반면, PSVT:R/Revised PSVT:R은 STEM 분야에서 학생들의 학업성취도와 공간 능력과의 연관성에 대한 연구에 주로 사용되어 왔다.

이러한 공간 능력의 중요성을 반영하여 여러 검사 문항들이 개발되었으나, 이 검사 도구들은 대부분 성인이나 중등 학생을 대상으로 한 검사도구이다. 따라서 본 연구에서는 만 13세 이하 즉, 초등학생을 대상으로 한 공간 시각화 검사 중 3차원 공간 회전 능력을 측정하기 위한 검사 도구를 개발하고 표준화하고자 한다. 이를 위하여 초등학생용 공간시각화 검사지를 초등학생들에게 실시하여, 검사지의 타당도와 신뢰도를 추정하여 공간 능력을 측정하는 검사 도구로서의 타당성을 확보하고자 한다.

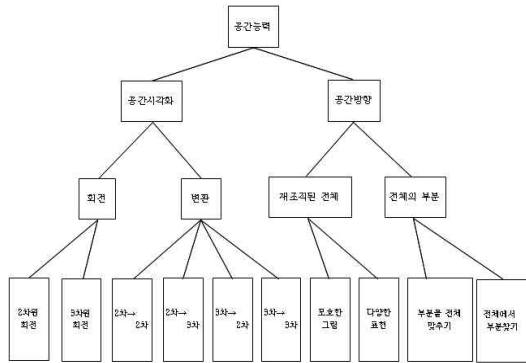
II. 공간 시각화 능력의 개념화

초등학생을 대상으로 공간 시각화 능력을 측정하기 위한 검사지를 개발하기 위하여 공간 능력을 구성하는 여러 요소들 중 하나인 공간 시각화 능력을 개념화할 필요가 있다.

공간 능력에 대한 정의를 살펴보면, McGee(1979)는 공간 능력을 '이미지로 제시된 대상을 머리 속으로 조작하거나, 회전하거나, 방향을 바꾸는 능력'으로 정의하고, 그 하위 요인으로 공간 시각화(spatial visualization)와 공간 방향화(spatial orientation)를 제시하였다. McGee(1979)의 공간 능력 구성 요소와 그 하위 요소들을 도식화 하면 [그림 1]과 같다.

한편, Lohman(1979)은 McGee(1979)의 두 가지 하위 요인에 공간 관계(spatial relation)를 추가하였다. Linn & Peterson(1985)은 공간 능력을 '주어진 공간적

정보를 머릿속으로 가시화하여 그려보는 능력'이라고 정의하고, 그 하위 요인을 공간 지각(spatial perception), 공간 회전(mental rotation), 공간 시각화(spatial visualization)의 3가지 범주로 제시하였다.



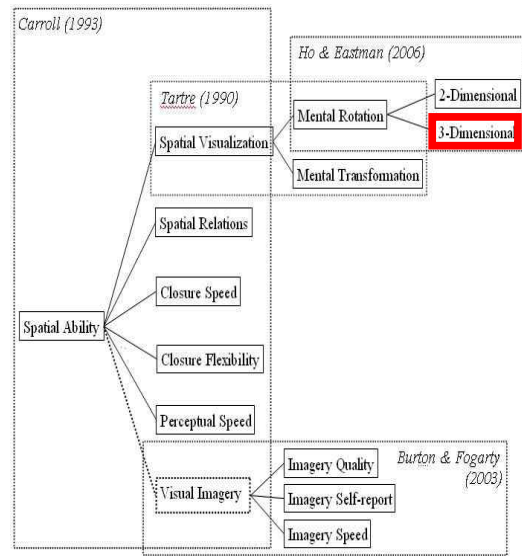
[그림 1] McGee의 공간 능력 분석틀
[Fig. 1] Spatial Ability of McGee(1979)

또한, 황정규(1984)는 공간 능력을 ‘공간 속에 있는 내적 표상을 기호화하거나 만들거나 기억하며, 이것을 다른 사물이나 공간 위치에 관계시키는 능력’이라고 정의한 바 있다. 이상의 정의를 정리하면, 공간 능력이란, ‘사람이 외부로부터 자극을 받았을 때 머리 속에서 상(image)을 형성하는 능력과 그 상을 머릿속에서 조작하는 능력으로써, 어떤 대상을 시각적으로 지각할 수 있거나 그렇지 않을 때에도 그것에 관한 이미지를 정신적으로 생성하고 회전하고 방향을 바꾸고 재배열하는 등 다양한 방법으로 조작하는 능력이라고 할 수 있다(류현아 외, 2007).

공간 능력에 대한 이상의 정의를 보면, 공간 능력에서 공통적으로 중요한 요인으로 취급되는 하위 요인이 바로 공간 시각화이다. 공간 능력의 하위 구성 요인을 공간 시각화, 공간 방향화, 공간 관계로 보았던 Lohman(1979)에 따르면, 공간 시각화는 공간적인 관계와 공간적인 방향의 두 특징을 함께 가지는 능력이라고 하였다. Fennema(1975)는 공간 시각화를 물체나 움직임에 대한 시각적 이미지이며, 물체 그 자체의 변화, 혹은 물체의 변화라고 정의하였다. 또한, Clements(1981)는 공간 시각화를 공간적 요인의 하나로서 3차원 대상들의 운동을 상상하는 능력, 시각적인

상을 마음 속으로 조작하는 능력이라고 정의하였다. Tartre(1990)와 Kersh & Cook(1979)는 공간 시각화를 회전(mental rotation)과 변화(mental transformation)의 두 가지 하위 요인으로 보고 있다.

본 연구에서 설정하고자 하는 공간시각화 능력의 개념 모형은 Carroll(1993)의 위계적 모델(hierarchical model)에 근거하고 있다([그림2]). Carroll(1993)은 공간 능력을 공간 시각화(spatial visualization), 공간 관계(spatial relations), 완결 속도(closure speed), 완결 융통성(closure flexibility), 지각 속도(perceptual speed)와 같은 5가지 하위 요소로 세분하였다. 이를 바탕으로 Burton과 Fogarty (2003)는 시각적 이미지 요소를 세 가지로 구분하였으며, Tartre (1990)는 공간 시각화를 회전(mental rotation)과 변환(mental transformation)의 두 가지 요소로 구분하였다. Tartre (1990)의 연구를 바탕으로 Ho & Eastman (2006)는 회전 능력을 2차원 회전 능력과 3차원 회전 능력으로 구분하였다.



[그림 2] 공간 능력 계층 모델(Park & Yoon, 2012)
[Fig. 2] Hierarchical Model of Spatial Ability

초기 지능이론의 역사를 통해 볼 때 회전 능력은 연구자들에 의해 다양하게 정의 되어 왔지만, 본 연구에서는 회전 능력을 3차원의 사물을 머릿속으로 마음

대로 원하는 방향으로 회전시킬 수 있는 인지 능력을 공간시각화 능력으로 개념화하였다.

III. 연구의 방법 및 절차

1. 연구 대상

본 연구에서는 서울과 강원도 지역의 초등학생을 연구 대상으로 하였다. 이를 위하여 2011년 9월 10일~2011년 10월 19일까지 유증표집을 통하여 서울에서 2개 지역교육청, 강원도에서 1개 지역교육청을 먼저 선정하였다. 서울의 2개 지역교육청별로 각 1개 초등학교를, 강원도의 지역교육청에서는 2개 초등학교를 선정하였다. 연구에 참여한 학생은 총 1505명이었으나 무응답자와 부적절한 응답자는 분석에서 제외하여 최종적으로 1482명을 연구 대상으로 하였다. 본 연구의 최종적인 연구대상을 성별, 학년별, 지역별로 정리하면, [표1]과 같다.

[표 1] 공간시각화검사의 집단별 평균 및 표준편차(N=1482)
[Table 1] Demographic Profiles of the Participants(N=1482)

구분		N
성별	남학생	779
	여학생	703
	4학년	470
학년	5학년	473
	6학년	539
	서울 A초교	322
지역	서울 B초교	378
	학교별	춘천 C초교
		춘천 D초교

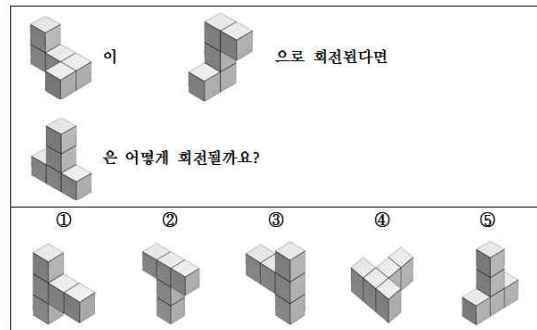
2. 검사지의 개발

(1) 검사 문항의 구성

본 연구에서는 여러 가지 공간 능력 중 3차원 회전의 공간 시각화에 초점을 맞추어 문항을 개발하였다. 또는, 회전 능력을 3차원의 사물을 머릿속으로 마음대로 원하는 방향으로 회전시킬 수 있는 인지 능력으로 정의하여 공간 시각화 능력의 측정 모형으로 설정하고자 한다. 따라서 학생들의 공간 능력을 측정하기 위하

여 공간 시각화의 개념과 모형을 설정한 후, 공간시각화 능력을 측정할 수 있는 문항을 개발하였으며 예비 검사 과정을 거쳐 수정·보완된 24문항을 최종 검사 문항으로 선정하였다.

총 24문항으로 이루어진 공간시각화 검사지에 대하여, 응답자들은 각 문항에서 주어진 도형이 보기에 제시된 방향과 똑같이 회전된 도형을 5가지 선택 중에서 찾아야 한다. 공간시각화 검사의 예시문항을 제시하면 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 공간시각화 검사지의 예시문항

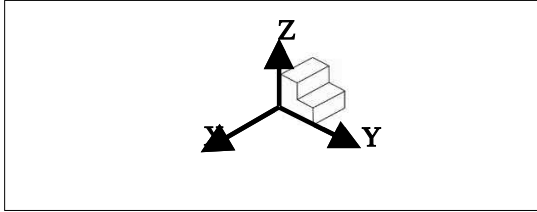
[Fig. 3] Example of the Spatial Visualization Test

(2) 검사지의 형태

초등학생용 공간시각화 검사지는 한 검사자가 동시에 여러 명의 학생들에게 검사를 실시할 수 있는 집단 검사 형식으로 개발하였다. 검사지는 5지 선택형으로 작성되었으며, 초등학생들의 주의 집중 시간을 고려하여 검사 시간을 30분으로 하였다.

(3) 검사지의 문항 특성

검사지의 문항은 3차원 공간에서 X축, Y축, Z축을 중심으로 시계 방향으로 회전각만큼 회전하는 것을 의미한다([그림 4]). 회전각, 회전축에 따라, 24문항은 두 가지 유형으로 구분된다. 유형 I: X축, Y축, Z축 중 한 축을 중심으로 시계방향으로 90°, 180°, 270° 회전(문항 1~문항12), 유형 II: X축, Y축, Z축 중 서로 다른 두 축을 중심으로 90°씩 회전, 90° 회전과 180° 회전, 180° 회전과 270° 회전(문항13~문항24).



[그림 4] 3차원 공간에서 X축, Y축, Z축을 중심으로 회전
[Fig. 4] x. y. z Axes in 3-Dimensional Space

검사지의 문항별 회전 특성(회전축, 회전각)을 요약하면 [표 4]와 같다.

[표 4] 공간시각화 검사지의 문항별 회전 특성 및 유형
[Table 4] Analysis of Rotation in the Spatial Visualization Test

회전 유형	첫 번째 회전		두 번째 회전		첫 번째 회전		두 번째 회전		
	문항	회전축	회전각	회전축	회전각	회전축	회전각	회전축	회전각
I	1	X	90°						
	2	Y	90°						
	3	Z	90°						
	4	X	180°						
	5	X	180°						
	6	Y	180°						
	7	Y	180°						
	8	Z	180°						
	9	Z	180°						
	10	X	270°						
	11	Y	270°						
	12	Z	270°						
II	13	X	90°	Y	90°	Y	90°	Z	270°
	14	X	90°	Y	180°	X	270°	Z	180°
	15	X	90°	Y	270°	Y	270°	Z	90°
	16	X	180°	Y	90°	Y	90°	Z	180°
	17	X	270°	Y	90°	Y	90°	Z	90°
	18	X	270°	Y	180°	X	90°	Z	180°
	19	X	270°	Y	270°	Y	270°	Z	270°
	20	X	90°	Z	90°				
	21	X	90°	Z	270°				
	22	X	180°	Z	90°	Y	180°	Z	270°
	23	X	180°	Z	270°	Y	180°	Z	90°
	24	X	270°	Z	270°				

3. 검사 절차 및 자료 분석

2011년 9월 10일~2011년 10월 19일까지 서울 지역에서 2개 초등학교, 강원도에서 2개 초등학교의 4학년, 5학년, 6학년을 대상으로 초등학생용 공간시각화

검사를 실시하였다. 검사는 각 학급의 담임교사가 실시하였으며, 검사시간은 30분으로 하였다.

초등학생용 공간시각화 검사에 대한 기술통계 분석을 실시하기 위하여, 평균, 표준편차, 범위 등을 구하였다. 검사지의 신뢰도를 분석하기 위하여, SPSS 17.03을 이용하여 내적일관성 신뢰도인 Cronbach's α 를 구하였다. 타당도 검사로는 같은 유형의 공간 능력 검사인 Revised PSVT:R에 대한 탐색적 요인분석의 연구 결과, 잠재변수가 1개인 것이 드러났으므로(Park & Yoon, 2011), 본 연구에서는 확인적 요인 분석만을 실시하였다. 확인적 요인분석을 위한 소프트웨어로는 변수를 처리하는데 우월성을 보이는 구조방정식 모델 프로그램인 Mplus 6 (Muthén & Muthén, 1998-2010)를 사용하였다.

IV. 결과 분석

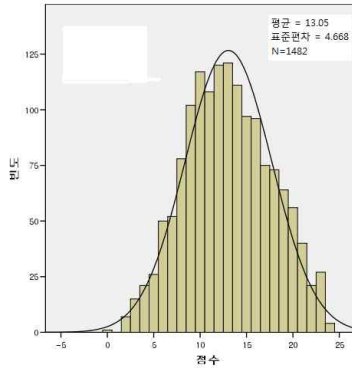
1. 검사지의 기술 통계치

[그림 5]는 연구대상자 1482명에 대한 공간시각화검사의 점수를 나타낸 히스토그램으로서, 히스토그램에 나타난 종형 곡선을 보면, 정상분포를 이루고 있음을 알 수 있다.

연구대상자 1482명에 대한 통계적 정보로는 성별, 학년별(4, 5, 6), 지역학교별로 공간시각화검사의 평균 및 표준편차([표 6])과 점수의 빈도([표 5]를 제시하였다.

연구대상자 전체의 평균은 13.05, 표준편차는 4.668이었다. 검사점수는 0점에서 24점까지로 나타났으며, 1482명 중 4명(0.3%)이 만점(24점)을 기록하였다. 만점자 성별 비율을 보면, 남학생(0.3%)이 여학생(0%)보다 높은 것으로 나타났으며, 학년별로는 5학년과 6학년에서 각각 2명씩 만점을 기록하였다. 전체 연구대상자 중 남학생(779명)의 평균은 14.23, 여학생(702명)의 평균은 11.74로 남학생이 여학생보다 더 높게 나타났다. 여학생과 남학생이 차이가 있는지를 알아보기 위하여 t-검증을 실시한 결과, ($t=10.673$, $p<.001$)로서 남학생이 여학생보다 더 우수하였다. 4학년(470명)의 평균은 11.70, 5학년(473)의 평균은 12.98, 6학년(539명)의 평균은 14.28로 고학년이 저학년보다 높게 나타났다. 학년별로 차이가 있는지를 알아보기 위하여, ANOVA 검증을 한 결과, 각 학년별로 유의미한 차이가 있는 것으로

로 나타났다($F=40.598, p<.000$).



[그림 5] 공간시각화 검사의 결과를 나타낸 히스토그램
[Fig. 5] Histogram of Spatial Visualization Test

[표 5] 공간시각화검사의 빈도
[Table 5] Frequency of Spatial Visualization Test

검사점수	빈도	퍼센트	유효%	누적%
0	1	.1	.1	.1
2	7	.5	.5	.5
3	15	1.0	1.0	1.6
4	21	1.4	1.4	3.0
5	26	1.8	1.8	4.7
6	50	3.4	3.4	8.1
7	52	3.5	3.5	11.6
8	78	5.3	5.3	16.9
9	102	6.9	6.9	23.8
10	117	7.9	7.9	31.6
11	108	7.3	7.3	38.9
12	120	8.1	8.1	47.0
13	121	8.2	8.2	55.2
14	111	7.5	7.5	62.7
15	97	6.5	6.5	69.2
16	96	6.5	6.5	75.7
17	75	5.1	5.1	80.8
18	73	4.9	4.9	85.7
19	64	4.3	4.3	90.0
20	56	3.8	3.8	93.8
21	40	2.7	2.7	96.5
22	21	1.4	1.4	97.9
23	27	1.8	1.8	99.7
24	4	.3	.3	100.0
계	1482	100.0	100.0	

[표 6] 공간시각화 검사지의 집단별 평균 및 표준편차
[Table 6] Descriptive Statistics of Spatial Visualization Test

		N	M	SD
성별	남학생	779	14.23	4.887
	여학생	702	11.74	4.029
학년	4학년	470	11.70	4.407
	5학년	473	12.98	4.588
	6학년	539	14.28	4.633
지역	서울 A초교	322	13.67	4.412
	서울 B초교	378	13.17	4.601
학교별	춘천 C초교	456	12.55	4.765
	춘천 D초교	326	12.99	4.793
전체		1482	13.05	4.668

2. 문항내적일관성 신뢰도 검증

공간시각화 검사지에 대한 문항내적일관성 신뢰도 분석을 한 결과, Cronbach's $\alpha=.794$ 로 높게 나타난 것으로 보아 공간시각화 검사지는 적절한 신뢰도를 갖추었다고 할 수 있다. [표 7]에 제시한 바와 같이, 공간시각화 검사지의 각 문항과 나머지 전체 문항의 상관관계를 나타낸 '수정된 문항-전체 상관관계(corrected item-total correlation)'는 .213에서 .482로 나타났다. 적절한 문항 적합도라고 볼 수 있는 .30보다(Field, 2009) 작게 나타난 문항은 문항 2, 3, 8, 9, 16, 21, 23, 24, 25 이었다. 그러나 각 문항을 제거했을 때의 Cronbach's α 가 거의 증가하지 않은 것으로 보아 이들 문항을 제거하지 않아도 공간시각화 검사지의 신뢰도는 적절하다고 판단된다.

[표 7] 문항내적일관성 신뢰도 분석(문항-전체)
[Table 7] Item-to-Total Internal Consistency Reliability Analysis

문항	수정된 항목-전체 상관관계	항목이 삭제된 경우 Cronbach's α
1	.365	.785
2	.272	.789
3	.213	.792
4	.482	.778
5	.381	.784
6	.303	.788
7	.322	.787
8	.263	.790
9	.278	.789
10	.465	.779
11	.453	.780
12	.342	.787
13	.368	.784
14	.344	.786
15	.351	.785
16	.238	.791
17	.316	.787
18	.342	.786
19	.396	.783
21	.280	.789
21	.382	.784
22	.242	.791
23	.251	.791
24	.282	.789

3. 확인적 요인분석을 통한 타당도 검증

초등학생용 공간시각화 검사지의 타당성을 검증하기 위하여 확인적 요인분석을 실시하였다. 분석결과, 모델의 적합도는 다음의 [표 8]과 같다.

[표 8] 공간시각화검사에 대한 모형 적합도(N=1482)

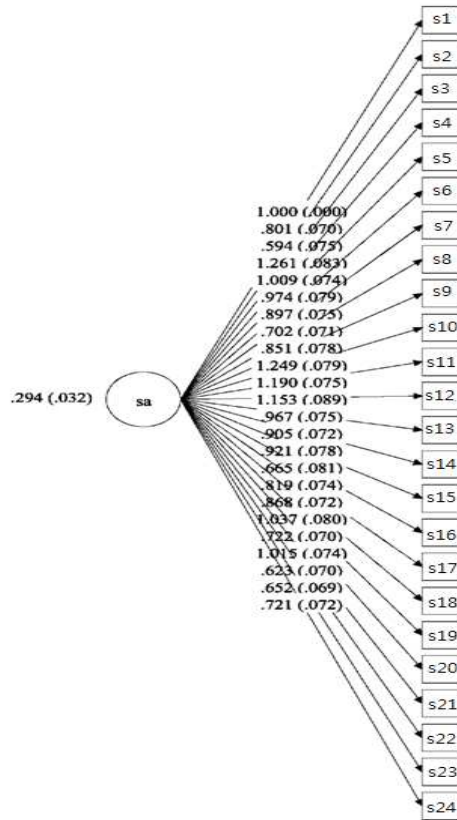
[Table 8] Goodness of Fit Model Indexes

모형	χ^2	df	RMSEA	CFI	TLI
공간시각화	611.374	252	.031	.947	.942

[표 8]에 제시한 바와 같이, 잠재변수가 1개인 것을 모델로 하였을 경우 모델의 적합도가 다음과 같이 검증되었다. 절대 적합지수(fit index)로 χ^2 (CMIN) = 611.374, df = 252, p=000과 RMSEA (root mean square error of approximation)=.031로 나타났으며, 증

분적합지수(incremental fit index)로 CFI(comparative fit index) =.947과 TLI(Tucker-Lewis index)=.942 로 나타났다. 적합지수 CMIN은 유의확률 .05에서 .05보다 작기 때문에 이 모델은 적합하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 RMSEA는 .031으로 .05보다 작기 때문에 이 모델은 적합한 것으로 나타났다. 또한 CFI=.947과 TLI=.942는 모두 .90 이상이기 때문에 이 모델은 적합한 것으로 나타났다. 따라서 이상의 결과를 볼 때, 본 연구에서 개발한 초등학생용 공간시각화 검사지는 잠재변수가 1개인 모델이 양호함하다고 볼 수 있다.

공간시각화 검사지의 문항에 대한 확인적 요인분석 모형은 [그림 6]과 같다.



[그림 6] 공간시각화검사의 문항에 대한 확인적 요인 분석 모형

[Fig.. 6] Model of Confirmative Factor Analysis

또한 확인적 요인분석을 위하여 집중타당성을 검증하였다. 집중타당성은 잠재변수를 측정하는 관측변수들의 일치성 정도를 나타낸다. 만약, 측정항목들이 구성개념을 일관성 있게 잘 측정하였다면 항목들 간에는 높은 상관관계가 있을 것이고, 이럴 경우 집중타당성이 있다고 할 수 있다(우종필, 2012). 집중타당성 검증을 위해 요인부하량과 C.R.을 살펴보았다.

[표 9]에는 요인부하량, 표준오차, C.R, 유의확률(p-value)와 같은 비표준화 모형과 표준화 모형의 결과가 제시되어 있다.

[표 9] 비표준화 모형 및 표준화 모형의 추정치
[Table 9] Unstandardized and Standardized Parameter Estimates

문항	비표준화 모형		표준화 모형			
	요인 부하량	표준 오차	요인 부하량	표준 오차	C.R	p
1	1.000	0.000	0.542	0.029	18.534	0.000
2	0.801	0.070	0.435	0.035	12.472	0.000
3	0.594	0.075	0.322	0.036	8.918	0.000
4	1.261	0.083	0.684	0.026	26.758	0.000
5	1.009	0.074	0.547	0.028	19.217	0.000
6	0.974	0.079	0.528	0.035	14.963	0.000
7	0.897	0.075	0.486	0.032	15.430	0.000
8	0.702	0.071	0.381	0.034	11.312	0.000
9	0.851	0.078	0.461	0.035	13.158	0.000
10	1.249	0.079	0.677	0.025	27.498	0.000
11	1.190	0.075	0.645	0.025	25.442	0.000
12	1.153	0.089	0.625	0.036	17.517	0.000
13	0.967	0.075	0.524	0.030	17.275	0.000
14	0.905	0.072	0.491	0.031	15.672	0.000
15	0.921	0.078	0.500	0.033	14.965	0.000
16	0.665	0.081	0.361	0.039	9.176	0.000
17	0.819	0.074	0.444	0.032	13.718	0.000
18	0.868	0.072	0.471	0.031	15.418	0.000
19	1.037	0.080	0.562	0.032	17.619	0.000
20	0.722	0.070	0.391	0.033	12.042	0.000
21	1.015	0.074	0.550	0.028	19.626	0.000
22	0.623	0.070	0.338	0.034	9.869	0.000
23	0.652	0.069	0.354	0.033	10.708	0.000
24	0.721	0.072	0.391	0.033	12.011	0.000

Note. 24 문항에 대한 요인부하량은 유의수준 $p < .05$ 에서 통계적으로 유의미함.

요인부하량은 최소 .05이상이어야 하고 .95이하이면 좋다고 볼 수 있는데, 공간시각화검사의 표준화 모형

의 결과를 보면, 24문항에 대한 모든 요인부하량은 .322(문항 3)부터 .684(문항 4)이었으며, 유의수준 $p < .05$ 에서 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다. 또한 C.R 값도 모두 1.965이상으로 나타났다. 이러한 분석결과, 요인부하량도 좋고, C.R 값도 유의미하기 때문에 공간시각화검사의 각 문항들은 집중타당성이 있는 것으로 볼 수 있다.

4. 문항의 난이도 분석

<표 10>은 문항난이도와 문항변별도를 문항의 순서, 문항난이도의 순서로 제시하였다. 가장 어려웠던 문항은 문항 16과 문항 3으로서 문항난이도(P)는 각각 .260과 .281이었다. 공간시각화검사 24문항에 대한 문항 난이도는 가장 쉬운 .886(문항 12)에서 .260(문항 15)으로 나타났으며, 24문항의 문항난이도 평균은 .540이었다. 문항변별도는 문항 점수와 검사 총점수 간의 상관계수(rpb)로 표현되며 -1.0에서 +1.0 사이의 값을 갖는다. 이 값이 +1.0에 가까울수록 변별력이 높은 문항이고, 0에 가까울수록 변별력이 떨어지는 문항이다. 일반적으로 문항변별도가 적어도 .30 이상이 되어야 좋은 문항이라고 할 수 있다. 24문항에 대한 문항 변별도는 .304(문항 3)에서 .562(문항 4) 사이로서 24문항 모두 .30 이상이므로 좋은 문항변별도를 보이는 것으로 나타났다.

회전의 복잡성 즉 유형 I(X, Y, Z축 중 한 개의 축을 중심으로 회전)과 유형 II(X, Y, Z축 중 두 개의 축을 중심으로 회전) 사이의 문항 난이도를 비교한 결과, 유형 I(문항 1~문항 12)의 평균 문항난이도는 .639이었고, 유형 II(문항 13~문항 24)의 평균 문항난이도는 .448로서 유형 I이 유형 II보다 쉬운 것으로 나타났다. 즉, 회전의 복잡성이 증가함에 따라 문항의 난이도가 증가함을 알 수 있다. 이러한 연구결과는 회전의 양이 증가함에 따라 시간이 증가한다는 Shepard & Melzler(1971)의 연구와 유사하다.

[표 10] 고전적 검사이론(CTT)에 기초한 문항 모수
 [Table 10] Item Parameters based on CTT

문항의 순서			문항난이도의 순서		
문항 난이도(P)	문항 변별 도(rpb)	문항 변별 도(rpb)	문항 난이도(P)	문항 변별 도(rpb)	문항 변별 도(rpb)
1	.699	.448	12	.886	.402
2	.761	.355	6	.845	.373
3	.281	.304	9	.812	.354
4	.462	.562	2	.761	.355
5	.576	.470	7	.707	.408
6	.845	.373	1	.699	.448
7	.707	.408	21	.681	.466
8	.416	.360	10	.667	.542
9	.812	.354	23	.596	.348
10	.667	.542	5	.576	.470
11	.565	.535	11	.565	.535
12	.886	.402	20	.519	.377
13	.443	.459	18	.516	.435
14	.399	.435	4	.462	.562
15	.341	.439	13	.443	.459
16	.260	.326	22	.430	.340
17	.407	.410	8	.416	.360
18	.516	.435	17	.407	.410
19	.374	.482	24	.406	.377
20	.519	.377	14	.399	.435
21	.681	.466	19	.374	.482
22	.430	.340	15	.341	.439
23	.596	.348	3	.281	.304
24	.406	.377	16	.260	.326

V. 결론

본 연구는 공간 능력의 공간 시각화 능력을 측정하기 위한 도구를 개발하고 타당화는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여 공간 시각화 능력 중 3차원 회전 능력을 평가하기 위한 검사로 24문항을 개발하였으며, 초등학생들을 대상으로 검사를 실시하였다. 본 연구에서 밝혀진 연구결과를 바탕으로 결론을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 초등학생용 공간시각화 검사지의 문항내적일관성 신뢰도는 Cronbach's $\alpha=.794$ 로 다른 연구들(Guay & McDaniel, 1978); 박성선, 2012, Sorby & Baartmans, 2000; Battista, Wheatley, Talsma, 1982; Branoff, 2000)보다 다소 낮았으나, 0.8정도에 근접했기

때문에 신뢰도에 문제가 없는 것으로 나타났다. 각 문항과 나머지 전체 문항의 상관관계는 .213에서 .482로 나타났다. 적절한 문항 적합도라고 볼 수 있는 .30보다 나타났다. 적절한 문항 적합도라고 볼 수 있는 .30보다 나타났다. 적절히 나타난 문항은 문항 2, 3, 8, 9, 16, 21, 23, 24, 25이었다. 그러나 각 문항을 제거했을 때의 Cronbach's α 가 거의 증가하지 않은 것으로 보아 이들 문항을 제거하지 않아도 공간시각화 검사지의 신뢰도는 적절하다고 판단된다.

둘째, 초등학생용 공간시각화 검사지의 24문항에 타당도를 검증하기 위한 확인적 요인분석을 한 결과, 검사지의 타당도가 양호한 것으로 판단되었다. 초등학생용 공간시각화 검사지를 초등학생 1482명을 대상으로 실시하여 모델의 적합도를 검증한 결과, RMSEA, CFI, TLI 지수를 고려했을 때 잠재변수가 1개인 모델이 양호한 것으로 나타났다. 또한, 확인적 요인분석을 위하여 잠재변수를 측정하는 관측변수들의 일치성을 나타내는 집중타당성을 검증한 결과, 요인부하량도 좋고, C.R 값도 유의미하기 때문에 공간시각화 검사지의 각 문항들은 집중타당성이 있는 것으로 볼 수 있다.

셋째, 초등학생용 공간시각화 검사지의 24 문항에 대한 문항난이도는 가장 어려운 .260에서부터 가장 쉬운 .886으로 나타났으며, 문항변별도는 .304에서 .562로 양적 상관관계에 있는 것으로 나타났다. 일반적으로 문항변별도가 적어도 .30 이상이 되어야 좋은 문항이라고 할 수 있는데, 24문항에 대한 문항변별도는 .304(문항 3)에서 .562(문항 4) 사이로서 24문항 모두 .30 이상이므로 좋은 문항변별도를 보이는 것으로 나타났다. 문항별 난이도와 회전 특성(각도, 방향, 회전축) 사이의 관계에서는 회전의 복잡성이 문항의 난이도에 어느 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 회전의 복잡성이 따라서 Revised PSVT:R 검사(한글판)의 문항별 난이도에 영향을 미치는 요인으로는 회전의 복잡성이 증가함에 따라 문항의 난이도가 증가함을 알 수 있다. 그러나 문항의 난이도에 미치는 회전의 복잡성 이외의 다른 요인들을 밝힐 수 있는 후속 연구가 필요하다.

넷째, 본 연구는 초등학생용 공간 시각화 검사지를 개발하고 표준화하는 것을 목적으로 하고 있다. 따라서 본 연구에서 개발하게 될 초등학생용 공간 시각화 검사는 초등학생들의 인지적 특성을 확인하여 학생들의 특성에 맞는 교육 프로그램을 개발하고 그들에게

가장 적절한 학습방법을 선택하도록 지원하는데 유용한 자료로 쓰일 것이다. 또한, 본 검사의 결과는 초등학생들의 공간 능력을 파악하는 진단적 정보를 제공할 수 있다. 공간 능력 검사 문항의 난이도, 변별력과 같은 문항 수준에 대한 정보는 학생들의 공간 능력을 파악하고 해석하는데 도움이 될 것이다. 공간 능력은 영재들뿐만 아니라 일반 학생들의 STEM 영역에서의 성취도를 예측하는데 언어와 수학보다 더 효과가 있다는 연구 결과에서 알 수 있듯이, 본 검사 결과는 공간 능력이 뛰어난 학생들을 선발하는 판별도구로 활용될 수 있을 것이다. 특히 21세기의 국가의 경쟁력을 높이기 위해 과학, 기술, 공학, 수학(STEM) 분야의 잠재적인 영재 학생을 판별하기 위한 도구로 활용할 수 있을 것이다. 더 나아가 공간 능력이 강한 아동과 그렇지 못한 아동의 특징을 파악함으로써, 공간 능력을 향상시킬 수 있는 교수-학습 방법을 개발하는데 도움이 될 것이며, 과학, 기술, 공학, 수학과 같은 영재 프로그램에서 학생들의 능력을 개발하고 향상시키는데 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 교육인적자원부 (1997). 초등학교 7차 교육과정. 서울: 대한교과서주식회사.
- Ministry of Education, Science and Technology (1997). *7th elementary school curriculum and manual IV: Mathematics, Science, Practical Course*. Seoul: Daehan Textbook.
- 류현아, 정영옥, 송상현 (2007). 입체도형에 대한 6-7학년 수학영재들의 공간시각화 능력분석. 학교수학, **9(2)**, 277-289.
- Ryue, H. A., Chong, Y. O., & Song, S. H. (2007). Analysis of the mathematically gifted 6th and 7th graders' spatial visualization ability of solid figure. *School Mathematics*, **9(2)**, 277-289.
- 박성선 (2012). 퍼듀 공간 시각화 검사-회전의 시각화(한글판)의 타당화 및 문항분석. 교원교육, **28(1)**, 143-163.
- Park, S. S. (2012). Validation of Korean version of the Revised PSVT:R. *Korean Journal of Teacher Education*, **28(1)**, 143-163.
- 우종필 (2012). 구조방정식모델 개념과 이해. 서울: 한나래출판사.
- Wu, J. P. (2012). *Structural equation modeling*. Seoul: Hannarae.
- 황정규 (1984). 인간의 지능. 서울: 민음사.
- Hwang J. G. (1984). *Intelligence of human*, Seoul: Minum.
- Battista, M. T. (1990). Spatial visualization and gender differences in high school geometry. *Journal for Research in Mathematics Education*, **21**, 47-60.
- Battista, M. T., Wheatley, G. H., & Talsma, G. (1982). The importance of spatial visualization and cognitive development for geometry learning in pre-service elementary teachers, *Journal for Research in Mathematics Education*, **13**, 332-340.
- Branoff, T. J. (2000). Spatial Visualization Measurement: A Modification of the Purdue Spatial Visualization Test - Visualization of Rotations. *Engineering Design Graphics Journal*, **64(2)**, 14-22.
- Burton, L. J., & Fogarty, G. J. (2003). The factor structure of visual imagery and spatial abilities. *Intelligence*, **31**, 289-318.
- Carroll, J. B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.
- Clements, M. A. (1981). *Spatial ability, visual imagery, and mathematical learning*. (ERIC Document Reproduction Service, NO. ED202696).
- Chan, D. W. (2010). Developing the Impossible Figures Task to assess visual-spatial talents among Chinese students: A Rasch measurement model analysis. *Gifted Child Quarterly*, **54**, 59-71.
- Del Grande, J. J. (1987). Spatial perception and primary geometry. In M. M. Lindquist & A. P. Shulte(Eds.), *Learning and teaching geometry*,

- K-12*(pp. 126-135). Reston, VA: The National Council of Teachers of Mathematics, Inc.
- Eliot, J., & Smith, I. M. (1983). *An international directory of spatial tests*. Windsor, Berkshire: NFER-Nelson.
- Fennema, E. (1975). Spatial ability, mathematics, and the sexes. In E. Fennema (Ed.), *Mathematics learning: What research says about sex differences* (pp. 33-43). Columbus, OH: ERIC Clearing house for Sciences, Mathematics, and Environmental Education.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS(3rd Ed.)*. London: SAGE Publications Ltd.
- Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an educational task*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company.
- Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Gohm, C. L., Humphreys, L. G., & Yao, G. (1998). Underachievement among spatially gifted students. *American Educational Research Journal*, **35**, 515 - 531.
- Guay, R. B. (1976). *Purdue Spatial Visualization Test*. West Lafayette, IN: Purdue Research Foundation.
- Guay, R. B., & McDaniel, E. (1978). *Correlates of performance on spatial aptitude tests*. (A final report on Grant No. DAHC 19-77-G-0019) Alexandria, VA: U. S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences.
- Ho, C.H., & Eastman, C. (2006). An investigation of 2D and 3D spatial and mathematical abilities. *Design Studies*, **27**, 505-524.
- Humphreys, L. G., Lubinski, D., & Yao, G. (1993). Utility of predicting group membership: Exemplified by the role of spatial visualization for becoming an engineer, physical scientist, or artist. *Journal of Applied Psychology*, **78**, 250 - 261.
- Kersh, M. E., & Cook, K. H. (1979). *Improving mathematics ability and attitude: A manual*. Seattle, WA : University of Washington. Mathematics Learning Institute.
- Krutetskii, V A. (1976). *The psychology of mathematical abilities in school children*. Chicago: University of Chicago Press.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, **56**, 1479-1498.
- Lohman, D. E. (1979). Spatial ability: A review and re-analysis of correlational literature. *Technical Report*, **8**, 25-27.
- Lohman, D. E. (1994). Spatial ability. In R. J. Sternberg (Ed.), *Encyclopedia of intelligence* (Vol. 2, pp. 1000-1007). New York: Macmillan.
- Lohman, D. F. (2005). The role of nonverbal ability tests in identifying academically gifted students: An aptitude perspective. *Gifted Child Quarterly*, **49**, 111-138.
- Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2006). Study of Mathematically Precocious Youth after 35 years: Uncovering antecedents for the development of math-science expertise. *Perspectives on Psychological Science*, **1**, 316-345.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental , genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, **86**, 889-918.
- Muthén, L. K., & Muthén, B. O. (1998-2010). *Mplus User's Guide*. 6th Ed. Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.
- Naglieri, J. A., & Ford, D. Y. (2003). Addressing underrepresentation of gifted minority children using the Naglieri Nonverbal Ability Test (NNAT). *Gifted Child Quarterly*, **47**, 155-160.
- NCTM (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: The National Council of Teachers of Mathematics, Inc.
- Park, S. S., Yoon, S. Y. (2012). Assessing Korean middle school students' spatial ability: The relationship with mathematics, gender, and grade.

- Research in Mathematical Education*, **16**(2), 91-106.
- Peter, M., Laeng, B., Lathan, K., Jackson, J., Zaiouna, R., & Richardson, C. (1995). A redrawn Vandenberg and Kuse Mental Rotations Test: Difference versions and factors that affect performance. *Brain and Cognition*, **28**, 39-58.
- Plucker, J. A., Callahan, C. M., Tomchin, E. M. (1996). Wherefore art thou, multiple intelligences? Alternative assessments for identifying talent in ethnically diverse and low income students. *Gifted Child Quarterly*, **40**, 81-91.
- Reid, C., Udall, A., Romanoff, B., & Algozzine, B. (1999). Comparison of traditional and problem solving assessment criteria. *Gifted Child Quarterly*, **43**, 252-264.
- Shepard, R. N., & Melzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, **171**, 701-713.
- Sorby, S. A., & Baartmans, B. J. (2000). The development and assessment of a course for enhancing the 3-D spatial visualization skills of first year engineering students. *Journal of Engineering Education*, **89**, 301-307.
- Stanley, J. C. (1996). In the beginning: The study of mathematically precocious youth. In C. P. Benbow & D. Lubinski (Eds.), *Intellectual talent* (pp. 225-235). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Tartre, L. A. (1990). Spatial skills, gender & mathematics. In E. Fennema & G. Leder (Eds.), *Mathematics and gender: Influences on teachers and students* (pp. 27-59). New York: Teachers' College Press.
- Usiskin, Z. (1987). Resolving the continuing dilemmas in school geometry. In M. M. Lindquist & A. P. Shulte (Eds.), *Learning and teaching geometry, K-12* (pp. 17-31). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Vandenberg, S. G., & Kuse, A. R. (1978). Mental rotations: A group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and Motor skills*, **47**, 599-604.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*, **101**, 817-835.
- Webb, R.M., Lubinski, D., & Benbow, C.P. (2007). Spatial ability: A neglected dimension in talent searches for intellectually precocious youth. *Journal of Educational Psychology*, **99**, 397 - 420.
- Wheatley, G. H. (1983). A mathematics curriculum for the gifted and talented. *Gifted Child Quarterly*, **27**, 77-80.
- Yoon, S. Y. (2011). *Psychometric properties of the Revised Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization of Rotations(The Revised PSVT:R)*. Unpublished Doctoral Dissertation, Purdue University.

Development and Validation of Spatial Visualization Tests for Elementary School Children

Sungsun Park

Chuncheon National University of Education, Chuncheon 200-703, Korea

E-mail : starsun@cnue.ac.kr

Spatial ability has been valued as one component of intelligence and as an talented domain. And it is associated with the achievements in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) disciplines. So, the instrument for measuring spatial ability is very important.

The purpose of this study is to develop Spatial Visualization Tests for Elementary School Children and examine internal consistency reliability evidence and construct validity evidence on confirmatory factor analysis of that instrument. For this purpose, 'The Spatial Visualization Tests for Elementary School Children was administered to 1482 Korean elementary school students.

As a result, this study show that internal consistency reliability evidence using Cronbach' alpha showed item consistency and construct validity evidence from confirmatory factor analysis in the Spatial Visualization Tests for Elementary School Children. And also, this study show ed that item difficulty and item discrimination of the Spatial Visualization Tests for Elementary School Children were within an acceptable range.

* ZDM Classification : G22

* 2000 Mathematics Subjects Classification : 97C40

* Key Words : spatial visualization test, visualization of rotations, spatial ability, 3-dimensional mental rotation, confirmatory factor analysis