

## 한국인의 연속절단면영상에서 쓴 자동화기술

김정요<sup>1</sup>, 박진서<sup>1</sup>

<sup>1</sup>동국대학교 의과대학 해부학교실

## Automated Techniques for the Sectioned Images of Visible Korean

Chung Yoh Kim<sup>1</sup>, Jin Seo Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Anatomy, Dongguk University School of Medicine

**Abstract** : The sectioned images of Visible Korean Project can display the structures of entire body in detail by virtue of the real color and high resolution. To utilize the sectioned images for various purposes, automatic image processing should be done. However, the automation for the sectioned images could not be easily done because of real color and high resolution of the images. This study aimed to introduce automatic techniques for image processing of the sectioned images to help researchers save working times for this processing. The automatic techniques for the sectioned images were developed using commercial software such as Adobe Photoshop and Matlab and non-commercial software such as MRICroGL and FMRIB Software Library. Also, we developed the self-developed software by C++ and JAVA script for the automatic techniques because some procedures unable to be processed using the software. By using the automatic techniques, the segmented images of some structures were made automatically from the sectioned images. From the sectioned images and the segmented images, the surface models and the volume models were produced automatically. To display both the sectioned images and segmented images, browsing software was used. To display the surface models and the volume model, Adobe Reader and MRICroGL were used. By using the automatic techniques, times and efforts for image processing of the sectioned images could be saved. However, since the automatic techniques could not produce complete results by itself, manual work should be done together in some procedures. To produce best results from the sectioned images, it was important to use the automation and the manual works in balance. In future studies, additional automatic techniques will be devised to reduce manual work for efficiency.

**Keywords** : Cross-sectional anatomy, Three-dimensional Imaging, Visible Human Projects

## 서론

저자(들)는 '의학논문 출판윤리 가이드라인'을 준수합니다.

저자(들)는 이 연구와 관련하여 이해관계가 없음을 밝힙니다.

**Received:** July 1, 2021; **Revised:** July 27, 2021; **Accepted:** July 27, 2021

**Correspondence to:** 박진서 (동국대학교 의과대학 해부학교실)

**E-mail:** park93@dongguk.ac.kr

2000년 한국인의 절단면영상(Visible Korean) 연구를 시작하였다. 컴퓨터단층사진, 자기공명영상과 달리 절단면영상은 사람 몸 속을 실제빛깔(24 bits color 이상), 고해상도

(화소크기, 0.04 mm 이상)로 볼 수 있어서 해부학에서 배우는 거의 모든 구조물을 영상으로 확인이 가능했다[1-4].

이러한 절단면영상을 교육과 연구에 쓰이게 하기 위해서 다양한 2차원, 3차원자료를 제작하였다. 절단면영상에서 보이는 구조물을 컴퓨터에서 낱낱이 구분해서 구역화영상을 만든[5-7] 다음에 이 구역화영상과 절단면영상을 합쳐서 둘러보기 소프트웨어를 만들었다[8-10]. 절단면영상과 구역화영상을 3차원 재구성해서 표면3차원영상[11-16]과 부피3차원영상[17-19]을 만들었다. 이 3차원 재구성된 자료들을 정리하여 머리[14,20-22], 뇌와 주변 구조물[6,11,14,19,23-25], 눈 구조물[26], 귀 구조물[13,22,26], 골반[12], 엉덩이 관절[15], 발[17,27]의 국소해부학 3차원자료를 만들었고, 비뇨생식계통[28,29], 간[30,31], 위창자관[32], 허리엉치 구조물[33]의 계통해부학 3차원자료를 만들었다(Figs. 1, 2).

임상교육용 3차원자료도 만들었다. 뇌정위수술을 위한 뇌의 기준면 3차원영상[34], 가상 뇌심부자극술 수술 3차원영상[19], 해면정맥굴 주변 수술을 위한 3차원영상[23,25], 얼굴 성형을 위한 얼굴근육의 3차원영상[20,21], 턱교정 수술을 위한 3차원영상[35], 가상내시경과 가상복강경 3차원영상[36,37], 깊은엉덩이회돌이동맥 피판술을 위한 3차원영상[38]을 만들었다(Fig. 3). 한편, 산업용 3차원자료도 만들었다. 절단면영상과 3차원영상으로 가상 인체실험 모델을 제작하였다. 가상 어린이[39], 남성 온몸, 여성 온몸[40], 어린이부터 성인까지의 표준모델[41], 남성머리[42]의 모델을 만들어서 휴대폰의 가상 전자파 실험을 수행하였다[39,43].

이처럼 절단면영상을 여러 용도로 활용하기 위해서는 절단면영상을 2차원, 3차원으로 가공하고 재구성해야 했다. 그러나 절단면영상은 빛깔 개수가 많고(최대 48 bits color), 해상도가 높아서(최대 8,688 × 5,792) 파일 1개 크기가 매우 크고(최대 288 Mbytes) [1], 파일 개수가 많아서(최대 8,590 개) [4], 절단면영상을 알맞게 가공하고 재구성하려면 많은 인력이 오랜 시간 작업해야 했다.

이 연구의 목적은 절단면영상과 같은 실제빛깔, 고해상도 영상을 자동으로 가공하고 재구성할 수 있는 방법을 소개하고 쓰는 방법을 알려서, 영상과 관련된 연구를 하는 연구자들이 좀 더 많은 일을 빨리 할 수 있게 돕는 것이다. 이를 위해서 절단면영상의 작업을 자동으로 수행할 수 있는 상업용 소프트웨어, 무료 소프트웨어, JAVA script 코딩을 찾거나 개발하였다. 이 논문에서 소개하는 소프트웨어들은 대부분 영문판이어서 메뉴 이름을 영어로만 표시하였다.

## 1. 절단면영상을 위한 자동화

Adobe Photoshop CC 2018 (Adobe Systems, Inc., San

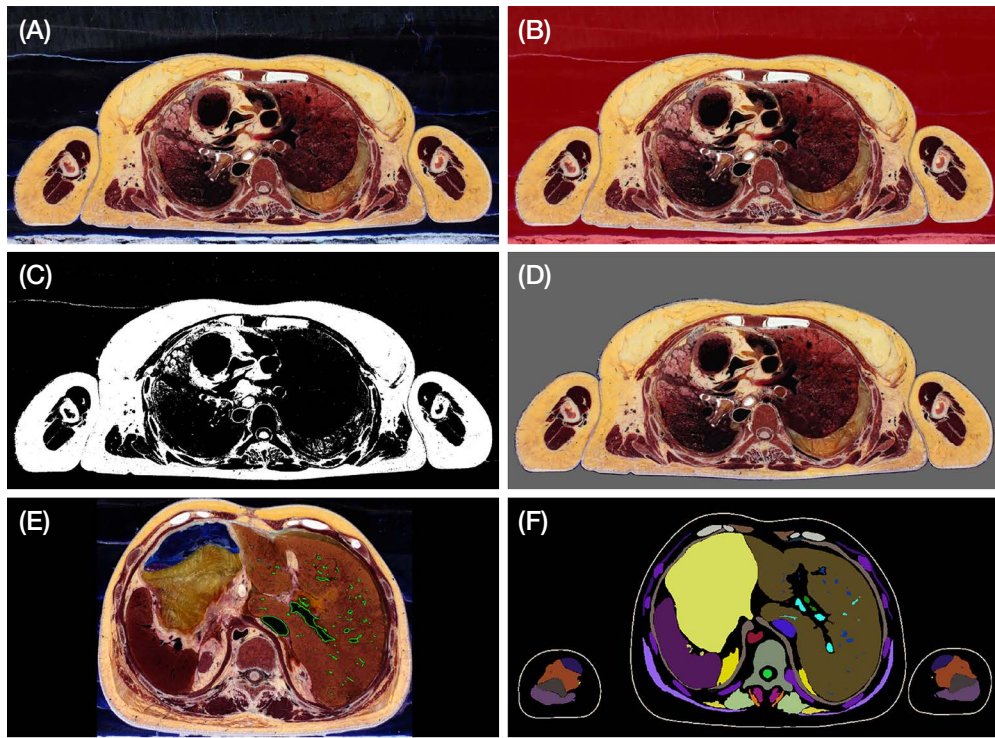
Jose, CA, USA)의 Action 기능으로 영상 파일의 Canvas size 변경, Image size 변경, 필요한 부분만 오려내기, 다른 이름(형식)으로 저장 등 작업자가 필요한 작업을 그대로 녹화하였다. 포토샵에 열려있는 다른 영상 1개에 녹화된 Action을 재생하면 녹화된 작업이 그대로 실행되었다. Automate-Batch 기능을 써서 Action에 녹화된 작업을 한 폴더 속에 있는 모든 파일에 적용시킬 수 있었다. Photoshop CS 이상급에서는 Save as 기능을 써서 모든 영상 파일을 일반적인 영상 파일 형식(TIFF, BMP)뿐만 아니라 Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) 파일로도 변환할 수 있었다.

ImageJ 소프트웨어(<https://imagej.nih.gov/ij/>)의 Process-Macro의 Add Border, Resize, Crop 기능 등에 명령어와 숫자 입력으로 절단면영상의 Canvas size 변경, Image size 변경, 필요한 부분만 오려내기, 다른 이름으로 저장(형식) 등을 자동 수행하였다. Process-Macro에 저장되어 있는 자동화 코드 외에 더 많은 코드를 홈페이지(<https://imagej.nih.gov/ij/macros/>)에서 무료로 내려받을 수 있었다.

Matlab 2018 (The MathWorks, Inc., Boston, MA, USA) 소프트웨어의 imresize 명령어, imcrop 명령어 등으로 절단면영상의 해상도 조절, 필요한 부분만 오려내기 작업을 자동으로 수행하였다. 작업할 영상의 개수가 많으면 for-end 명령어로 원하는 횟수만큼 반복 수행을 자동으로 하였다. saveas 명령어로 만들어진 영상을 BMP 파일로 저장하였다.

## 2. 절단면영상을 관상면, 시상면으로 변환하는 자동화

ExSlice.exe 프로그램을 Visual C++ 프로그래밍 언어를 써서 자체 제작하였다. 메뉴의 파일-열기로 원본 영상을 불러오면 파일 중에 어느 한 영상이 보여졌다. 영상의 실제 크기와 상관없이 작게 보여졌다. 마우스 왼쪽클릭으로 한 점과 다른 점을 찍으면 두 점을 잇는 직선이 만들어지고, 이 직선이 단면의 방향이 되었다. 마우스 왼쪽클릭으로 다른 한 점을 찍으면, 만들 단면의 양이 결정되었다. 세 점을 좌표 입력으로도 결정할 수 있었다. 보기를 들어, 해상도 100(가로) × 200(세로) 수평 절단면영상 300개를 불러와서 위쪽-왼쪽 끝 점을 선택, 위쪽-오른쪽 끝 점을 선택하면 두 점을 직선으로 연결한 관상면의 가로 해상도 100이 결정되었고, 영상의 개수 300개가 관상면의 세로 해상도가 되었다. 두 점을 이은 직선에 수직 방향으로 아래 끝 점을 선택하면 관상면의 개수가 200개로 결정되었다. 이 프로그램에서는 만들어지는 영상 개수를 진행률로 보여주었다. ExSlice.exe 프로그램에서는 원하는 부분만 골라서 관상면, 시상면, 비스듬한 면까지 만들 수 있었다. 모든 결과물은 BMP 파일로 저장되었다[34,44].



**Fig. 1.** Extraction of only cadaver area in the sectioned images. Using Select Subject of Photoshop, (A) in the original sectioned image, (B) outer region of the selected area is removed automatically using Erase and Automate-Batch-Action. (C) Using im2bw command of Matlab, (A) the original sectioned image is converted to (C) black and white images, and (D) outer area of skin in black and white image is removed automatically after the black and white image is superimposed on the original sectioned image. (E) In the sectioned images, all arteries and veins in liver are selected and painted by green color automatically using Magic Wand of Photoshop. Using Making\_Color\_filled\_images. jsx, (F) segmented image is made from (B, D, E) the selected structures in the sectioned image.

### 3. 절단면영상에서 인체만 골라내는 자동화

Photoshop의 Select Subject 기능을 절단면영상(Fig. 1A)에 적용시키면 피사체(시신 부분)만 선택되어지고 포매제 부분은 선택되지 않았다. Select Inverse 기능으로 시신 부분 선택을 반전시켜서 포매제 부분을 선택한 다음에 Erase 기능으로 선택된 부분을 모두 지웠다. 이것을 Action 기능으로 녹화한 다음에 Automate-Batch-Action 기능으로 모든 절단면영상에 적용시켜서 포매제를 자동으로 지웠다(Fig. 1B).

Matlab 소프트웨어에서 imread 명령어로 한 폴더에 있는 모든 절단면영상을 불러온 다음에 im2bw 명령어로 컬러 절단면영상을 흑백 절단면영상으로 변환하였다(Fig. 1C). 절단면영상의 포매제는 주로 파랑색으로 비교적 균일한 색상이었고, 이것이 흑백 영상에서는 더 균일한 회색빛깔이 되었다. saveas 명령어로 흑백 절단면영상을 BMP 파일로 저장하였다. for-end 명령어를 써서 한 폴더에 있는 모든 영상을 흑백 절단면영상으로 자동 변환하였다. Photoshop에서 흑백 절단면영상의 회색빛깔을 선택한 다음에 선택 영역을 그대로 컬러 절단면영상으로 옮겼다(Fig. 1D). 선택되어진 포

매제 영역을 Erase 기능으로 모두 지웠다. 마찬가지로 Automate-Batch-Action 기능으로 한 폴더에 있는 모든 컬러 절단면영상의 포매제를 지웠다.

Photoshop의 Magic wand 기능을 써서 절단면영상의 간속에 있는 혈관을 모두 자동 선택하였다. Magic wand 기능을 선택한 다음에 절단면영상의 아래대정맥을 선택하였다. Contiguous 옵션은 선택하지 않아서 영상에서 아래대정맥과 같은 빛깔은 모두 자동 선택되어졌다(Fig. 1E) [30].

### 4. 절단면영상에서 구역화영상을 만드는 자동화

절단면영상에서 보이는 각 구조물의 구역화는 각 Layer에 담아서 Photoshop Document (PSD) 파일로 저장하였다. 구역화 작업은 여러 명이 하였고, 따라서 같은 단면 높이의 PSD 파일이 여러 개 만들어졌다. 이러한 PSD 파일들에 담긴 Layer를 하나의 PSD 파일로 자동 합치는 Layer\_combine.jsx을 Javascript 언어로 코딩하여 만들었다. 이 jsx 파일을 Photoshop의 Script 기능으로 열었다. 폴더 창이 열리고, 이곳에서 Layer를 복사할 PSD 파일이 담긴 폴더를 찾아 선택

하였다. 다음 폴더 창이 열리고, 이곳에서 Layer를 복사할 다른 PSD 파일이 담긴 폴더를 선택하였다. 결과를 저장할 폴더를 선택하면 각 구조물의 Layer가 한 PSD 파일에 자동으로 담겨서 저장되었다.

PSD 파일의 각 Layer에 담긴 각 구조물 테두리 속에 특정한 빛깔을 채워서 구역화영상을 만들었다. 각 구조물 Layer가 50개 이내일 때에는 Photoshop의 Automate-Batch-Action을 써서 자동으로 구조물에 빛깔을 채웠다[7]. 각 구조물 Layer가 50개 이상일 때에는 Making\_Color\_filled\_images.jsx 프로그램을 써서 자동으로 구조물에 빛깔을 채웠다. 이 프로그램은 Javascript 언어로 코딩하여 만들었다. Making\_Color\_filled\_images.jsx을 Photoshop의 Script 기능으로 열었다. 폴더 선택창이 열리면 PSD 파일이 있는 폴더를 선택하고, 다음 폴더 창이 열리면 결과물(구역화영상, BMP 형식)을 저장할 폴더를 선택하고, 마지막 폴더 창이 나오면 structure.txt를 선택하였다. structure.txt은 각 구조물 이름과 각 구조물에 칠해질 빛깔값(Red, Green, Blue 값)을 미리 적어놓은 파일이었다. 선택이 끝나면 PSD 파일의 각 Layer에 담긴 모든 구조물이 자동으로, 정해진 빛깔로 칠해지고 BMP 형식으로 저장되어 구역화영상이 완성되었다(Fig. 1F).

### 5. 절단면영상으로 만든 부피3차원영상에서 뇌를 구분하는 자동화

Matlab의 im2bw 명령어와 dicomwrite 명령어를 for-end 명령어로 반복 수행해서 모든 TIFF 파일의 컬러 절단면영상을 자동으로 흑백 DICOM 파일로 변환하였다[18]. Dicom Browser (<http://nrg.wustl.edu/software/dicom-browser/>)의 Script 자동화 기능으로 모든 DICOM 파일의 헤더구간에 있는 0020, 0013 항목 instance number 정보에 각 파일의 순서

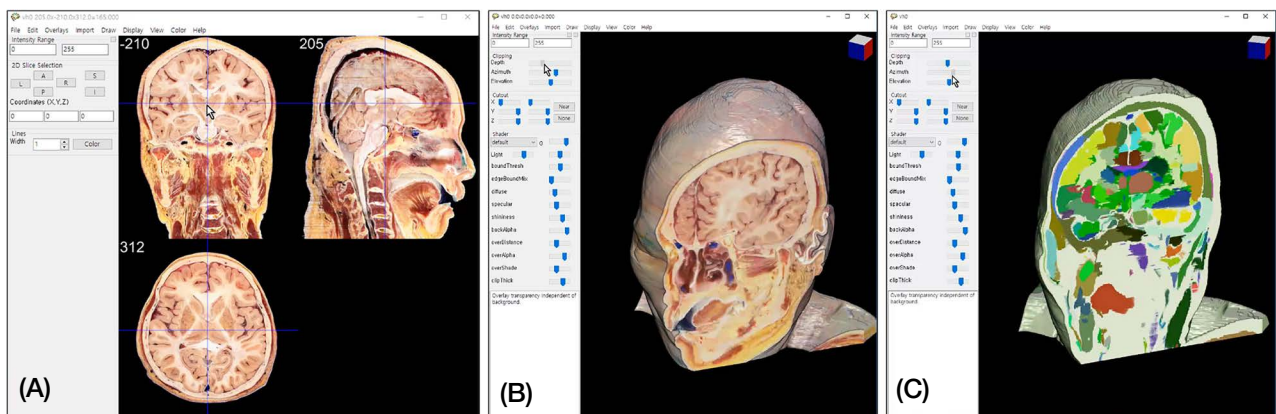
대로 일련번호를 자동으로 입력하였다[24].

MRICroGL 2018 ([www.mccauslandcenter.sc.edu/](http://www.mccauslandcenter.sc.edu/))의 dcm2niix.exe 프로그램에서 모든 DICOM 파일을 불러오면 영상의 instance number 정보 순서대로, 자동으로 부피재구성이 되고, 이것이 neuroimaging informatics technology initiative (NIFTI) 파일로 저장되었다. 이것으로 흑백 절단면영상을 재구성한 흑백 부피3차원영상이 만들어졌다[24].

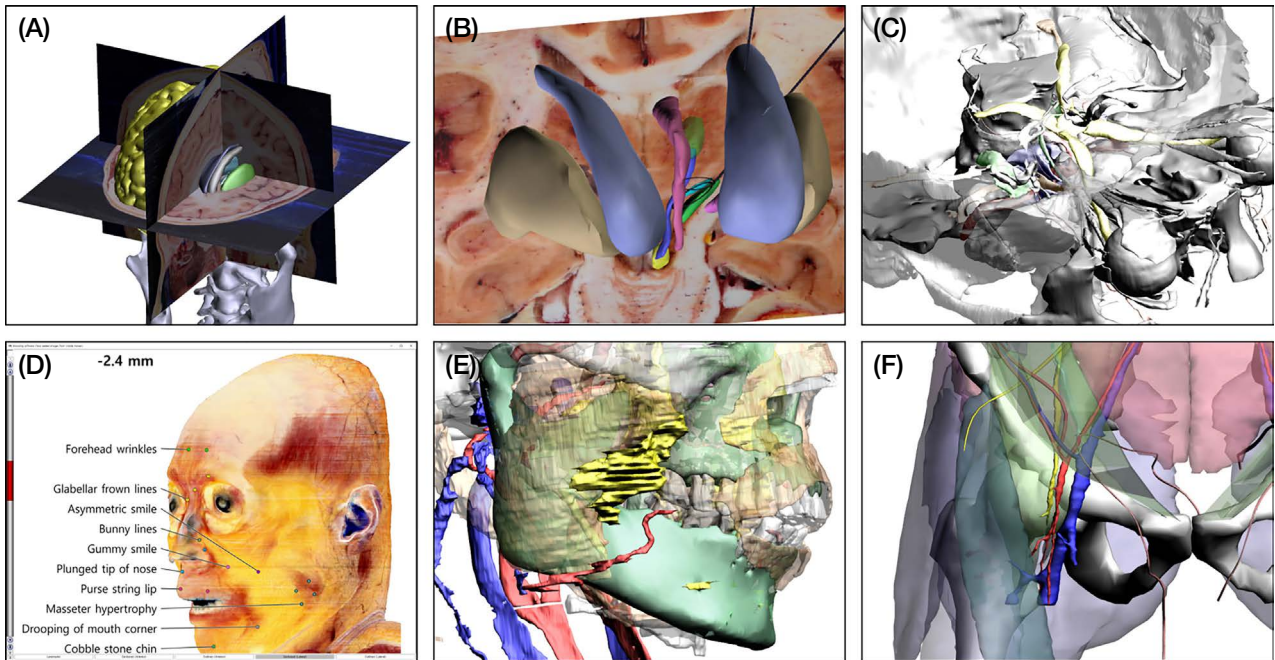
FMRIB Software Library (FSL) ([fsl.fmrib.ox.ac.uk/fsl/fslwiki/](http://fsl.fmrib.ox.ac.uk/fsl/fslwiki/))의 Brain Extraction Tool에서 선택항목으로 f 0.35 for bias field, neck cleanup를 정한 다음에 흑백 부피3차원영상을 불러오면 자동으로 흑백 뇌 부피3차원영상(NIFTI 파일)이 추출되었다. FSL의 FMRIB's Automated Segmentation Tool에서 선택항목으로 2 class method of FAST를 정한 다음에 흑백 뇌 부피3차원영상을 불러오면 자동으로 흑백 회색질, 흑백 백색질 부피3차원영상(NIFTI 파일)이 각각 만들어졌다.

Medical Image Converter (<https://www.medicalimageconverter.com/>)에서 각 부피3차원영상(NIFTI 파일)을 일정한 간격의 수평 단면으로 연속절단해서 흑백 뇌 절단면영상, 흑백 회색질 절단면영상, 흑백 백색질 절단면영상(BMP 파일)으로 저장하였다.

Photoshop의 Script 기능에서 Layer\_combine.jsx을 실행시켰다. 흑백 뇌 절단면영상이 담긴 폴더와 머리의 원본 컬러 절단면영상이 담긴 폴더를 선택하였다. 두 폴더에서 이름이 같은 두 영상이 각각의 Layer에 담겨서 하나의 PSD 파일로 저장되었다. PSD 파일에서 뇌 Layer의 뇌 테두리를 자동선택하고, 이것을 머리 Layer에 적용해서 컬러 뇌 절단면영상을 만들었다. Automate-Batch-Action으로 이 작업을 자동화하였다. 마찬가지로 방법으로 흑백 회색질 부피3차원영상과 흑



**Fig. 2.** Volume models, made from the sectioned images and segmented images [18]. After reconstructing the sectioned images, (A) horizontal, sagittal, and coronal planes can be displayed from the volume model. (B) The volume model can be sectioned at arbitrary angle in real time. (C) After reconstructing the segmented images, the volume model can be also sectioned at arbitrary angle in real time.



**Fig. 3.** Three dimensional (3D) images for clinical anatomy. (A) 3D images with horizontal, coronal, and sagittal planes of reference standard system are displayed for stereotactic surgery [34]. (B) 3D images of pallidothalamic tract and subthalamus are displayed for deep brain stimulation [19]. (C) Ten triangles around cavernous sinus for surgical approach can be displayed on the head surface models from the male head segmented images [23]. (D) True-color face peeled images with botulinum toxin injection sites and anatomic landmarks are made from volume models of male head sectioned images [21]. (E) The surface models of the maxillofacial area for orthognathic surgery are made. (F) Surface models of a cadaver for understanding the deep circumflex iliac artery flap are made from the sectioned images and the segmented images of male whole body.

백 백색질 부피3차원영상에서 컬러 회색질 절단면영상과 컬러 백색질 절단면영상을 만들었다[24].

**6. 부피3차원영상을 마음대로 잘라보기 위한 자동화**

부피재구성은 컴퓨터 자원을 많이 차지하므로 원본 해상도의 절단면영상을 쓰지 못하고, 다음처럼 해상도를 줄인 절단면영상을 썼다. TIFF 형식의 원본 절단면영상을 Matlab의 imresize 명령어, imcrop 명령어, dicomwrite 명령어를 써서 각각 해상도를 줄였고, 시신이 포함되지 않은 여백을 오려냈고, DICOM 파일로 저장하였다. 작업할 영상의 개수만큼 for-end 명령어로 반복 수행해서 모든 컬러 절단면영상을 자동으로 컬러 DICOM 파일로 변환하였다. Dicom Browser로 DICOM 파일의 헤더구간에 있는 0020, 0013 항목 instance number에 각 파일의 순서대로 일련번호를 자동 입력하였다. MRIcroGL 2018의 dcm2niix.exe 프로그램으로 모든 컬러 절단면영상 DICOM 파일을 부피재구성해서 NIFTI 파일로 저장하였다(Fig. 2A, B). 구역화영상의 부피3차원영상도 만들었다(Fig. 2C) [18].

관상 절단면영상과 시상 절단면영상을 자동으로 만들었다.

MRIcroGL에는 필요한 기능을 자동화할 수 있는 script 기능이 있었다. 이 script 기능에 clipazimuthelevation (X, Y, Z) 명령어를 썼다. 명령어의 X 변수는 0부터 1까지 소수점 2자리까지 숫자 입력으로 만들려는 단면의 깊이를 정할 수 있었고, Y 변수는 0부터 360까지 숫자 입력으로 방위각을 정할 수 있었고, Z 변수는 0부터 360까지 숫자 입력으로 기울기를 정할 수 있었다. 보기를 들어 (X, Y, Z) 변수에 각각 (0.1, 0, 90)을 쓰면 수평 절단면영상, (0.1, 180, 0)을 쓰면 관상 절단면영상, (0.1, 90, 0)은 시상 절단면영상 1개를 만들 수 있었다. Savebmp 명령어를 써서 영상을 저장하였다. clipazimuthelevation (X, Y, Z) 명령어와 savebmp 명령어 한 줄당 1개의 영상을 만들 수 있었다. 따라서 원하는 개수의 영상을 얻기 위해서는 script 기능에 원하는 개수만큼 clipazimuthelevation의 X 변수에 일련번호를 입력하고 savebmp를 써주어야 했다. 보기를 들어 1,000개의 영상을 만들기 위해서는 1,000개의 명령어에 각각 일련번호 1부터 1,000을 입력해야 했다. 이 작업을 Microsoft Excel-Macro를 써서 자동으로 만들었고, txt 파일로 저장하였다[17,18].

부피3차원영상을 돌리면서 깎아보는 영상을 자동으로 만

들었다. MRICroGL의 script 기능에 azimuth 명령어로 부피 3차원영상을 원하는 각도만큼 회전시킨 다음에 savebmp 명령어로 현재 보여지는 부피3차원영상을 BMP 파일로 갈무리하였다. 방위각으로 0도에서 355도까지 5도간격으로 회전시키면서 71개 영상을 갈무리하려면 71개의 명령어에 각각 5도 간격의 변수를 입력해야 했다. 이 작업도 Microsoft Excel-Macro를 써서 자동으로 만들었고, txt 파일로 저장하였다[17].

### 7. 부피3차원영상을 다른 부피3차원영상과 정합하는 자동화

FSL의 FMRIB's Linear Image Registration Tool에서 흑백 뇌 부피3차원영상과 MNI152 부피3차원영상(Harvard-Oxford cortical and subcortical structural atlases)을 불러왔다. 내부연산을 통해서 MNI152 부피3차원영상의 생김새를 가진 흑백 뇌 부피3차원영상이 만들어졌다. MNI152에는 뇌의 각 이랑, 고랑이 서로 다른 빛깔로 구분되어 있었는데, 정합된 흑백 뇌 부피3차원영상에서 이것을 그대로 볼 수 있었다[24].

## 고찰

절단면영상은 몸 속 구조물의 위치와 생김새를 실제와 똑 같게 볼 수 있어서 해부학에서 매우 쓸모 있는 영상자료이다. 또한 절단면영상은 단면이기 때문에 영상의학에 필요한 단면해부학으로도 매우 쓸모 있는 영상자료이다. 절단면영상을 쓸모 있게 만들기 위해서는 절단면영상을 가공해야 하지만 절단면영상을 가공하는 대부분의 작업은 많은 사람이 매우 긴 시간 동안 단순한 컴퓨터 작업을 해야 하는 일이었다. 따라서 이러한 단순한 컴퓨터 작업을 자동화하는 방법을 기존의 소프트웨어로 개발하거나 새로운 소프트웨어를 제작하였다. 각각의 작업에서 개발한 자동화 방법의 장단점은 다음과 같았다.

절단면영상을 가공하는 자동화 기능은 Photoshop, ImageJ, Matlab을 썼다(Fig. 1). Photoshop은 작업자가 영상을 직접 보면서 작업할 수 있었고, ImageJ와 Matlab은 영상 없이 코딩 문장으로만 작업이 가능했다. ImageJ는 컴퓨터의 자원을 조금만 차지해서 대용량 파일을 빠르게 가공할 수 있었다. Matlab은 여러 작업을 명령어로 한번에 수행할 수 있어서 다른 소프트웨어에 비해서 더 많은 작업을 자동화할 수 있었다. 그러나 Matlab 코딩은 전문 프로그래머가 필요하였다. Photoshop과 Matlab은 가격이 비싸고 ImageJ는 무료이다.

절단면영상을 재구성해서 관상면과 시상면으로 만드는 자동화 기능은 ExSlice.exe와 MRICroGL Script를 썼다. ExSlice.exe은 작은 프로그램이라서 컴퓨터 자원을 조금만 차지했고, 그만큼 작업 속도가 빨라졌다. 절단면영상에서 필요한 부분을 필요한 만큼만 만들 수 있었고, 수평면, 관상면, 시상면뿐 아니라 사용자가 필요한 임의의 기울기 단면도 만들 수 있었다. 원본해상도로 작업해서 원본해상도 결과를 만들 수 있었지만 순수한 2차원 프로그램이어서 오로지 단면만 볼 수 있었다[34]. MRICroGL Script는 부피3차원영상에서 단면을 만들기 때문에 부피3차원영상과 단면을 함께 볼 수 있었다[18]. 이것은 단면의 정확한 위치를 파악하는 데 큰 도움이 되었다(Fig. 2).

절단면영상을 구역화영상으로 가공하는 자동화 기능은 Photoshop의 Automate-Batch-Action와 Photoshop Script를 썼다. Automate-Batch-Action는 선택된 어느 한 구조물에 단색 빛깔을 칠하는 가장 편리한 자동화 방법이었지만, 구조물의 개수가 많아지면서 자동화보다는 반자동화 기능이 되었다. Action을 처음 녹화할 때에는 구조물 선택-빛깔 선택-채움 작업을 각 구조물마다 해야 하는데 구조물의 개수가 50개 이상인 경우에는, 이 작업에 많은 시간과 노력이 소요되었다. 구조물 개수가 많으므로 Automate-Batch-Action의 실행 시간도 많이 길어졌고, Photoshop이 자주 멈추는 일이 생겼다. 이것을 해결한 것이 Script였다. Script에는 각 구조물의 이름과 각 구조물에 칠할 빛깔정보를 입력해 놓으면, 그대로 절단면영상에서 선택된 구조물에 빛깔을 자동으로 칠하므로 많은 노력과 시간을 줄일 수 있었다.

절단면영상으로 만든 부피3차원영상의 뇌, 회색질, 백색질을 추출하는 자동화 기능은 FSL을 썼다. FSL은 저용량, 회색빛깔 자기공명영상을 기준으로 만들어졌기 때문에 컬러 절단면영상을 처리할 수 없었다. 이를 해결하기 위해서 절단면영상의 컬러를 흑백으로 바꾸고, 해상도를 줄이고, FSL로 추출하고, DICOM 파일로 바꾸고, Photoshop Script까지 쓰는 복잡한 작업을 수행하였다. 작업이 복잡했지만 절단면영상에서 뇌, 회색질, 백색질을 각각 추출하는 유일한 자동화 방법이었고 성능도 좋았기 때문에 계속 이 방법을 사용하고 있다[24].

MRICroGL Script 코딩은 같은 명령어를 숫자만 바꿔서 입력하는 것이 대부분이었다. 이러한 단순한 코딩은 Microsoft Excel-Macro에서 코딩 명령어 각 셀에 넣고 숫자를 바꾸고 txt 파일로 저장하는 매크로를 썼다. 단순한 코딩에는 Excel-Macro도 매우 쓸모 있었다[17].

영상의 자동화는 장점은, 많은 작업을 한 사람 쉽게 할 수 있는 것과 작업 결과가 많더라도 한결같이 만들 수 있다는 것이다. 영상 자동화의 단점은, 자동화로 최종 결과물을 만들

수 없다는 것이다. 따라서 여러 자동화 기능을 함께 써서 가장 좋은 결과물을 만드는 조합을 선택하고, 자동화 기능과 수동화 기능을 함께 써서 가장 좋은 최종 결과물을 만드는 조합을 찾는 것이 중요하다. 앞으로 자동화 기능을 더 찾고 개발해서 수동화 작업을 최대한 줄일 것이다.

이 논문에서 언급한 자동화기술, 2차원 결과물, 3차원 결과물에 대한 정보는 저자의 홈페이지(neuroanatomy.kr)에 내려받을 수 있다.

## 사 사

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2021R1F1A1063044).

## REFERENCES

1. Chung BS, Han M, Har D, Park JS. Advanced sectioned images of a cadaver head with voxel size of 0.04 mm. *J Korean Med Sci.* 2019;34:e218.
2. Park HS, Choi DH, Park JS. Improved sectioned images and surface models of the whole female body. *Int J Morphol.* 2015;33:1323-32.
3. Park JS, Chung MS, Shin DS, Har DH, Cho ZH, Kim YB, et al. Sectioned images of the cadaver head including the brain and correspondences with ultrahigh field 7.0 T MRIs. *Proc IEEE.* 2009;97:1988-96.
4. Park JS, Chung MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH, Park HS. Visible Korean human: improved serially sectioned images of the entire body. *IEEE Trans Med Imaging.* 2005;24:352-60.
5. Shin DS, Park JS, Park HS, Hwang SB, Chung MS. Outlining of the detailed structures in sectioned images from Visible Korean. *Surg Radiol Anat.* 2012;34:235-47.
6. Park JS, Chung MS, Chi JG, Park HS, Shin DS. Segmentation of cerebral gyri in the sectioned images by referring to volume model. *J Korean Med Sci.* 2010;25:1710-5.
7. Park JS, Chung MS, Hwang SB, Lee YS, Har DH. Technical report on semiautomatic segmentation using the Adobe Photoshop. *J Digit Imaging.* 2005;18:333-43.
8. Lee SB, Chung BS, Chung MS, Youn C, Park JS. Browsing software of the head sectioned images for the android mobile device. *Int J Morphol.* 2017;35:1377-82.
9. Kwon K, Chung MS, Park JS, Shin BS, Chung BS. Improved software to browse the serial medical images for learning. *J Korean Med Sci.* 2017;32:1195-201.
10. Chung BS, Park HS, Park JS, Hwang SB, Chung MS. Sectioned and segmented images of the male whole body, female whole body, male head, and female pelvis from the Visible Korean. *Anat Sci Int.* 2021;96:168-73.
11. Chung BS, Park JS. Whole course of pallidothalamic tracts identified on the sectioned images and surface models. *Clin Anat.* 2020;33:66-76.
12. Shin DS, Jang HG, Hwang SB, Har DH, Moon YL, Chung MS. Two-dimensional sectioned images and three-dimensional surface models for learning the anatomy of the female pelvis. *Anat Sci Educ.* 2013;6:316-23.
13. Park HS, Chung MS, Shin DS, Jung YW, Park JS. Accessible and informative sectioned images, color-coded images, and surface models of the ear. *Anat Rec (Hoboken).* 2013;296:1180-6.
14. Shin DS, Jang HG, Park JS, Park HS, Lee S, Chung MS. Accessible and informative sectioned images and surface models of a cadaver head. *J Craniofac Surg.* 2012;23:1176-80.
15. Kim CY, Jung YW, Park JS. The Visible Korean: movable surface models of the hip joint. *Surg Radiol Anat.* 2021;43:559-66.
16. Shin DS, Chung MS, Park JS, Park HS, Lee S, Moon YL, et al. Portable document format file showing the surface models of cadaver whole body. *J Korean Med Sci.* 2012;27:849-56.
17. Park JS, Jung YW. Peeled images and sectioned images from real-color volume models of foot. *Surg Radiol Anat.* 2021;43:37-43.
18. Chung BS, Park JS. Real-color volume models made from real-color sectioned images of Visible Korean. *J Korean Med Sci.* 2019;34:e86.
19. Kim CY, Park JS, Chung BS. Real color model of a cadaver for deep brain stimulation of the subthalamic nucleus. *Appl Sci.* 2021;11:4999.
20. Kwon K, Shin HK, Shin BS, Park JS. Serially peeled images of the curved surface of the face based on cross-sectional images for use in plastic surgery. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2016;69:727-9.
21. Park JS, Shin HK, Shin BS, Kwon K. True-color face peeled images with botulinum toxin injection sites and anatomic landmarks. *Int J Morphol.* 2019;37:1016-22.
22. Jang HG, Chung MS, Shin DS, Park SK, Cheon KS, Park HS, et al. Segmentation and surface reconstruction of the detailed ear structures, identified in sectioned images. *Anat Rec (Hoboken).* 2011;294:559-64.
23. Chung BS, Ahn YH, Park JS. Ten triangles around cavernous sinus for surgical approach, described by schematic diagram and three dimensional models with the sectioned images. *J Korean Med Sci.* 2016;31:1455-63.
24. Chung BS, Park JS. Automatic segmentation of true color

- sectioned images using FMRIB Software Library: First trial in brain, gray matter, and white matter. *Clin Anat.* 2020;33:1197-203.
25. Chung BS, Chung MS, Park JS. Six walls of the cavernous sinus identified by sectioned images and three-dimensional models: Anatomic Report. *World Neurosurg.* 2015;84:337-44.
  26. Park HS, Chung MS, Shin DS, Jung YW, Park JS. Whole courses of the oculomotor, trochlear, and abducens nerves, identified in sectioned images and surface models. *Anat Rec (Hoboken).* 2015;298:436-43.
  27. Kim SK, Kim CY, Park JS. The Visible Korean: movable surface models of the foot. *Anat Biol Anthropol.* 2020;33:135-42. Korean.
  28. Uhl JF, Park JS, Chung MS, Delmas V. Three-dimensional reconstruction of urogenital tract from Visible Korean Human. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol.* 2006;288:893-9.
  29. Shin DS, Park JS, Shin BS, Chung MS. Surface models of the male urogenital organs built from the Visible Korean using popular software. *Anat Cell Biol.* 2011;44:151-9.
  30. Lee SE, Park JS. Automatic 3D modeling of liver segments including segmental branches of portal triad and hepatic vein based on the sectioned-images. *Int J Morphol.* 2018;36:402-6.
  31. Shin DS, Chung MS, Lee JW, Park JS, Chung J, Lee SB, et al. Advanced surface reconstruction technique to build detailed surface models of the liver and neighboring structures from the Visible Korean Human. *J Korean Med Sci.* 2009;24:375-83.
  32. Shin DS, Park JS, Lee SB, Lee SH, Chung J, Chung MS. Surface model of the gastrointestinal tract constructed from the Visible Korean. *Clin Anat.* 2009;22:601-9.
  33. Shin DS, Chung MS, Park JS, Park HS, Lee SB, Lee SH, et al. Three-dimensional surface models of detailed lumbosacral structures reconstructed from the Visible Korean. *Ann Anat.* 2011;193:64-70.
  34. Park JS, Chung MS, Park HS, Shin DS, Har DH, Cho ZH, et al. A proposal of new reference system for the standard axial, sagittal, coronal planes of brain based on the serially-sectioned images. *J Korean Med Sci.* 2010;25:135-41.
  35. Kim BC, Chung MS, Park HS, Shin DS, Park JS. Accessible and informative sectioned images and surface models of the maxillofacial area for orthognathic surgery. *Folia Morphol (Warsz).* 2015;74:346-51.
  36. Kwon K, Park JS, Shin BS. Virtual anatomical and endoscopic exploration method of internal human body for training simulator. *J Korean Med Sci.* 2020;35:e90.
  37. Kwon K, Shin DS, Shin BS, Park HS, Lee S, Jang HG, et al. Virtual endoscopic and laparoscopic exploration of stomach wall based on a cadaver's sectioned images. *J Korean Med Sci.* 2015;30:658-61.
  38. Kim BC, Chung MS, Kim HJ, Park JS, Shin DS. Sectioned images and surface models of a cadaver for understanding the deep circumflex iliac artery flap. *J Craniofac Surg.* 2014;25:626-9.
  39. Lee AK, Byun JK, Park JS, Choi HD, Yun J. Development of 7-year-old Korean child model for computational dosimetry. *ETRI J.* 2009;31:237-9.
  40. Park JS, Jung YW, Choi HD, Lee AK. VK-phantom male with 583 structures and female with 459 structures, based on the sectioned images of a male and a female, for computational dosimetry. *J Radiat Res.* 2018;59:338-80.
  41. Han M, Lee AK, Choi HD, Jung YW, Park JS. Averaged head phantoms from magnetic resonance images of Korean children and young adults. *Phys Med Biol.* 2018;63:035003.
  42. Park JS. Neuroman: Voxel phantoms from surface models of 300 head structures including 12 pairs of cranial nerves. *Health Phys.* 2020;119:192-205.
  43. Lee AK, Park JS, Hong SE, Taki M, Wake K, Wiart J, et al. Brain SAR of average male Korean child to adult models for mobile phone exposure assessment. *Phys Med Biol.* 2019;64:045004.
  44. Cho DH, Har DH. A study on the enhancement of sliced human anatomy imagery by removal high-frequency component. *AURA.* 2007;17:102-10. Korean.

**간추림** : 절단면영상은 사람 몸 속을 실제빛깔, 고해상도로 볼 수 있어서 해부학과 신경해부학에서 배우는 거의 모든 구조물을 볼 수 있었다. 절단면영상을 여러 용도로 활용하기 위해서는 다양한 영상 처리 작업을 수행해야 했다. 이 작업을 자동화할 수 있다면 작업을 위한 인력과 시간을 많이 줄일 수 있고, 작업 결과도 한결같이 만들 수 있었다. 그러나 절단면영상은 빛깔개수가 많고 해상도가 높고 영상 개수가 많아서 자동화 기술을 쓰기 어려웠다. 이 연구의 목적은 절단면영상과 같은 실제빛깔, 고해상도 영상을 다룰 수 있는 자동화 방법을 소개하고 쓰는 방법을 알려서, 영상 연구를 하는 연구자들이 좀 더 많은 일을 빨리 할 수 있게 돕는 것이다. 절단면영상의 영상 처리작업을 자동으로 수행하기 위해서 Adobe Photoshop, Matlab 같은 상업용 소프트웨어와 MRICroGL, FMRIB Software Library 같은 무료 소프트웨어를 함께 썼다. 소프트웨어에서 자동으로 수행하지 못하는 작업은 C++ 프로그래밍 언어와 Javascript 언어로 코딩하여 자동화 기술을 개발하였다. 자동화 기술을 써서 절단면영상에서 여러 구조물을 빛깔로 칠한 구역화영상을 만들었다. 절단면영상과 구역화영상으로 표면3차원영상과 부피3차원영상을 자동으로 만들었다. 표면3차원영상과 부피3차원영상을 Adobe Reader와 MRICroGL로 볼 수 있게 만들었다. 자동화 기술을 써서 절단면영상을 처리하는 데 소요되는 시간과 노력을 줄일 수 있었다. 하지만 자동화만으로 최종 결과물을 만들 수 없기 때문에 수동화 작업을 함께 해야했다. 가장 좋은 최종 결과물을 만들기 위해서 자동화 기능과 수동화 기능을 잘 조합하여 쓰는 것이 중요했다. 앞으로 자동화 기능을 더 찾고 개발해서 수동화 작업을 최대한 줄일 것이다.

**찾아보기 낱말** : 절단해부학, 3차원영상, 한국인의 절단면영상