

수를 표상하고 처리하는 능력은 일상생활을 영위하는데 필수적인 능력이다. 인지심리학자들에 의하면, 인간의 수 표상은 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 수가 오름차순으로 나열되는 내적 수 직선(mental number line)의 형태를 지닌다고 한다(Moyer & Landauer, 1967; Restle, 1970). 보편적으로, 왼쪽에서 오른쪽으로 글을 읽고 쓰는 사람들의 경우 작은 수일수록 왼쪽, 큰 수일수록 오른쪽 공간에 표상되는 내적 수 직선에 기반한 수-공간 연합(number-space association)을 보인다(Fias & Fischer, 2005; Hubbard, Piazza, Pinel, & Dehaene, 2005). 수와 공간의 연합을 보여주는 대표적인 예가 SNARC(Spatial-Numerical Association of Response Codes) 효과이다(Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993). SNARC 효과는 상대적으로 작은 수에 대한 반응은 왼쪽 공간에서, 큰 수에 대한 반응은 오른쪽 공간에서 이루어질 때 수행이 더 좋아지는 현상을 의미한다. 흥미롭게도 이러한 현상은 수의 크기에 대한 직접적인 판단을 요구하지 않는 과제(예를 들면, 어떤 숫자가 홀수인지 짝수인지 판단하는 과제)에서도 관찰된다(Wood, Willmes, Nuerk, & Fischer, 2008).

최근 몇몇 연구들에 의하면, 개인의 인지적 능력에 따라 수와 공간의 연합 정도에 개인차가 있다고 한다. 예를 들어, 수학 의존도가 높은 전공(물리학, 기계공학)의 학생들과 비교할 때, 수학 의존도가 낮은 인문학 전공자들의 SNARC 효과가 더 컸다(Cipora et al., 2016; Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993; Fischer & Rottmann, 2005). 이와 유사하게, Hoffmann과 동료들(2014)은 수학 실력을 기준으로 집단을 나누어 홀수, 짝수 판단 과제에서의 SNARC 효과 차이를 검증하였는데, 수학 실력이 가장

우수한 집단에서 가장 약한 SNARC 효과가 관찰되었다(Hoffmann, Mussolin, Martin, & Schiltz, 2014). 또, Viarouge와 동료들(2014)이 숫자 크기 판단 및 시공간적 능력과 SNARC 효과 간의 관련성을 조사한 결과, 숫자 크기를 효율적으로 잘 판단하는 사람일수록 SNARC 효과의 크기가 작았고, 심적 회전(mental rotation) 능력이 우수한 사람일수록 SNARC 효과의 크기가 작았다(Viarouge, Hubbard, & McCandliss, 2014).

본 연구는 이러한 선행 연구 결과들을 보다 정밀한 방법론을 이용하여 보완, 확장하고자 하였다. 첫째, 본 연구는 수 인지 능력이 우수할수록 SNARC 효과가 작게 나타나는 현상의 일반화 가능성(generalizability)을 검증하기 위하여 수 인지의 가장 기초적인 능력으로 보고된 수량 변별의 민감도가 높은 집단에서 SNARC 효과가 작게 나타나는지를 검증하였다. 선행 연구에서는 수학 성취를 기준으로 집단을 나누어 집단 간 SNARC 효과의 차이를 검증하였는데, 이러한 차이가 더 근본적인 수 인지 능력의 차이에 기인할 가능성이 있다. 수량 변별 민감도는 수 개념의 학습과 수학 성취의 근간이 되는 기초 수 인지 능력으로 보고되고 있다(Libertus, Odic, & Halberda, 2012). 본 연구에서는 홀수, 짝수 판단 과제를 사용한 선행 연구와 달리 수량 변별 민감도를 측정할 때 사용하는 수량 비교 과제의 수행을 이용하여 SNARC 효과의 크기를 측정하였다. 수량 비교 과제는 제시된 두 개의 점 집합 중에서 점의 수량이 더 많은 집합을 선택하는 과제인데, 피험자가 순수하게 수량 정보에 기반한 수행을 할 수 있도록 수량 이외의 시각적 속성(예를 들어, 점의 총면적, 평균 크기 등)의 영향을 통제하였다(Gebuis & Reynvoet, 2012;

Gilmore, Cragg, Hogan, & Inglis, 2016). 둘째, 심적 회전은 시공간 작업 기억 내에서 이루어지는 인지 과정의 하나이므로, 선행 연구에서 심적 회전을 잘할수록 SNARC 효과가 작게 나타난 현상이 근본적으로 시공간 작업 기억에 의한 효과일 가능성을 검증하기 위하여, 시공간적 작업 기억이 우수한 집단에서 SNARC 효과의 크기가 작을 것이라는 가설을 검증하였다. 점 집합을 이용한 수량 비교 과제의 수행은 시공간적 작업기억에 의존할 뿐 아니라 수량 이외의 시각적 속성의 영향을 억제(inhibit)하는 집행 기능(executive function)을 필요로 한다(Clayton & Gilmore, 2015). 따라서, 수량 비교 과제 수행 시 수량 이외의 시각적 속성의 영향으로 인한 인지적 부하(cognitive load)의 집단 간 차이가 SNARC 효과의 크기 차이를 야기할 가능성을 고려하여(Herrera, Macizo, & Semenza, 2008), 시행 별로 시각적 속성의 영향을 통제할 수 있는 분석 방법을 사용하였다. 구체적으로 수량 비교 과제의 각 시행마다 점 집합 간의 수량뿐 아니라 시각적 속성들의 비율(예를 들어, 평균 점 크기 비율, 평균 점 간격 비율 등)을 공변인으로 사용하여, 시행 별 수행에 대한 집단 간 차이 분석을 실시하였다. 또한, 최근 연구들은 SNARC 효과와 작업기억 간의 관련성을 보고하고 있는데(van Dijck & Fias, 2011), SNARC 효과의 크기가 조절되는 요인이 특히 시공간적 작업기억의 개인차임을 확인하기 위하여 언어적 작업기억 점수로 집단을 나누어 동일한 분석을 실시하여 그 결과를 비교하였다. 언어적 작업기억 고집단과 저집단 간에는 SNARC 효과의 크기 차이가 없을 것으로 예상하였다.

방 법

참가자 본 연구는 대학생 42명(여성: 33명; 평균 연령: 20.8세, 표준편차: 1.9)을 대상으로 하였다. 모든 참가자들은 한국어를 모국어로 사용하는 정상 시력의 소유자로 연구 참여에 앞서 실험 절차에 대한 충분한 설명을 듣고 동의서에 서명하였다. 연구 종료 이후 실험의 목적에 대한 간단한 안내를 받고 사례비가 지급되었다.

검사, 과제 및 절차

수량 비교(Numerosity comparison) 과제. 수량 비교 과제에서는 두 개의 점 집합이 화면의 중앙을 기준으로 왼쪽과 오른쪽에 동시에 1000ms 동안 제시되었다. 점 집합 자극은 MATLAB 코드를 사용하여 점의 수량뿐 아니라 점의 평균 크기, 밀도, 총면적, 최 외곽 점을 이은 도형의 넓이(convex hull) 등 시각적 속성을 지정하여 제작하였다(Gebuis & Reynvoet, 2012; Gilmore, Cragg, Hogan & Inglis, 2016). 각 집합에서 점의 수량은 12-40개였으며, 두 집합 간 수량 비율은 3:4, 4:5, 5:6, 6:7, 7:8, 8:9였다(보편적으로, 수량뿐 아니라 모든 물리적 속성의 비교 시에는 베버의 법칙¹⁾에 따라 두 속성 간의 비율이 1에 가까울수록 변별이 어려워진다. 따라서 비교 과제의 난이도는 자극 간 비율로 조절된다). 시행 수는 각 비율 당 40개씩 총 240개였다. 피험자들은 두 점 집합 중 점

1) 자극 변별 시, 두 자극 간 차이의 비율이 1에 가까울수록 변별이 어려워지는 현상을 베버의 법칙이라 한다. 예를 들어, 1kg과 2kg의 차이(1:2)가 1kg과 3kg의 차이(1:3)보다 상대적으로 변별하기 어렵다.

의 수량이 더 많은 집합이 왼쪽에 제시되었으면 왼손으로 3번, 오른쪽에 제시되었으면 오른손으로 8번 키를 누르도록 지시받았다. 더 큰 수량이 오른쪽에 나타나는 시행(이하, SNARC 일치 조건)과 더 큰 수량이 왼쪽에 나타나는 시행(이하, SNARC 불일치 조건)에서 정확도(ACC)와 반응시간(RT)을 비교하여 SNARC 효과의 크기를 측정하였다. SNARC 불일치 조건과 비교하여 SNARC 일치 시행에서 ACC가 더 높거나, RT가 더 작을수록, SNARC 효과가 크다고 할 수 있다. 또한 수량 비교 과제의 ACC를 이용하여 각 개인 별로 베버비율(w)²을 계산하여 수량 변별 민감도를 측정하였다(Pica, Lemer, Izard, & Dehaene, 2004). w 은 개인이 변별 가능한 두 물리적 속성 간의 최소 비율로서, w 이 낮을수록 변별 민감도가 높음을 의미한다. 첫번째 가설의 검증을 위해, w 로 측정된 수량 변별 민감도를 기준으로 집단을 반으로 나누어 집단 간 SNARC 효과의 차이를 검증하였다. 수량 변별 민감도 고집단(w 가 작은 집단)보다 저집단(w 가 큰 집단)에서 SNARC 효과가 더 클 것으로 예상하였다.

회전 폭(Rotation span) 과제. 시공간적 작업 기억을 측정하기 위해 Foster와 동료들(2015)의 복합 폭(Complex span) 과제 중 회전 폭 과제를 보완하여 실시하였다(Foster et al., 2015). 본 과

제는 이중 과제 형식(dual-task paradigm)으로 구성되어, 8가지 방향과 2가지 길이로 제시되는 일련의 화살표를 순서대로 기억하는 주 과제와 기울어진 글자를 보고 좌우가 뒤바뀐 거울 이미지인지 아닌지를 판단하는 보조 과제가 동시에 시행되었다. 각 시행에서는 보조 과제를 한번 실시한 후 주 과제의 자극인 화살표가 제시되는 과정이 몇 번 반복된 다음, 주 과제의 응답 화면이 나오면 피험자들은 제시되었던 화살표들을 순서대로 재인하였다. 피험자들이 기억해야 할 화살표의 개수는 2-5개였으며, 총 8문항으로 구성되었다. 피험자들이 바르게 기억한 화살표의 총 개수를 피험자의 시공간적 작업기억 점수로 사용하였다. 두번째 가설의 검증을 위해, 시공간적 작업 기억을 기준으로 집단을 반으로 나누어 SNARC 효과의 차이를 분석하였다. 시공간적 작업 기억 고집단보다 저집단에서 SNARC 효과가 더 클 것으로 예상하였다.

숫자 폭(Digit span) 과제. 언어적 작업 기억을 측정하기 위해 웨슬러 지능 검사(K-WAIS-IV, Wechsler, 2008)의 숫자 폭 과제를 실시하였다. 본 과제는 청각적으로 제시되는 일련의 숫자들(e.g., “5”, “8”, “2”)을 듣고 피험자가 그대로 따라 말하는 ‘바로 따라하기’와 역순으로 따라 말하는 ‘거꾸로 따라하기’ 과제로 구성되었다. ‘바로 따라하기’와 ‘거꾸로 따라하기’는 각각 16문항으로, 뒤로 갈수록 숫자의 개수가 증가하였으며, 바르게 응답한 문항의 수를 언어적 작업기억 점수로 사용하였다. 두번째 가설의 검증을 위해, 언어적 작업 기억을 기준으로 집단을 반으로 나누어 SNARC 효과의 차이를 검증하였다. 언어적 작업 기억

2) w 계산 수식은 다음과 같으며

$$p(\text{Choose Right}) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{(r_{num} - 1)}{\sqrt{2} w \sqrt{r_{num}^2 + 1}} \right) \right],$$
 p 는 오른쪽 점 집합을 선택할 확률, erf는 가우스 오차함수로서 두 점 집합의 수량에 대한 내적 표상이 겹치는 정도를 나타내며, r_{num} 는 두 점 집합 간의 수량 비율을 의미한다.

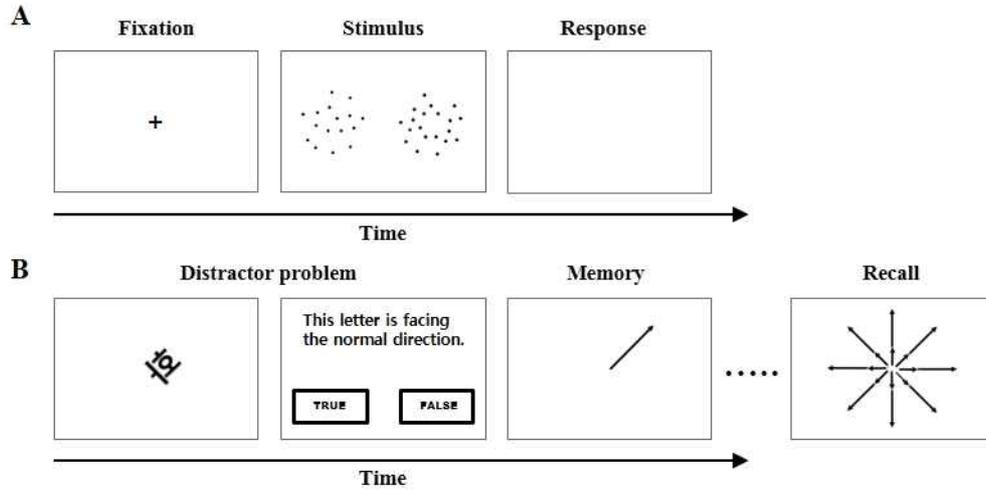


Figure 1. Task procedure for Numerosity comparison(A) and Rotation span(B) tasks.

고집단과 저집단 간에 SNARC 효과의 차이가 없을 것으로 예상하였다.

결 과

기술통계 수량 비교 과제에서 평균 ACC는 .75($SD=.06$), RT는 1149(293)ms였다. 수량 변별 민감도 고집단의 w 은 .15(.02), 저집단의 w 은 .24(.08)로 집단 간에 유의미한 차이가 있었다($t(21.48)= 5.12, p < .001$). 시공간적 작업기억 고집단의 점수는 25.29(1.31), 저집단의 점수는 19.81(2.36)로 집단 간에 유의미한 차이가 있었으며($t(31.26)= 9.30, p < .001$), 언어적 작업기억 고집단의 점수는 27.90(1.95), 저집단의 점수는 22.48(2.56)로 역시 집단 간에 유의미한 차이가 있었다($t(40)= 7.73, p < .001$).

가설 1: 수량 변별 민감도 고저 집단 간 SNARC 효과 차이 검증

SNARC 일치 여부(SNARC 일치, SNARC 불

일치)에 따른 ACC를 피험자 내 변인으로, 수량 변별 민감도 집단(고집단, 저집단)을 피험자 간 변인으로, 언어적 작업기억 점수와 시공간적 작업기억 점수를 공변인으로 설정하여 2 X 2 반복 측정 분산 분석을 실시하였다. 분석 결과, 상호작용 효과($F(1, 38)= 7.42, p = .01$)와 SNARC 일치 여부의 주효과($F(1, 38)= 6.66, p < .02$)가 모두 유의미하였다. 사후 분석 결과, 수량 변별 민감도 저집단에서만 SNARC 일치 조건에서의 ACC가 유의미하게 높았다(저집단 ACC: $t(20)= 2.72, p = .01$; 고집단 ACC: $t(20)= .28, p = .78$). RT를 이용한 동일한 분석에서는 유의미한 결과가 없었다($ps > .1$).

가설 2: 시공간적, 언어적 작업기억 고저 집단 간 SNARC 효과 차이 검증

수량 비교 과제의 전체 시행은 240개로 SNARC 일치 조건 120개, SNARC 불일치 조건 120개로 나눌 수 있다. 각 시행의 SNARC 일치 여부를 독립변인으로, 각 시행에서 고집단

의 정확도와 저집단의 정확도를 종속변인으로, 각 시행의 수량 비율과 평균 점 크기 비율, 평균 점 간격 비율을 공변인으로 사용하여 다변량 공분산 분석(MANCOVA)을 실시하였다. 분석 결과, 시공간적 작업기억 저집단(ACC: $F(1, 235) = 24.86, p < .001$; RT: $F(1, 235) = 20.51, p < .001$)에서만 SNARC 일치 여부에 따른 ACC와 RT의 차이가 각기 유의미하였다(고집단 ACC: $F(1, 235) = .29, p = .59$; 고집단 RT: $F(1, 235) = .81, p = .37$). 반면, 언어적 작업기억 점수를 이용한 동일한 분석에서는 저집단(ACC: $F(1, 235) = 5.42, p = .02$; RT: $F(1, 235) = 5.92, p = .02$)과 고집단(ACC: $F(1, 235) = 4.03, p < .05$; RT: $F(1, 235) = 6.45, p = .01$) 모두에서 SNARC 일치 여부에 따른 유의미한 수행 차이가 나타났다. 다시 말해, 언어적 작업기억으로 집단을 나누었을 때에는 고집단, 저집단 모두에서 동일한 크기의 SNARC 효과가 관찰되었다. 또한, 추가적으로 상관분석을 실시한 결과, 피험자의 시공간적 작업기억 점수가 높을수록 SNARC 효과 크기(SNARC 일치 조건의 ACC - SNARC 불일치 조건의 ACC)가 작아졌다($r = -0.42, p < .01$). 피험자의 언어적 작업기억 점

수와 SNARC 효과 크기 간의 상관은 유의하지 않았다($r = -0.21, p = .18$).

논 의

본 연구는 수량 변별 민감도로 측정된 기초 수 인지 능력과 시공간 작업기억이 우수할수록 SNARC 효과가 작게 나타나는지를 검증하였다. 연구 결과, 수량 변별 민감도가 낮은 집단에서만 ACC에서 SNARC 효과가 나타났다. 이는 선행 연구에서 관찰된 수학 성취도와 SNARC 효과 간의 관련성이 더 근본적인 수량 정보처리 능력과 SNARC 효과 간의 관련성에서 비롯될 가능성을 시사한다(Hoffmann, Mussolin, Martin, & Schiltz, 2014). 둘째, 시공간적 작업기억이 낮은 집단에서만 ACC와 RT에서 SNARC 효과가 관찰되었다. 이는 심적 회전 능력이 저조한 집단에서 SNARC 효과가 더 크게 관찰된 선행 연구 결과와 일치한다(Viarouge, Hubbard, & McCandliss, 2014). 또한, 언어적 작업기억의 우수성에 따른 집단 간 SNARC 효과의 차이가 관찰되지 않은 것은 시공간적 작업기억이 선택적으로 수와 공간의

Table 1. Behavioral performance of Low vs. High working memory (WM) groups on SNARC congruent vs. SNARC incongruent conditions of the Numerosity Comparison task.

Grouping criterion		Low WM group		High WM group	
		SNARC Incongruent	SNARC congruent	SNARC Incongruent	SNARC congruent
Visuospatial WM	ACC	.71 (.18)	.79 (.18)	.76 (.17)	.75 (.18)
	RT	1171 (132)	1109 (85)	1191 (84)	1201 (106)
Verbal WM	ACC	.72 (.19)	.76 (.19)	.75 (.17)	.78 (.17)
	RT	1108 (112)	1078 (90)	1255 (93)	1226 (97)

Numbers inside parentheses denote standard deviations.

연합에 영향을 미친다는 것을 보여준다. 이러한 결과는 선행 연구에서 관찰된 심적 회전 능력과 SNARC 효과 간의 관련성이 더 근본적으로 시공간적 작업기억과 SNARC 효과 간의 관련성에서 비롯될 가능성을 시사한다 (Viarouge, Hubbard, & McCandliss, 2014).

종합하면, 본 연구에서 수량 정보처리 능력과 시공간적 작업기억이 우수한 사람들에게서 SNARC 효과가 작게 나타나는 것은, 수와 공간 간의 연합이 더 유연하고 유동적임을 의미하는 결과로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 수와 공간의 연합이 초기 연구들에 의해 알려진 것보다 강하거나 보편적이지 않으며 개인의 특성에 의해 달라질 수 있음을 의미한다. 실제로, 수-공간 연합의 강도나 패턴은 과제 내에서 제시되는 수의 범위에 따라 달라질 수 있으며(Ben Nathan, Shaki, Salti, & Algom, 2009; Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993), 오른쪽에서 왼쪽으로 글을 읽고 쓰는 문화권에서는 역전된(reverse) SNARC 효과가 나타나는 등(Dehaene, Bossini, & Giraux, 1993; Göbel, Shaki, & Fischer, 2011; Zebian, 2005), 수의 범위나 맥락에 따라 수-공간의 연합이 영향을 받는 것이 관찰되었다. 본 연구의 결과는 수학적 능력이나 시공간 작업기억이 우수한 사람일수록, 수-공간 연합이 유연하여 SNARC 효과가 작게 나타나는 것으로 이해할 수 있다. 이러한 SNARC 효과의 유연성은 과제 수행 중, 수와 공간 정보가 시공간적 작업기억 내에서 유동적으로 표상될 가능성을 시사한다(Herrera, Macizo, & Semenza, 2008).

References

- Ben Nathan, M., Shaki, S., Salti, M., & Algom, D. (2009). Numbers and space: Associations and dissociations. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*, 578-582.
- Cipora, K., Hohol, M., Nuerk, H. C., Willmes, K., Brożek, B., Kucharzyk, B., & Nęcka, E. (2016). Professional mathematicians differ from controls in their spatial-numerical associations. *Psychological Research*, *80*, 710-726.
- Clayton, S., & Gilmore, C. (2015). Inhibition in dot comparison tasks. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, *47*, 759-770.
- Dehaene, S., Bossini, S., & Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, *122*, 371-396.
- Fias, M. H., & Fischer, M. H. (2005). Spatial representation of number. In J. I. D. Campbell (Ed.), *Handbook of mathematical cognition* (pp. 43-54). Psychology Press.
- Fischer, M. H., & Rottmann, J. (2005). Do negative numbers have a place on the mental number line. *Psychology Science*, *47*, 22-32.
- Foster, J. L., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2015). Shortened complex span tasks can reliably measure working memory capacity. *Memory & Cognition*, *43*, 226-236.
- Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2012). The interplay between nonsymbolic number and its continuous visual properties. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*, 642-648.

- Gilmore, C., Cragg, L., Hogan, G., & Inglis, M. (2016). Congruency effects in dot comparison tasks: convex hull is more important than dot area. *Journal of Cognitive Psychology, 28*, 923-931.
- Göbel, S. M., Shaki, S., & Fischer, M. H. (2011). The cultural number line: a review of cultural and linguistic influences on the development of number processing. *Journal of Cross-Cultural Psychology, 42*, 543-565.
- Gunderson, E. A., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: the role of the linear number line. *Developmental Psychology, 48*, 1229.
- Herrera, A., Macizo, P., & Semenza, C. (2008). The role of working memory in the association between number magnitude and space. *Acta Psychologica, 128*, 225-237.
- Hoffmann, D., Mussolin, C., Martin, R., & Schiltz, C. (2014). The impact of mathematical proficiency on the number-space association. *PLoS ONE, 9*, e85048.
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., & Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Reviews Neuroscience, 6*, 435-448.
- Libertus, M. E., Odic, D., & Halberda, J. (2012). Intuitive sense of number correlates with math scores on college-entrance examination. *Acta Psychologica, 141*, 373-379.
- Moyer, R. S., & Landauer, T. K. (1967). Time required for judgements of numerical inequality. *Nature, 215*, 1519-1520.
- Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science, 306*, 499-503.
- Restle, F. (1970). Speed of adding and comparing numbers. *Journal of Experimental Psychology, 83*, 274-278.
- van Dijck, J. P., & Fias, W. (2011). A working memory account for spatial-numerical associations. *Cognition, 119*, 114-119.
- Viarouge, A., Hubbard, E. M., & McCandliss, B. D. (2014). The cognitive mechanisms of the SNARC effect: an individual differences approach. *PLoS ONE, 9*, e95756.
- Wood, G., Willmes, K., Nuerk, H. C., & Fischer, M. H. (2008). On the cognitive link between space and number: A meta-analysis of the SNARC effect. *Psychology Science Quarterly, 50*, 489-525.
- Zebian, S. (2005). Linkages between number concepts, spatial thinking, and directionality of writing: The SNARC effect and the reverse SNARC effect in English and Arabic monoliterates, biliterates, and illiterate Arabic speakers. *Journal of Cognition and Culture, 5*, 165-190.

1 차원고접수 : 2017. 06. 20
 수정원고접수 : 2017. 07. 24
 최종게재결정 : 2017. 07. 26