

## 공간 및 언어 과제 수행 시 소뇌의 편측화에 관한 뇌 기능 연구\*

An fMRI study on the cerebellar lateralization during visuospatial and verbal tasks

정순철\*\* · 손진훈\*\*\* · 최미현\*\* · 이수정\*\* · 양재웅\*\* · 이범이\*\*\*\*†

Soon-Cheol Chung\*\* · Jin-Hun Sohn\*\*\* · Mi-Hyun Choi\*\* · Su-Jeong Lee\*\* · Jae-Woong Yang\*\* · Beob-Yi Lee\*\*\*\*†

건국대학교 의학공학부 의공학실용기술연구소\*\*

Department of Biomedical Engineering, Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University\*\*

충남대학교 심리학과\*\*\*

Department of Psychology, Chungnam National University\*\*\*

건국대학교 의학전문대학원 해부학교실\*\*\*\*

Department of Anatomy, School of Medicine, Konkuk University\*\*\*\*

### Abstract

The purposes of the study were to examine cerebellar areas and lateralization responsible for visuospatial and verbal tasks using functional Magnetic Resonance Imaging(fMRI). Eight healthy male college students( $21.5 \pm 2.3$  years) and eight male college students( $23.3 \pm 0.5$  years) participated in this fMRI study of visuospatial and verbal tasks, respectively. Functional brain images were taken from 3T MRI using the single-shot EPI method. All functional images were aligned with anatomical images using affine transformation routines built into SPM99. The experiment consisted of four blocks. Each block included a control task(1 minute) and a cognitive task(1 minute). A run was 8 minutes long. Using the subtraction procedure, activated areas in the cerebellum during the visuospatial and verbal tasks were color-coded by t-score. A cerebellar lateralization index was calculated for both cognition tasks using number of activated voxels. The activated cerebellar regions during the both cognition tasks of this study agree with previous results. Since the number of activated voxels of the left and right cerebellar hemisphere was almost same, there was no cerebellar lateralization for both cognition tasks.

**Keywords** : cerebellar lateralization, visuospatial and verbal tasks, fMRI

### 요약

본 연구에서는 공간 및 언어 과제를 수행하게 하면서 뇌 기능 영상을 획득하여, 각 인지 과제 수행에 따른 소뇌 활성화 영역을 알아보고, 소뇌 편측화의 차이를 규명하고자 한다. 8명의 오른손잡이 남자 대학생(평균  $21.5 \pm 2.3$ 세)과 8명의 오른손잡이 남자 대학생(평균  $23.3 \pm 0.5$ 세)이 각각 공간 및 언어 과제 실험에 참여하였다. 3T MRI 에서 single-shot EPI 기법을 이용하여 뇌 기능 영상을 획득하였다. 뇌 기능 영상 데이터는 SPM-99 S/W 를 사용하여 분석하였다. 실험은 네 개의 블록으로 구성되며, 각 블록은 통제과제(1분), 인지 과제(1분)을 포함하며, 한 실험당 소요시간은 블록당 2분씩, 총 8분이었다. 감산법을 이용하여 공간 및 언어 과제에 대한

\* 이 논문은 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

† 교신저자 : 이범이 (건국대학교 의학전문대학원 해부학교실)

E-mail : beobyi.lee@kku.ac.kr

TEL : 02-2030-7814

소뇌 활성화 영역을 알아보았고, 소뇌의 활성화 voxel 수를 이용하여 소뇌의 편측화 지수를 계산하였다. 두 인지 과제 수행 시 활성화된 소뇌 영역은 선행 연구와 비교하여 유사한 영역이었다. 두 인지 과제 모두 좌, 우 소뇌 반구의 활성화 voxel 수가 비슷하여 소뇌 기능의 편측화가 나타나지 않았다.

**주제어 :** 소뇌 편측화, 공간과제, 언어과제, 뇌 기능 영상

## 1. 서론

현재 공간, 언어, 기억, 학습, 추리 등의 다양한 인간의 고차 인지 처리 과정과 원리를 밝히기 위해 뇌 기능 영상 기법(functional Magnetic Resonance Imaging: fMRI)이 많이 활용되고 있다. 또한 뇌 기능 영상 기법을 이용하여 과제 종류에 따른 뇌 활성화의 변화 및 두 반구의 편측화 변화 등에 관한 연구가 다수 수행되어 오고 있다.

다양한 유형의 공간 과제 수행 시 대뇌의 후두엽, 전두엽, 두정엽 등이 활성화 되고, 특히 두정엽 부분이 중요한 역할을 수행한다는 사실은 잘 알려져 있다.<sup>1)2)3)4)5)</sup> 언어 추리, 언어 개념 및 내적 언어 생성을 포함하는 연구에서 Broca 영역을 포함하는 전두엽 부분, Wernicke 영역이 포함된 두정엽과 측두엽 영역이 언어와 관련한 중요한 부분으로 보고되고 있다.<sup>6)7)8)9)</sup>

대뇌 편측화(cerebrum lateralization), 대뇌 기능의 비대칭성(functional asymmetry), 반구 우세성(hemispheric dominance), 인지 기능의 편측화(lateralization of cognitive functions)에 대한 비슷한 연구가 현재 다양하게 수행되고 있다. 일반적으로 오른손잡이의 경우 언어 중추는 대뇌의 좌반구라는 것이 밝혀졌고, 대뇌의 우반구는 복잡한 시각 또는 공간 정보 처리를 담당한다고 알려져 있다.<sup>10)</sup>

소뇌도 대뇌와 마찬가지로 공간, 언어, 기억, 정보 처리 등의 다양한 인지 수행과 밀접한 관계가 있다는 사실이 밝혀졌다. 소뇌는 공간 시각의 인지 과정에 관여한다는 보고가 있었고, 소뇌의 뒤 네모소엽(Hemisphere Lobule VI)과 위, 아래 반달소엽(Hemisphere Lobule Crus I, II) 영역이 후두엽과 가까이 있어 안구 운동에 따른 활성화가 나타난다는 보고가 있었다.<sup>11)</sup> 실제로 기하학적 도형을 보고 있을 때와 그것을 따라 그릴 때 소뇌의 전체 영역에서 활성화가 발생하였는데 뒤 네모소엽(Hemisphere Lobule VI)과 위, 아래 반달 소엽(Hemisphere Lobule Crus I, II)에서 활성화가 가장 크게 나타났다.<sup>12)</sup> 또한 색과 시각적 차이를 구분

- 1) Gur, R.C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C.L., Maldjian, J.A., Turetsky, B.I., Detre, J.A., Gee, J., & Gur, R.F. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task, *Brain and Language*, 74, 157-170.
- 2) Fink, G.R., Marshall, J.C., Weiss, P.H., & Zilles, K. (2001). The neural basis of vertical and horizontal line bisection judgments: An fMRI study of normal volunteers, *NeuroImage*, 14(1), 59-67.
- 3) Ng, V.W., Bullmore, E.T., Zubicaray, G.I., Cooper, A., Suckling, J., & Williams, S.C. (2001). Identifying rate-limiting nodes in large-scale cortical networks for visuospatial processing: An illustration using fMRI, *Cognitive Neuroscience*, 13(4), 537-545.
- 4) Chung, S.C., Tack, G.R., Lee, B., Eom, G.M., Lee, S.Y., & Sohn, J.H. (2004). The effect of 30% oxygen on visuospatial performance and brain activation: An fMRI study, *Brain and Cognition*, 56, 279-285.
- 5) Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Tack, G.R., Yi, J.H., You, J.H., Kwon, J.H., Kim, H.J., & Lee, S.Y. (2007). A comparison of the mean signal change method and the voxel count method to evaluate the sensitivity of individual variability in visuospatial performance, *Neuroscience Letters*, 418, 138-142.
- 6) Scott, S.K., & Wise, R.J.S. (2003). Functional imaging and language: A critical guide to methodology and analysis,

*Speech Communication*, 41, 7-21.

- 7) Sekiyama, K., Kanno, I., Miura, S., & Sugita, Y. (2003). Auditory-visual speech perception examined by fMRI and PET, *Neuroscience Research*, 47, 277-287.
- 8) Rowan, A., Liégeois, F., Vargha-Khadem, F., Gadian, D., Connelly, A., & Baldeweg, T. (2004). Cortical lateralization during verb generation: A combined ERP and fMRI study, *NeuroImage*, 22, 665-675.
- 9) Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Tack, G.R., Yi, J.H., You, J.H., Jun, J.H., & Sparacio, R. (2006). The effect of transient increase in oxygen level on brain activation and verbal performance, *International Journal of Psychophysiology*, 62, 103-108.
- 10) Springer, S.P., & Deutsch, G. (1998). *Left Brain, Right Brain*, 5th edn. W.H. Freeman, New York.
- 11) Timothy, C.J., & Richard, B.I. (2001). The Cognitive neuropsychology of the cerebellum, *International Review of Psychiatry*, 13, 276-282.
- 12) Lewis, S.M., Jerde, T.A., Tzagarakis, C., Gergopoulos, M.A., Tsekos, N., Amirkian, B., Kim, S.G., Ugurbil, K., &

하는 실험에서 소뇌의 네모소엽(Hemisphere Lobule IV, V, VI)과 반달소엽(Hemisphere Lobule Crus I, II) 그리고 소뇌별레의 경사(Vermis Lobule VI)와 별레잎새(Vermis Lobule VIIA), 별레용기(Vermis Lobule VIIB) 등에서 활성화가 발생하였다는 보고가 있었다.<sup>13)</sup> 언어를 기억하는 과제 수행 시 소뇌의 넓은 영역에서 활성화가 나타난다는 보고가 있었다. 그 중 특히 활성화 크기가 큰 영역은 양측 네모소엽(Bilateral Hemisphere Lobule IV, V, VI), 양측 반달소엽(Bilateral Hemisphere Lobule Crus I, II), 양측 널판소엽(Bilateral Hemisphere Lobule VIIB), 우측 볼록 소엽(Right Hemisphere Lobule VIII) 그리고 소뇌별레(Vermis)의 꼭대기(Vermis Lobule IV, V), 경사(Vermis Lobule VI), 별레잎새와 별레용기(Vermis Lobule VIIA, VIIB)였다.<sup>14)</sup> 중국어를 이용한 연구에서도 소뇌 영역 중 양측 뒤 네모소엽(Bilateral Hemisphere Lobule VI)에서 활성화가 크게 나타났다고 보고되었다.<sup>15)</sup> 소뇌 손상 시 반응 시간이 증가할 뿐만 아니라, 수행 기능, 추리, 추론, 계산, 공간 시각, 언어의 구사 및 기억, 시각적 기억, 회상, 운동 신경 등의 순서로 장애가 나타난다는 보고가 있었다.<sup>16)17)</sup> 이와 같이 고차 인지 처리에 관련된 소뇌 기능에 관한 연구가 다수 수행되어 오고 있으나, 대뇌 기능과 비교하여 소뇌 기능의 편측화에 관한 연구는 전무한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 대표적인 인지 과제 중의 하나인 공간 및 언어 과제를 수행하게 하면서 뇌 기능 영상을 획득하여, 각 인지 과제 수행에 따른 소뇌 활성화 영역을 알아보고, 소뇌 편측화의 차이를 규명하고자 한다.

## 2. 실험 방법

뇌 손상의 경험이 없고, 인지 처리가 정상이며, Edinburgh<sup>18)</sup> 의 개정판을 사용해 오른손잡이로 판명된 16명의 남자 대학생을 실험 참여자로 선정하였다. 이중 8명의 대학생(평균 21.5±2.3세)은 공간 과제 실험에, 나머지 8명의 대학생(평균 23.3±0.5세)은 언어 과제 실험에 각각 참여하였다.

지능 진단 검사, 적성 진단 검사, 일반 적성 검사로부터 공간 인지 능력을 측정할 수 있는 20문항의 공간 과제를 선정하였다.<sup>19)20)21)</sup> 선정된 문제는 주어진 도형의 모양과 똑같은 모양을 네 개의 보기 중에 찾는 유형과, 주어진 도형의 전개도를 찾는 유형으로 구성되어 있다. 적성 진단 검사와 지능 진단 검사로부터 언어 추리 및 언어 개념 능력을 측정하는 28문항의 언어 과제를 선정하였다. 언어 추리 검사는 앞서 제시되는 두 단어의 관계와 동일한 관계가 성립되는 단어를 찾는 형식이며, 언어 개념 검사는 네 개 단어 중 의미가 다른 하나의 단어를 찾는 유형으로 이루어져 있다.

그림 1과 같이 한 실험은 네 개의 블록으로 구성되었으며, 각 블록은 통제 과제(1분)와 인지 과제(1분)를 포함하도록 하였다. 한 실험 당 소요 시간은 블록 당 2분씩, 총 8분이었다. 선정된 통제 과제와 인지(공간 및 언어) 과제는 뇌 기능 영상 실험을 위한 자극 제시 S/W 인 SuperLab 1.07(Cedrus Co. USA)을 사용하여 제작하였고, 컴퓨터와 빔 프로젝터를 이용하여 MRI 내

- Georgopoulos, A.P. (2003). Cerebellar activation during copying geometrical shapes, *Journal of Neurophysiology*, 90, 3874-3887.
- 13) Claeys, K.G., Orban, G.A., Dupont, P., Sunaert, S., Hecke, P.V., & Schutter, E.D. (2003). Involvement of multiple functionally distinct cerebellar regions in visual discrimination: A human functional imaging study, *NeuroImage*, 20, 840-854.
- 14) John, E.D., John, D.E.G., Anthony, D.W., Bruce, L.G., & Gary, H.G. (1997). Lobular patterns of cerebellar activation in verbal working-memory and finger-tapping tasks as revealed by functional MRI, *Journal of Neuroscience*, 17, 9675-9685.
- 15) Tan, L.H., Spinks, J.A., Gao, J.H., Liu, H.L., Perfetti, C.A., Xiong, J., Stofer, K.A., Pu, Y., Liu, Y., & Fox, P.T. (2000). Brain activation in the processing of chinese characters and words: A functional MRI study, *Human Brain Mapping*, 10, 16-27.
- 16) Jeremy, D.S., & Janet, C.S. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome, *Brain*, 121, 561-579.
- 17) Newton, N., Schmahmann, J., Anderson, C., & Ellis, R.D. (2002). The function of the cerebellum in cognition, affect and consciousness: Empirical support for the embodied mind, *Consciousness Emotion*, 2, 273-309.

- 18) Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory, *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- 19) Lee, S.R. (1982). Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults), Seoul, Korea: Jungangjucksung Press.
- 20) Lee, S.R., & Kim, K.R. (1985). Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults), Seoul, Korea: Jungangjucksung Press.
- 21) Park, S.B. (1985). GATB (General Aptitude Test Battery): academic, job aptitude test type II (for students of middle schools, high schools and universities, and general public), Seoul, Korea: Jungangjucksung Press.

부의 피검자에게 거울을 통하여 제시하였다. 피검자는 제시된 문제에 대해 반응 버튼을 누르도록 하여 해답을 결정하도록 하였다. 통제 과제에서는 1, 2, 3, 4의 4개의 숫자 중 화면에 제시되는 번호에 해당하는 버튼을 누르게 하여 본 실험에 집중하게 하였다(블록당 8회 시행). 인지 과제에서는 문제들을 제시하고 각 문제의 정답에 해당하는 버튼을 눌러 반응하게 하였다(공간 과제는 블록당 5번, 언어 과제는 블록 당 7번 시행).

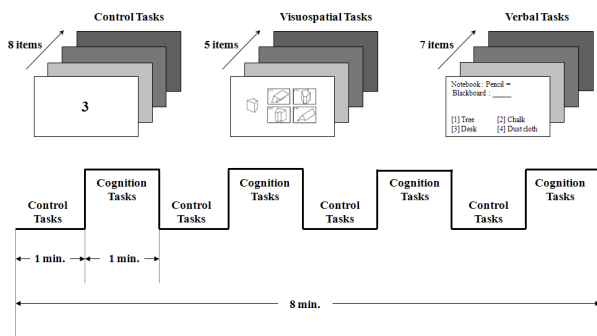


그림 1. 실험과정

뇌 기능 영상 획득은 KAIST 뇌과학 연구 센터에 있는 3T ISOL Technology FORTE를 사용하였으며, single-shot Echo Planar Imaging(EPI) 방법(TR/TE: 3000/35msec, FOV 240mm, matrix 64×64, slices thickness 4mm)으로 각 블록당 35장의 뇌 절편 영상을 획득하였다. T1 강조영상법인 3-D FLAIR 방법(TR/TE: 280/14msec, FOV 240mm, matrix 256×256, slice thickness 4mm)으로 해부학적 뇌 영상을 획득하였다.

뇌 기능 영상 데이터는 SPM-99(Statistical Parametric Mapping-99, Wellcome Department of Cognitive Neurology, Oxford, 1999) S/W 를 사용하여 분석하였다. 재배열(realignment) 과정으로 머리의 움직임을 교정하고, 기능적 영상과 해부학적 영상을 상관정립(coregister)하여 공통 좌표로 합성해 주었다. 각 개인 별 뇌의 형태적 차이를 교정하기 위하여 표준화된 뇌 공간에 template image(Montreal Neurologic Institute)를 사용하여 normalization 하였다.<sup>22)</sup> 활성화된 뇌 영역은 normalization 된 개인의 영상자료를 그룹으로 분석하여 활성화의 평균치를 구하고 t-score에 따라 색채 부호화(color coding)하여 개인별 및 그룹별로 뇌 지도를

얻었다. 이 때 감산법(cognition tasks-control tasks)을 사용하여 각 인지 과제를 풀 때 활성화가 일어나는 뇌 영역을 추출하였다.

마지막으로, SPM99의 Toolbox 중 하나인 WFU\_PickAtlas(Wake Forest University, USA)를 이용하여, 공간 및 언어 과제 수행에 따른 좌, 우 소뇌의 활성화 voxel 수를 각각 계산하였다. 이를 이용하여 각 인지 과제에 대한 소뇌의 편측화 지수(lateralization index, LI)를 계산하였다. 편측화 지수의 계산은(LV-RV)/(LV+RV)의 공식을 통해 수행되는데, 이때 LV 와 RV 는 각각 좌, 우반구의 활성화 voxel 수이다. 편측화 지수가 양(+)이 되면 좌반구가, 음(-)이 되면 우반구가 우세 반구가 된다. Independent paired t-test(SPSS ver. 12.0)를 사용하여 각 인지 과제 수행 시 좌, 우반구의 활성화 voxel 수에 통계적으로 유의한 차이가 있는지 검증하였다.

### 3. 결과

그림 2와 같이 공간 과제를 수행하였을 때 활성화 되는 소뇌 영역은 양측 앞 네모소엽(Bilateral Hemisphere Lobule IV, V), 양측 뒤 네모소엽(Bilateral Hemisphere Lobule VI), 양측 위 반달소엽(Bilateral Hemisphere Lobule Crus I), 양측 아래 반달소엽(Bilateral Hemisphere Lobule Crus II) 그리고 소뇌벌레(Vermis)의 벌레용기(Vermis Lobule VII), 벌레 피라미드(Vermis Lobule VIII), 벌레 목젓(Vermis Lobule IX)영역 이었다 (corrected  $p < .05$ ). 활성화 영역의 명칭과 MNI coordinates, Z-score 는 표 1에 나타내었다.

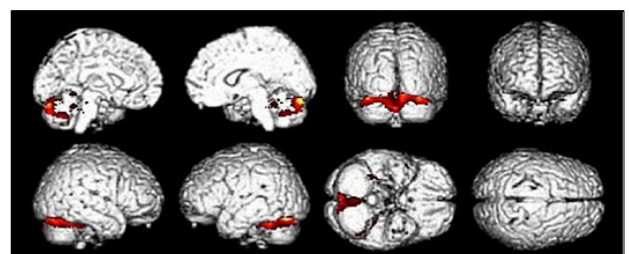


그림 2. 공간 과제 수행 소뇌 활성화 영역(corrected  $p < 0.05$ )

22) Talairach, J., & Tournoux, P. (1998). Co-planar stereotaxic atlas of the human brain, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.

표 1. 공간 과제 수행 시 소뇌 활성화 영역의 MNI coordinates, lobes, z-scores(corrected  $p < 0.05$ )

Cerebellar Region	Lobes	MNI coordinates			Z-score
		x	y	z	
Left Hemisphere Lobule IV, V	Cerebellum Anterior Lobe	-30	-42	-24	>8
Left Hemisphere Lobule VI	Cerebellum Posterior Lobe	-34	-74	-20	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	-20	-78	-16	>8
Left Hemisphere Lobule Crus I	Cerebellum Posterior Lobe	-36	-74	-20	>8
	Cerebellum Anterior Lobe	-44	-52	-28	>8
Left Hemisphere Lobule Crus II	Cerebellum Posterior Lobe	-2	-82	-34	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	-8	-84	-26	>8
Right Hemisphere Lobule IV, V	Cerebellum Anterior Lobe	28	-46	-20	>8
	Cerebellum Anterior Lobe	32	-38	-28	7.03
Right Hemisphere Lobule VI	Cerebellum Posterior Lobe	36	-76	-20	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	10	-86	-16	>8
Right Hemisphere Lobule Crus I	Cerebellum Posterior Lobe	10	-84	-18	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	36	-76	-22	>8
Right Hemisphere Lobule Crus II	Cerebellum Posterior Lobe	6	-82	-26	>8
Vermis Lobule VII	Cerebellum Posterior Lobe	6	-80	-20	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	-2	-78	-28	7.36
Vermis Lobule VIII	Cerebellum Posterior Lobe	0	-64	-38	>8
Vermis Lobule IX	Cerebellum Posterior Lobe	0	-62	-40	7.79

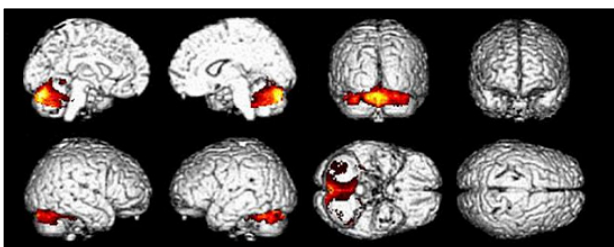


그림 3. 언어 과제 수행 시 소뇌 활성화 영역(corrected  $p < 0.05$ )

표 2. 언어 과제 수행 시 소뇌 활성화 영역의 MNI coordinates, lobes, z-scores(corrected  $p < 0.05$ )

Cerebellar Region	Lobes	MNI coordinates			Z-score
		x	y	z	
Left Hemisphere Lobule IV, V	Cerebellum Anterior Lobe	-10	-46	-6	5.37
Left Hemisphere Lobule VI	Cerebellum Posterior Lobe	-28	-64	-26	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	-6	-76	-20	>8
Left Hemisphere Lobule Crus I	Cerebellum Posterior Lobe	-10	-82	-26	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	-38	-74	-20	>8
Left Hemisphere Lobule Crus II	Cerebellum Posterior Lobe	-8	-84	-28	>8
Left Hemisphere Lobule VIII	Cerebellum Posterior Lobe	-4	-72	-36	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	-4	-58	-40	6.68
Left Hemisphere Lobule IX	Cerebellum Anterior Lobe	-10	-48	-32	3.65
	Cerebellum Posterior Lobe	8	-82	-20	>8
Right Hemisphere Lobule VI	Cerebellum Posterior Lobe	26	-70	-22	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	12	-82	-30	>8
Right Hemisphere Lobule Crus I	Cerebellum Posterior Lobe	24	-84	-22	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	8	-82	-30	>8
Right Hemisphere Lobule Crus II	Cerebellum Posterior Lobe	8	-62	-38	>8
Right Hemisphere Lobule VIII	Cerebellum Posterior Lobe	8	-72	-34	7.61
	Cerebellum Posterior Lobe	8	-72	-34	7.61
Right Hemisphere Lobule IX	Cerebellum Posterior Lobe	4	-54	-40	>8
Vermis Lobule IV, V	Cerebellum Anterior Lobe	-2	-66	-4	6.99
	Cerebellum Anterior Lobe	2	-54	-24	6.59
Vermis Lobule VI	Cerebellum Posterior Lobe	6	-82	-20	>8
	Cerebellum Anterior Lobe	0	-70	-6	7.20
Vermis Lobule VII	Cerebellum Posterior Lobe	6	-80	-26	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	-2	-78	-28	>8
Vermis Lobule VIII	Cerebellum Posterior Lobe	4	-62	-38	>8
	Cerebellum Posterior Lobe	2	-64	-28	>8
Vermis Lobule IX	Cerebellum Anterior Lobe	4	-60	-38	>8
Vermis Lobule X	Cerebellum Anterior Lobe	4	-52	-26	6.43
	Cerebellum Anterior Lobe	4	-44	-40	5.09

그림 3과 같이 언어과제 수행 시 좌측 앞 네모소엽 (Left Hemisphere Lobule IV, V), 양측 뒤 네모소엽 (Bilateral Hemisphere Lobule VI), 양측 위 반달소엽 (Bilateral Hemisphere Lobule Crus I), 양측 아래 반달소엽 (Bilateral Hemisphere Lobule Crus II), 양측 볼록 소엽 (Bilateral Hemisphere Lobule VIII), 양측 소뇌편도 (Bilateral Hemisphere Lobule IX) 그리고 소뇌벌레 (vermis)의 꼭대기(Vermis Lobule IV, V), 경사(Vermis Lobule VI), 벌레융기(Vermis Lobule VII), 벌레 피라미드(Vermis Lobule VIII), 벌레 목젓(Vermis Lobule IX), 결절(Vermis Lobule X) 등의 영역에서 활성화가 나타났다(corrected  $p < .05$ ). 활성화 영역의 명칭과 MNI coordinates, Z-score는 표 2에 나타내었다.

표 3. 공간 과제 수행 시 소뇌 좌, 우 반구의 활성화 voxel 수 및 편측화 지수

	Left	Right	Lateralization index
#1	873	431	0.3
#2	450	762	-0.3
#3	608	670	0.0
#4	418	429	0.0
#5	715	694	0.0
#6	358	305	0.1
#7	1164	228	0.7
#8	182	251	-0.2
Avg±S.D	596.0±315.0	471.3±211.3	0.1

표 4. 언어 과제 수행 시 소뇌 좌, 우 반구의 활성화 voxel 수 및 편측화 지수

	Left	Right	Lateralization index
#1	524	473	0.1
#2	791	1810	-0.4
#3	1520	747	0.3
#4	201	13	0.9
#5	1678	1723	0.0
#6	51	41	0.1
#7	903	464	0.3
#8	2428	3205	-0.1
Avg±S.D	1012.0±809.5	1059.5±1104.2	0.0

모든 피험자에 대해 공간 및 언어 과제 수행 시 소뇌의 좌, 우 반구에 대한 활성화 voxel 수와 편측화 지수를 표 3과 4에 각각 나타내었다. 공간( $t=-0.227$ ,  $df=7$ ,  $p=0.827$ ) 및 언어( $t=0.908$ ,  $df=7$ ,  $p=0.394$ ) 과제 모두 좌, 우 활성화 voxel 수에 차이가 없어서 소뇌 편측화가 나타나지 않았다.

#### 4. 토의

본 연구에서는 뇌 기능 영상 기법을 이용하여 공간 및 언어 인지 처리와 관련된 소뇌 영역을 알아보고자 하였다. 특히 각 과제 수행에 따른 소뇌의 좌, 우 반구에 대한 활성화 voxel 수를 계산하여 소뇌 편측화가 발생하는지를 규명하고자 하였다.

선행 연구에서 공간에 관련된 과제 수행 시 양측 네모소엽(Bilateral Hemisphere Lobule IV, V, VI), 양측 반달소엽(Bilateral Hemisphere Lobule Crus I, II), 소뇌 벌레의 경사(Vermis Lobule VI)와 벌레잎새(Vermis Lobule VIIA), 벌레융기(Vermis Lobule VIIB) 등의 소뇌 영역에서 활성화가 발생하였다.<sup>11)12)13)</sup> 언어에 관련된 과제 수행 시 양측 네모소엽(Bilateral Hemisphere Lobule IV, V, VI), 우측 볼록 소엽(Right Hemisphere Lobule VIII), 양측 반달소엽(Bilateral Hemisphere Lobule Crus I, II), 소뇌벌레(Vermis)의 꼭대기(Vermis Lobule IV, V), 경사(Vermis Lobule VI), 벌레잎새와 벌레융기(Vermis Lobule VIIA, VIIB) 등과 같은 소뇌의 넓은 영역에서 활성화가 나타난다는 보고가 있었다.<sup>14)15)</sup> 본 연구에서 공간 및 언어 과제 수행 시 활성화된 소뇌 영역은 선행 연구와 비교하여 유사한 결과이다.

대뇌의 경우 공간 과제 수행 시 우반구가, 언어 과제 수행 시 좌반구가, 우세했던 선행 연구와는 달리 소뇌에서는 좌, 우 반구의 활성화 voxel 수가 비슷하여 편측화가 나타나지 않았다. 소뇌의 좌, 우 반구의 중간에 위치한 소뇌벌레(Vermis)는 소뇌에서 넓은 영역을 차지하고 있다. 두 과제 모두 소뇌의 다른 영역에 비해 소뇌벌레 영역에서의 활성화가 큰 부분을 차지하고 있고, 이 때문에 소뇌의 편측화가 제대로 나타나지 않은 것으로 예상할 수 있다. 소뇌벌레에서의 활성화가 편측화에 미칠 영향을 고려해 이 영역을 제외하고 편측화 계산을 추가적으로 수행하였지만, 마찬가지로 소뇌의 편측화가 나타나지 않았다.

대뇌에서는 인지 과제에 따라 활성화 영역의 차이 뿐만 아니라 편측화의 차이도 발생한다. 그러나 소뇌에서는 과제 특성에 따라 활성화 영역에는 차이가 있었지만, 편측화는 차이가 없었다. 즉, 본 연구 결과로부터 공간 및 언어 인지 처리 시 소뇌 기능은 대칭적이라고 결론지을 수 있다. 향후 활성화 영역 그리고 편측화 등을 기반으로 하여 다양한 인지 과제와 관련된 소뇌 기능에 관한 심도 깊은 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

### Acknowledgement

이 논문은 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

### 참고문헌

- Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Tack, G.R., Yi, J.H., You, J.H., Jun, J.H., & Sparacio, R. (2006). The effect of transient increase in oxygen level on brain activation and verbal performance, *International Journal of Psychophysiology*, 62, 103-108.
- Chung, S.C., Sohn, J.H., Lee, B., Tack, G.R., Yi, J.H., You, J.H., Kwon, J.H., Kim, H.J., & Lee, S.Y. (2007). A comparison of the mean signal change method and the voxel count method to evaluate the sensitivity of individual variability in visuospatial performance, *Neuroscience Letters*, 418, 138-142.
- Chung, S.C., Tack, G.R., Lee, B., Eom, G.M., Lee, S.Y., & Sohn, J.H. (2004). The effect of 30% oxygen on visuospatial performance and brain activation: An fMRI study, *Brain and Cognition*, 56, 279-285.
- Claeys, K.G., Orban, G.A., Dupont, P., Sunaert, S., Hecke, P.V., & Schutter, E.D. (2003). Involvement of multiple functionally distinct cerebellar regions in visual discrimination: A human functional imaging study, *NeuroImage*, 20, 840-854.
- Fink, G.R., Marshall, J.C., Weiss, P.H., & Zilles, K. (2001). The neural basis of vertical and horizontal line bisection judgments: An fMRI study of normal volunteers, *NeuroImage*, 14(1), 59-67.
- Gur, R.C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C.L., Maldjian, J.A., Turetsky, B.I., Detre, J.A., Gee, J., & Gur, R.F. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task, *Brain and Language*, 74, 157-170.
- Jeremy, D.S., & Janet, C.S. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome, *Brain*, 121, 561-579.
- John, E.D., John, D.E.G., Anthony, D.W., Bruce, L.G., & Gary, H.G. (1997). Lobular patterns of cerebellar activation in verbal working-memory and finger-tapping tasks as revealed by functional MRI, *Journal of Neuroscience*, 17, 9675-9685.
- Lee, S.R. (1982). Intelligence test 151-Ga Type (High school students ~ adults), Seoul, Korea: Jungangjucksung Press.
- Lee, S.R., & Kim, K.R. (1985). Aptitude test 251-Ga (High school students ~ adults), Seoul, Korea: Jungangjucksung Press.
- Lewis, S.M., Jerde, T.A., Tzagarakis, C., Gergopoulos, M.A., Tsekos, N., Amirikian, B., Kim, S.G., Ugurbil, K., & Georgopoulos, A.P. (2003). Cerebellar activation during copying geometrical shapes, *Journal of Neurophysiology*, 90, 3874-3887.
- Newton, N., Schmahmann, J., Anderson, C., & Ellis, R.D. (2002). The function of the cerebellum in cognition, affect and consciousness: Empirical support for the embodied mind, *Consciousness Emotion*, 2, 273-309.
- Ng, V.W., Bullmore, E.T., Zubicaray, G.I., Cooper, A., Suckling, J., & Williams, S.C. (2001). Identifying rate-limiting nodes in large-scale cortical networks for visuospatial processing: An illustration using FMRI, *Cognitive Neuroscience*, 13(4), 538-545.
- Oldfield, R.C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory, *Neuropsychologia*, 9, 97-113.
- Park, S.B. (1985). GATB (General Aptitude Test Battery): academic, job aptitude test type II (for students of middle schools, high schools and universities, and general public), Seoul, Korea: Jungangjucksung Press.
- Rowan, A., Liégeois, F., Vargha-Khadem, F., Gadian, D., Connelly, A., & Baldeweg, T. (2004). Cortical lateralization during verb generation: A combined ERP and fMRI study, *NeuroImage*, 22, 665-675.

- Scott, S.K., & Wise, R.J.S. (2003). Functional imaging and language: A critical guide to methodology and analysis, *Speech Communication*, 41, 7-21.
- Sekiyama, K., Kanno, I., Miura, S., & Sugita, Y. (2003). Auditory-visual speech perception examined by fMRI and PET, *Neuroscience Research*, 47, 277-287.
- Springer, S.P., & Deutsch, G. (1998). *Left Brain, Right Brain*, 5th edn. W.H. Freeman, New York.
- Tan, L.H., Spinks, J.A., Gao, J.H., Liu, H.L., Perfetti, C.A., Xiong, J., Stofer, K.A., Pu, Y., Liu, Y., & Fox, P.T. (2000). Brain activation in the processing of chinese characters and words: A functional MRI study, *Human Brain Mapping*, 10, 16-27.
- Talairach, J., & Tournoux, P. (1998). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York.
- Timothy, C.J., & Richard, B.I. (2001). The Cognitive neuropsychology of the cerebellum, *International Review of Psychiatry*, 13, 276-282.

원고접수 : 09.09.28

수정접수 : 09.10.27

게재확정 : 09.10.29