

MRI와 뇌기능 매핑

윤성대 · 박현욱 (KAIST)

I. 서론

자기 공명 영상 장치 (MRI: Magnetic Resonance Imaging)는 생물체의 내부 구조, 기능을 알아보거나 혹은 질병을 진단하는 데 사용하는 의료 영상 장비 중 하나로서, 최근 병원이나 연구실 등에서 널리 사용되고 있다.

자기 공명 영상법은 핵자기 공명 (nuclear magnetic resonance) 현상을 이용하여 물체의 신호를 획득하게 되는데, 이는 1937년 물리학자 Rabi에 의해 그 존재가 알려졌다^[1]. 이 후 1946년 Purcell과 Bloch은 물에서 핵공명 신호를 얻는데 성공하였는데, Bloch은 핵 공명 신호를 수학적으로 분석하고 이른바 Bloch Equation이라는 수식을 만들어 핵자기 공명 현상을 이해하는데 기반을 마련하였다. 1973년 Lauterbur는 경사자장 (magnetic field gradient)의 개념을 도입하여 투영 (projection) 데이터를 획득함으로써 최초의 자기 공명 영상을 획득하였고, 1974년에 이어서 최초로 살아있는 생물인 쥐에 대해 영상을 얻을 수 있었다. 이 후 1975년 Ernst와 Zurich는 2차원 핵자기 공명 이론과 Fourier 변환에 기반한 영상법을 개발하여 오늘날의 MRI

의 모델을 확립하였다^[2].

이로부터 거듭된 연구를 통해 MRI는 성공적으로 상용화가 되었고, 현재 GE, Philips, Siemens 등의 기업이 이 시장을 주도하고 있으며, 더욱 성능을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다. 핵자기 공명 현상은 자기장의 세기와 직접적으로 관련이 있기 때문에 보다 좋은 영상을 얻기 위해 MRI 영상의 자장 세기를 높이려는 노력이 있어왔다. 그 결과로 현재 병원의 진단용으로는 3T (Tesla) 이상의 고자장 세기의 MRI가 널리 보급이 되었으며, 일부 연구소에서는 7T 이상의 초고자장 MRI 시스템을 보유하여 높은 해상도와 높은 품질의 영상을 얻고 있다.

이런 하드웨어의 발전과 함께 영상을 보다 효과적으로 얻는 자기 공명 영상법, 획득된 영상으로부터 보다 정확한 정보를 추출하는 알고리즘과 같은 영상 시퀀스 및 소프트웨어 개발도 이루어졌으며 이를 MRI에 적용한 많은 연구들이 수행되었다.

대표적으로 뇌기능 자기 공명 영상법 (fMRI: functional MRI)이 있는데, 이는 실제로 동물이나 인간이 어떤 자극을 받거나 행동을 했을 때 이런 기능을 담당하는 뇌 영역이 어디인지 알아

보는 영상법이다. 1990년에 Seiji Ogawa에 의해 개발된 후 이 영상법은 뇌에 물리적으로 직접 자극을 가하지 않고도 어떤 부분에서 무슨 기능을 하는지 개인별로 확인을 할 수 있다는 점에서 크게 주목을 받았다. 그 후 fMRI 영상법은 많은 연구를 통해 그 성능이 개선되었으며, 여러 실험에 응용되어 뇌의 다양한 기능이 탐구되고 해석되었다.

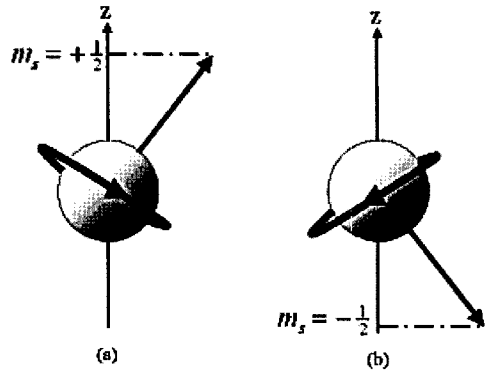
앞으로의 단락에서는 이런 MRI 영상 획득의 기본 원리와 장점에 대해 알아보고, 현재 뇌기능 매핑 기법으로서 가장 널리 쓰이는 fMRI의 원리와 그 예시 연구들에 대해 소개할 것이다. 또한, 뇌기능 매핑 기술개발의 중요성과 앞으로의 기술동향에 대해서도 언급하고자 한다.

II. 자기 공명 영상 장치 (MRI)

1. MRI 영상 획득 원리

자기 공명 영상법은 인체의 각 세포에 포함된 수소(1H) 원자핵, 즉 양성자의 자기성을 이용하여 신호를 획득하고 이를 영상화시키는 기술이다. 인체의 대부분은 물로 구성되어 있으므로, 여타 원소의 원자핵보다 수소의 원자핵을 이용하는 것이 신호를 얻어내는 데 보다 유리하다^[3].

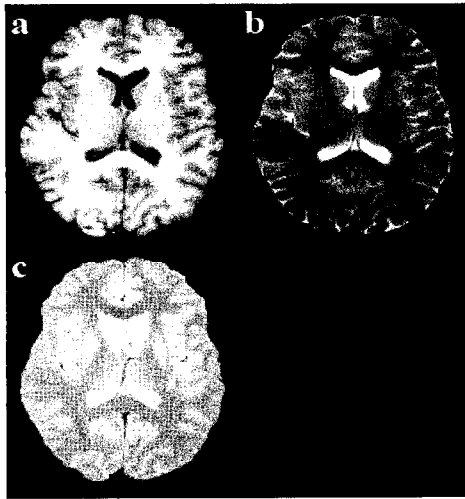
양성자는 팽이처럼 축을 갖고 회전하는 작은 막대자석에 비유될 수 있고, 자유로운 상태에서 양성자들은 임의의 방향을 향하는 회전축을 중심으로 지구처럼 자전하고 있다. 그러나, 이런 스핀들은 주변에 자장이 존재할 경우 그 자장의 방향을 축으로 하여 그 자장 세기에 비례한 주파수를 가지고 자전운동을 하게 되는데 이를 세차운동 (precession)이라 한다^[1] <그림 1>.



<그림 1> 세차운동을 하는 스핀 (a) 낮은 에너지 상태 (자장과 같은 방향), (b) 높은 에너지 상태 (자장과 반대방향)

이 때, 스핀들의 에너지 상태는 낮은 에너지와 높은 에너지 상태로 나뉘게 되는데, 외부에서 세차운동과 동일한 주파수의 RF (Radio Frequency) 펄스를 쏘아주게 되면, 핵자기 공명이 일어나 낮은 에너지 상태에 있던 스핀들이 에너지를 흡수하여 높은 에너지 상태로 이동한다 (여기: excitation). 이 후 가해진 RF 펄스를 끊어주게 되면, 스핀들은 자기가 흡수했던 에너지를 방출하면서 원래의 상태로 돌아가는데 (이완: relaxation), 이 때 방출되는 에너지를 컴퓨터 처리하면 자기 공명 영상을 얻을 수 있다.

스핀들의 이완 작용은 종방향 (longitudinal), 횡방향 (transverse) 두 방향으로 동시에 일어나는데, 시간이 지남에 따라 점점 원래의 평형상태로 돌아가고자 한다. 여기된 스핀이 종방향으로 평형상태의 63%까지 회복하는 시간을 T_1 이라 하고, 횡방향으로 여기상태의 37%까지 떨어지는 시간을 T_2 라고 한다. 이런 T_1 , T_2 값은 물질의 조직별로 틀리기 때문에, 이런 특성을 이용하여 다양한 대비를 가진 영상을 획득할 수 있다. 즉, <그림 2>의 예시에서 보듯이 같은 대상이라 하더라도 조직별로 T_1 의 차이를 강조했는지, T_2



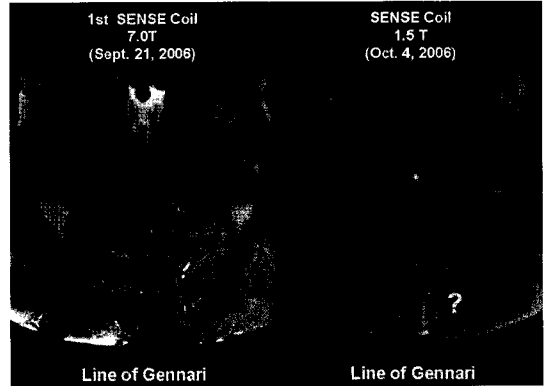
<그림 2> (a) T₁ 강조 (T₁-weighted) 영상, (b) T₂ 강조 (T₂-weighted) 영상, (c) 양자 밀도 강조 (Proton density) 영상. 인간의 뇌를 대상으로 하였다.

의 차이를 강조했는지, 혹은 오직 양성자의 밀도의 차이를 강조했는지에 따라 다른 대비의 영상을 얻을 수가 있다^[4].

이와 같은 서로 다른 영상 대비는 환자의 진단, 영상 분석, 특징점 추출 등 각각의 응용에 적절하게 선택되어져 사용되고 이를 위한 영상 시퀀스들도 많이 개발이 되어 있다.

2. 뇌 (Brain) 영상

최근 MRI를 사용하여 가장 연구가 많이 되고 주제 중 하나는 인간의 뇌를 탐구하고 해석하는 것이다. 특히 MRI는 여타 의료 영상 장비에 비해 인간의 뇌를 보다 효과적으로 촬영할 수 있다. 즉, 전산단층촬영장치 (CT: Computerized Tomography)처럼 X-ray와 같은 고에너지 방사선을 사용하지 않으며, 양전자방출단층촬영장치 (PET: Positron Emission Tomography)와 같이 방사능 물질을 주입할 필요가 없다. 또한, 앞



<그림 3> 좌로부터 각각 7.0T, 1.5T MRI로부터 얻은 인간 뇌 영상. 7.0T에서 젤나리선 (Line of Gennari)이 관찰된다.

서 설명했듯이 T₁, T₂와 같은 파라미터를 조정함으로써 다양한 대비를 가진 영상을 획득하기 때문에 CT나 PET과는 달리 영상으로부터 다양한 정보를 획득할 수 있다^[4].

MRI는 자장의 세기가 크면 클수록 높은 신호 잡음비 (SNR: Signal to Noise Ratio)와 대조 잡음비 (CNR: Contrast to Noise Ratio)의 영상을 획득할 수 있다. 최근, 이런 이점을 얻기 위해 보다 높은 자장의 세기를 가진 MRI를 개발하기 위해 많은 연구가 진행되고 있는데, 이는 보다 정확하고 질 좋은 뇌 영상을 얻는 지름길이 된다. <그림 3>은 인간의 뇌에 대한 1.5T와 7T의 영상을 비교한 그림인데, 높은 자장에서 뇌의 미세 부분이 훨씬 잘 관찰됨을 알 수 있다^[5].

III. 뇌기능 자기 공명 영상 (fMRI)

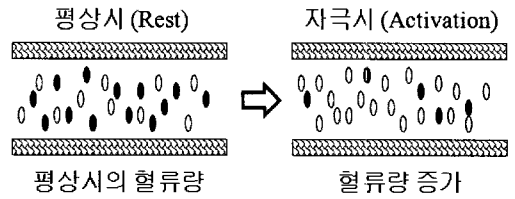
1. fMRI 기본 원리

fMRI는 뇌가 시각, 청각, 움직임, 감각과 같은 자극을 받을 때, 뇌의 어떤 부분이 활성화되는지

를 알아보는 영상법이다. 1890년 Roy와 Sherrington은, 신경활동이 일어나면 뇌에서 혈류량과 산소소모량 (혈류역학: hemodynamics)에 변화가 온다는 것을 밝혀내었다^[6]. 즉, 외부에서 자극이 주어지면, 이를 받아들이는 신체기관을 관장하는 뇌영역에서 신경활동이 증가하게 되고 이에 따른 에너지를 생성하기 위해 산소요구량이 증가하게 된다. 산소는 적혈구의 헤모글로빈 (hemoglobin)에 의해 옮겨지는 것이므로, 이에 따라 혈류량도 같이 증가하게 되는 것이다.

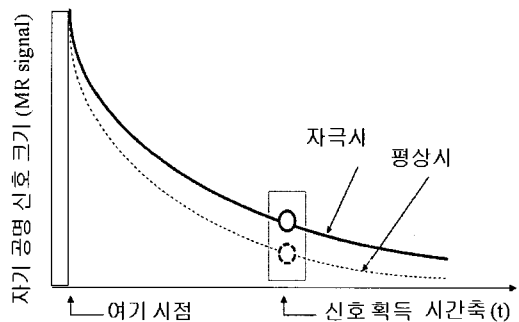
산소의 공급을 담당하는 헤모글로빈은 산소가 결합되어 있는 경우와 아닌 경우에 따라 각각 옥시헤모글로빈 (oxyhemoglobin), 디옥시헤모글로빈(deoxyhemoglobin)으로 불린다. 평상시 조직 속의 혈액에는 일정한 비율의 옥시헤모글로빈과 디옥시헤모글로빈이 존재하게 된다. 하지만 앞서 설명한 바와 같이 뇌의 일부분이 활성화 되면 뇌의 활동에 필요한 에너지를 생성하기 위해서 평소보다 많은 양의 산소를 필요로 하게 되고 그 결과 활성화 영역에서는 옥시헤모글로빈의 양이 디옥시헤모글로빈의 양보다 많아지게 된다.

옥시헤모글로빈은 산소원자와 헤모글로빈이 결합한 형태로서 디옥시헤모글로빈보다 자기장에 관한 자화율 (susceptibility)이 작은 값을 가진다. 자기 공명 영상 신호 대비 메커니즘에서 자기장에 관한 자화율이 작을수록 위상 각이 흩어지는 정도 (dephasing)도 작아지게 되는데, 이를 T_2^* 강조 영상법으로 데이터를 획득하면 그 부분에서 보다 큰 신호를 얻을 수 있게 된다. 따라서, 뇌가 평상시에 있을 때 얻은 신호와 자극을 받았을 때 얻은 신호는 그 크기에서 차이가 나기 때문에, 이런 신호 차이를 기반으로 뇌 활성화 영역을 찾는 방법을 BOLD fMRI (Blood



○ 옥시헤모글로빈 : 반자성체 → 낮은 자화율
 ● 디옥시헤모글로빈: 상자성체 → 높은 자화율

<그림 4> 평상시와 자극 상태의 혈류량 변화



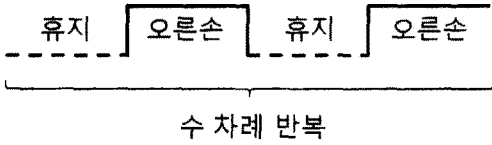
<그림 5> 평상시와 자극 상태의 T_2^* 영향에 따른 신호의 크기

Oxygenation Level Dependent fMRI) 라고 한다^[7]. 위의 그림은 설명한 기초 메커니즘을 도식화한 것이다.

2. fMRI 실험

앞서 설명했듯이 fMRI는 시간에 따른 뇌신호의 변화를 촬영하는 것이므로, 특정 피험자에게 어떤 시간대에 어떤 자극을 가할 것인지에 대한 실험 디자인을 해야 한다. 여러 유형의 실험 패러다임이 존재하지만, 여기서는 그 중 가장 널리 쓰이는 블록 기반의 패러다임 (block-based paradigm)에 대해 소개를 하고자 한다.

<그림 6>의 예를 보자. 이는 왼손과 오른손 움직임 자극에 대한 실험인데, “휴지”구간 동안에는 피험자로 하여금 가만히 있게 하고, “오른손”

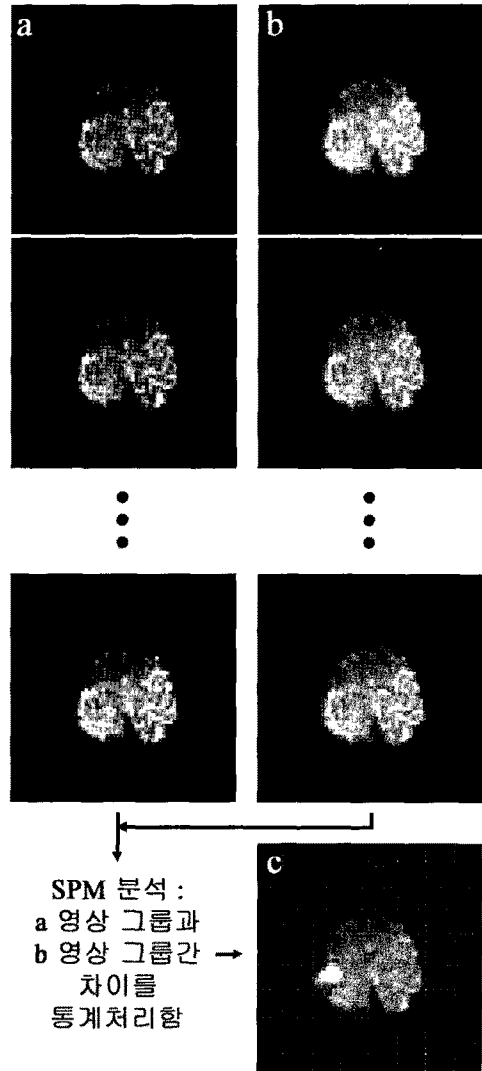


〈그림 6〉 블록 기반의 뇌기능 자기공명 영상 획득 패러다임

구간에는 오른손을 움직이도록 지시한다. 각 구간 동안에 영상을 짧게는 2장에서 길게는 8장 정도 촬영한다. 또한 뇌기능 신호의 신호대 잡음비 (SNR: Signal to Noise Ratio)를 높이기 위해 아래와 같은 패러다임을 수 차례 정도 반복한다.

위와 같은 패러다임을 사용하여 영상을 획득하기 위해서는 높은 시간 해상도로 MRI 영상을 획득하여야 하는데, 이를 위한 영상법으로서 에코 평면 영상법 (EPI: Echo Planar Imaging)이 주로 사용되고 있다. 이는 2~3초 내에 전체 뇌를 촬영할 수 있는 높은 시간 해상도 능력을 가지고 있는 반면, 그에 따라 영상에 유령 인공물 (ghost artifact), 기하학적 왜곡 (geometric distortion)과 같은 변형이 다른 영상법에 비해 심하게 나타나고 이를 위한 후처리를 해주어야 한다는 단점이 있다. 특히, MRI의 자장 세기가 커짐에 따라 EPI의 왜곡은 더욱 심해지며, 이의 해결을 위한 연구도 많이 진행되고 있다^[8]. 현재까지, EPI의 문제들이 완벽히 해결되지 않았으나 그 높은 시간 해상도로 인해 fMRI 실험에서 주로 사용되고 있다.

〈그림 7〉은 실제로 EPI를 사용하여 fMRI 영상 데이터를 획득한 예시이다. 그림 (a)와 (b)는 각각 “휴지”, “오른손”구간 동안 획득한 영상들이다. 앞서 설명했듯이 자극을 받은 뇌세포에서는 BOLD 신호가 발생하므로, 이 두 그룹간의 영상들을 통계적으로 비교 분석하여 그 차이점이 나타나는 위치를 파악하면, 그것이 바로 BOLD



〈그림 7〉 EPI로 획득한 fMRI 영상. (a) “휴지” 구간 동안 획득한 일련의 영상들, (b) “오른손” 구간 동안 획득한 일련의 영상들, (c) SPM 결과로부터 나온 활성화맵

신호가 나타나는 곳이 된다. 그 결과를 그림 (c)에 나타내었는데, 그림에서 밝은 색깔로 나타나는 부분이 BOLD 신호가 나타나는 곳이고, 밝기가 더욱 강할수록 그 차이 정도가 뚜렷하게 나타남을 뜻한다. 이를 흔히 활성화맵 (activation map)이라 부른다. 이와 같은 데이터를 분석 처

리해 주는 소프트웨어가 있는데, 그 중 가장 널리 쓰이는 것이 SPM (Statistical Parametric Mapping)^[9]으로서 위 결과는 이를 사용하여 얻은 결과이다. 그림으로부터 오른손 운동은 뇌의 좌반구가 담당함을 확인할 수 있다.

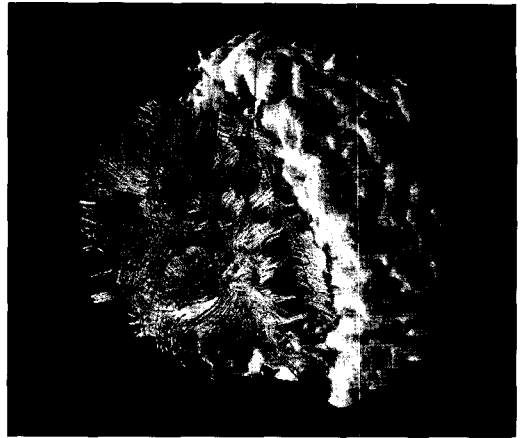
IV. 뇌기능 매핑 기법

1. 볼륨 가시화 (Volume visualization)

흔히 fMRI 데이터를 얻을 때, 3차원으로 된 뇌에 대해 이를 2차원의 여러 단면으로 잘라서 영상을 얻게 된다. 앞 단락의 예시 그림을 보면, 2차원으로 된 하나의 뇌 단면에 fMRI 결과를 밝기로 표시하였는데, 이를 보다 사람의 시각의 입장에서 효과적으로 나타내기 위해 3차원인 전체 볼륨에 대해 가시화를 한다.

2차원의 여러 단면 영상을 이용하여 3차원으로 구성하기 위해 여러 영상처리 알고리즘이 사용된다. 노이즈를 제거하거나 우리가 필요로 하는 정보를 보다 부각시키기 위한 필터링 작업, 샘플된 2차원 영상들의 간격이 불균일 할 경우 수행되는 보간 (interpolation) 작업, 영상에서 불필요한 부분을 제거하는 세그멘테이션 (segmentation) 작업, 그리고 3차원 데이터로 구성하기 위한 렌더링 (rendering), 셰이딩 (shading) 작업 등이 필요하다.

<그림 8>은 앞 단락의 예시에서 보인 손 움직임의 경우를 볼륨으로 가시화한 결과이다. 그림에서는 뇌의 좌반구만을 표시하였으며, 이 좌반구 영역에 오른손 움직임에 대한 fMRI 결과를 표시할 수 있다. 우반구 영역에는 뇌 볼륨 대신 신경 섬유질의 분포를 나타내었는데, 이는 확산 장



<그림 8> 3차원 가시화의 예. 좌반구와 함께 fMRI 데이터를 표시할 수 있고, 여기서는 우반구의 신경백질 섬유를 같이 표현하였다.

조 영상법 (DTI: Diffusion Tensor Imaging) 으로부터 얻은 정보로서, 사람의 신경 섬유가 어떤 방향으로 얼마나 분포되어 있는지를 알아보는 영상법이다. 그림에서 서로 다른 방향으로 뻗어 나가는 신경 섬유는 서로 다른 밝기를 가지고 있다. 이러한 신경 섬유 분포도 뇌를 이해하는 데 있어서 많은 정보를 제공하여 준다. 이는 사람의 뇌에 대하여 fMRI 정보 하나로 모든 것을 알 수가 없으므로 신경 섬유 분포 데이터, 그리고 고해상도 구조학적 영상 (anatomical image) 등 정보를 복합적으로 결합하여 해석을 하는 방법 중 하나이다.

2. 표면 (surface) 매핑

3차원의 뇌에 fMRI 신호를 매핑하는 다른 방법으로서 뇌의 모양을 단순화 시킨 모형에 매핑하는 것이다. 즉, 뇌는 기하학적으로 매우 복잡한 형태를 띄고 있는데, 이를 마치 풍선처럼 부풀려서 하나의 매끄러운 표면의 구로 만든다던가 (inflation) 또는 3차원의 지구를 2차원의 지도

로 만드는 것과 비슷하게 뇌의 표면을 2차원의 평면으로 만드는 방법이 있다 (flattening). 위와 같은 방법은 보다 표면적으로 어떤 지역에서 자극에 대한 활성화가 이루어졌는지 알아보는 데 유용하다.

앞에서 소개한 오른손 운동으로 얻는 fMRI 데이터에 대해 이와 같은 과정을 수행하면 그림 9와 같은 결과를 얻을 수가 있다. 왼쪽 위의 그림은 초기에 3차원으로 뇌를 만든 모형에 fMRI 데이터를 매핑한 것이다. 그림에서 다른 밝기로 표시된 점은 fMRI 실험으로부터 얻어진 오른손 운동을 담당하고 있는 뇌 영역을 표시한 것이다. 보다시피 3차원 뇌 모형은 겉 표면이 복잡한 구조를 띄고 있기 때문에 이를 평활화시키는 (flattening)

작업을 수행한다.

이렇게 얻어진 데이터에 inflation 알고리즘을 적용시켜 뇌를 3차원의 매끄러운 구의 형태로 표현한다. 이 때, 구에서 어떤 위치가 실제로 원래의 3차원 뇌 모양의 위치였는지에 대한 관계를 설정하여 fMRI 데이터도 그 원래의 위치에 해당되는 곳에 매핑을 한다. 그리고, 또 다른 방법으로서 3차원의 구가 아닌 2차원의 평면으로 뇌를 만드는 방법인 flattening이 있다. 여기서도 마찬가지로 원래의 3차원 뇌의 각 포인트가 2차원의 flattening된 평면에서 어느 위치랑 대응되는지를 설정하여 fMRI 데이터도 이에 맞게 매핑을 하면 <그림 9>의 오른쪽 아래와 같은 결과를 얻을 수 있다.



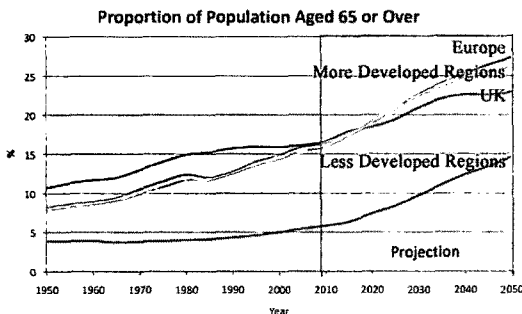
<그림 9> 표면 매핑의 예시. 왼쪽 위에서부터 오른쪽 아래의 순서로 초기의 3차원 뇌 모습, smoothing과정을 거친 모습, inflation된 surface에 매핑한 결과, flattening된 surface에 매핑한 결과. 그림에서 다른 밝기로 표시된 점이 fMRI 실험으로부터 획득한 자극된 영역

V. 뇌기능 연구의 중요성

1. 고령화 사회와 뇌질환

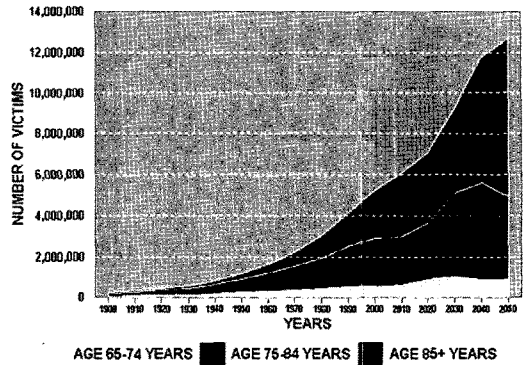
최근 의료 기술과 복시 시스템의 발전으로 인해 점점 인간의 수명이 늘어나고 있는 추세이다. 이에 따라 전체 인구 중에 고령 인구 (65세 이상)가 차지하는 비율이 점점 늘어나고 있는데, 이와 같은 현상은 특히 기술의 혜택을 입은 선진국에서 보다 가속화되어 가고 있다. <그림 10>은 UN에서 발표한 세계 인구 고령화 예측 그래프인데^[10], 유럽과 영국과 같은 선진국의 경우는 2050년까지 고령 인구가 전체 인구의 30% 정도에 까지 육박하게 되고, 개발 도상국의 경우는 이보다 낮은 15% 정도 수준에 머물 것으로 내다보았다. 그러나 개발 도상국의 경우도 역시 년도에 따라 꾸준히 증가함을 알 수 있다.

고령화 사회가 나타남에 따라 나타나는 알츠하이머 (Alzheimer), 파킨슨 (Parkinson), 치매, 간질과 같은 뇌질환이 가장 큰 문제 중 하나로 대두되고 있다. 오클라호마 대학에서 발표한 자료에 따르면^[11], 미국의 경우 2050년에는 총 1200만이 넘는 인구가 알츠하이머 질병에 걸릴 것으로 내다보았다. 이와 같이 고령화 사회에서



<그림 10> 고령 인구 예측 분포도

PREVALENCE OF ALZHEIMER'S DISEASE
(BY DECADES IN U.S.A. FROM 1900-2050)



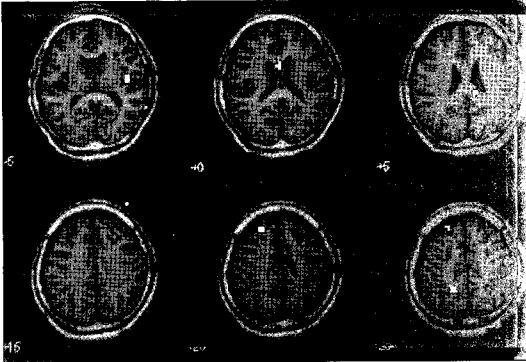
<그림 11> 알츠하이머 질환 증가 예측도

보다 건강한 삶을 유지하기 위해서는 이런 뇌질환에 대한 대책이 마련되어야 할 것이다.

2. 뇌기능 연구를 통한 뇌질환 치료

뇌 질환을 치료하기 위해서는 인간의 뇌에 대한 깊은 이해가 필수적이다. 특히 fMRI 기법은 인간의 복잡한 뇌기능을 비침습적으로 알아볼 수 있다는 점에서 사람의 뇌를 탐구하는 유용한 도구가 된다.

<그림 12>는 간질을 앓고 있는 환자의 fMRI 결과를 보여주고 있는데, 그림에서 밝은 색 점으로 표시된 부분이 간질이 있을 것으로 추정되는 부위이다. 이처럼 fMRI 실험을 통해 어떤 환자의 질병이 있는 부위를 미세하게 특정화 할 수 있다면 보다 정확한 수술을 할 수 있을 것이고, 또한 질병의 징후가 나타나기 전에 위와 같은 실험을 통하여 조기에 그 질병을 찾을 가능성도 높아질 것이다. 이런 실험 결과를 바탕으로 뇌에 대한 이해를 높일 수 있으며, 또한 관련된 신약개발 산업을 일으킬 수 있게 된다. 이는 앞으로 보다 쉽고 편안하게 질병을 치료할 수 있게 해 줄 것이다.



〈그림 12〉 간질 환자의 fMRI 데이터

VI. 결론

최근 MRI는 인간의 뇌를 탐구하는 도구로서 널리 사용되고 있다. 특히 fMRI라는 뇌기능 영상 기법이 개발된 이후에 보다 사람들이 MRI라는 영상 도구에 관심을 가지게 되었고, 이에 따라 하드웨어, 소프트웨어 방면으로 많은 기술 발전을 가져왔다. 또한, MRI는 여타 의료 영상 장비에 비해 실험 목적에 맞는 다양한 영상 대비를 가진 데이터를 획득할 수 있고, 인체에 무해한 장점을 가지고 있어 뇌 뿐 아니라 다른 부분의 장기를 살펴보는 데도 많이 쓰이고 있다.

앞으로 다가올 고령사회에서는 인체의 질병을 조기에 판단하고 치료하는 기법의 개발이 필수적이다. 특히 현대사회에 알츠하이머, 파킨슨, 치매, 간질과 같은 뇌와 관련된 질환에 대한 문제가 이슈로 떠오르고 있다. 이에 효과적인 치료 방법의 모색을 위해 fMRI를 통한 뇌기능 탐색 연구가 많이 이루어지고 있다. 또한 이와 함께, 영상 획득 시퀀스, 영상 분석 방법, 초고자장 이상의 MRI 시스템 개발 등이 이루어짐에 따라 보다 나은 질의 영상을 얻게 되어 위와 같은 질병을 보다 정확하게 찾아내는데 도움을 주고 있다.

참고문헌

- [1] 오창현, MRI의 원리와 응용, Journal of the Korean Magnetic Society, Vol. 6, pp. 272, 1996
- [2] Toga AW, Mazziotta JC, Brain mapping the methods, pp. 147-166, Academic press, 1996
- [3] 윤성대, 박현욱, fMRI 영상 측정 및 분석 연구 현황, 정보과학회지 제 27권 제 4호, pp 25-32, 2009.4
- [4] <http://www.fmrib.ox.ac.uk/analysis/research/fast/slideshow/all.htm>
- [5] <http://blog.yonhapnews.co.kr/scoopkim/post/cat55/page3>
- [6] Roy CS. Sherrington, CS, On the regulation of the blood-supply of the brain, J Physiol, Vol. 11, pp. 85-158.17, 1890
- [7] Ogawa S, Lee TM, Nayak AS, Glynn P, Oxygenation-sensitive contrast in magnetic resonance image of rodent brain at high magnetic fields, Magn Reson Med, Vol. 14, pp. 68-78, 1990
- [8] Speck O, Stadler J, Zaitsev M, High resolution single-shot EPI at 7T, Magn Reson Mater Phy, Vol. 21, pp. 73-86, 2008
- [9] Friston KJ, Ashburner JT., Kiebel SJ, Nichols TE, Penny WD, Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images, 2nd Ed, pp. 234, McGraw-Hill, 1979.
- [10] <http://www.localfutures.com/>
- [11] <http://folding.stanford.edu/English/FAQ-Diseases>

저자소개



윤 성 대

2003년 2월 KAIST 전기및전자공학과 학사
2004년 8월 KAIST 전기및전자공학과 석사
2009년 8월 KAIST 전기및전자공학과 박사
2009년 9월~현재 KAIST fMRI 연구실, PostDoctor
주관심 분야 : 자기 공명 영상 획득 및 처리



박 현 욱

21981년 2월 서울대학교 전기공학과 학사
1983년 2월 KAIST 영상공학 석사
1988년 2월 KAIST 영상공학 박사
1983년 3월~1986년 2월 금성통신 연구소, 연구원
1988년 3월~1989년 6월 KAIST, PostDoctor
1989년 7월~1992년 3월 미국 워싱턴 대학, PostDoctor
1992년 5월~1993년 7월 삼성전자 정보컴퓨터연구소,
수석연구원
1993년 8월~현재 KAIST 전기및전자공학과, 교수
주관심 분야 : 의료영상시스템, MRI, 디지털영상처리