

# 두뇌 기능 구현을 위한 지능형 정보 레이어 설계

## Design of Intelligent Information Layer for Function Generation of Brain

김성주, 김종수, 전홍태\*

멀티채널랩스(주)

\*중앙대학교 일반대학원 전자전기공학부

전화 : 032-621-4011

Seong-Joo Kim, Jong-Soo Kim, and Hong-Tae Jeon\*

Multichannel labs. Co.

\*School of Electrical and Electronic Engineering, Chung-Ang University

E-mail: [ksj1212@xclef.com](mailto:ksj1212@xclef.com)

### 요약문

인간의 뇌와 같이 다양한 정보들을 구분하고 처리하며 기억할 수 있는 능력을 지닌 시스템은 현재 지능 기법이 적용되고 있는 제어, 통신, 인터넷 응용 기술, 경영 분야, 분석 및 예측 등의 분야에 응용될 수 있으며 그 성능을 효과적으로 향상시킬 것이다. 이러한 다양한 분야에 활용될 수 있는 통합 모델을 제시하고 점차 발전시켜나감으로써 미래에 기대되는 다양한 인간형 시스템, 친환경적 시스템, 인간보조 시스템 등의 공학적 시스템 측면과 인간을 대신할 수 있으면서 인간과 유사한 능력을 지닌 학습 시스템, 추론 시스템, 판단 시스템 등의 지능형 시스템 측면에서 활용 가능한 모델로 성장시켜 나갈 수 있다. 이에, 본 논문에서는 생물학적인 두뇌의 정보처리 메커니즘을 해석하고 공학적인 개념의 정립과 정보처리 흐름을 규명하고 정의함으로써 출력에 반영할 수 있는 모듈을 설계하고 최종적으로, 뇌 정보처리 메커니즘에 기반한 레이어를 설계하여 범용으로 사용될 수 있도록 하고자 한다. 본 논문에서 설명되는 레이어 구조는 공학적인 분야는 물론 생물학적 뇌 연구에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**Keywords : Intelligence, Brain Information Processing, Artificial Model, Information Layer**

### 1. 서론

인간의 두뇌는 현재까지 존재하는 정보처리 시스템 중에서 가장 뛰어난 성능을 지니고 있다고 할 수 있으며, 나날이 발전하는 사회에서 시스템은 점점 인간과 친숙해져야 하는 과제를 안고 있다고 할 수 있다. 사회가 복잡해지면서 시스템은 하드웨어와 소프트웨어 측면에서 많은 발전을 거듭하고 있다. 따라서 시스템의 제어기는 많은 양의 정보들을 처리해야 하며 그

결과로써 복잡한 문제에 대한 답을 제시하거나 미래 상황을 예측할 수 있는 기능이 요구되고 있다. 또한 시스템의 하드웨어적인 발전은 시스템을 인간에 의해 움직이거나 인간을 대신하여 동작하는 대상의 개념이 아닌 인간과 함께 생활하며 인간과 함께 상호 작용을 이루는 개념으로 인식하게 되었다. 이에 따라 시스템은 인간처럼 사물을 인식하고 대상을 기억하며 상황을 판단하고 동작을 계획하며 실행하는 능력을 지니게 된다. 이처럼 시스템의 성능이 발달하고

있으며, 요구되는 사항이 증가함에 따라 복잡한 사고 능력을 지닌 시스템이 필요하게 되었다.

생물학적 뇌 정보처리 메커니즘을 보다 정확하게 구현할 수 있는 시스템은 입력에 대한 정확한 인지 능력, 상황 판단 능력, 학습 및 추론 능력, 출력의 결정 능력 등의 성능 구현은 물론이며, 감정과 비교될 수 있는 시스템의 상태를 평가하여 판단 및 결정에 적용함으로써 매우 뛰어난 지능형 시스템이 될 수 있다.

이에, 본 논문에서는 생물학적인 두뇌의 정보처리 메커니즘을 해석하고 공학적인 개념의 정립과 정보처리 흐름을 규명하고 정의함으로써 출력에 반영할 수 있는 모듈을 설계하고 최종적으로, 뇌 정보처리 메커니즘에 기반한 레이어를 설계하여 범용으로 사용될 수 있도록 하고자 한다. 본 논문에서 설명되는 레이어 구조는 공학적인 분야는 물론 생물학적 뇌 연구에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 본 론

뇌의 정보처리 메커니즘은 현재까지 밝혀진 바에 의하면 수평, 수직 방향의 신경조직들에 의해 이루어지며 상호간의 연관성이 매우 높고 각기 독립적인 성격도 강하다[1]. 생물학적으로 살펴본 뇌의 구성 요소는 여러 신경조직들로 표현되는 조직들과 조직들이 모여 이루어진 단일한 덩어리 형태의 영역으로 구분할 수 있다. 조직을 이루고 있는 세포들은 다양한 형태를 띠고 있으며 기능도 매우 다양한 것으로 알려져 있다. 또한, 조직의 세포들은 상호 연결되어 신호를 전달하는 데 그 전달 방식은 매우 다양하다. 이렇게 다양한 세포들의 연결과 정보처리를 근간으로 영역을 이루게 되고 영역은 또다시 다른 영역과 복잡한 구조로 연결되어 있으며 많은 정보들을 동시에 처리하는 것이다. 한마디로 표현한다면, 두뇌의 구조는 매우 복잡하게 연결되어 있고 그 안에서 이루어지는 정보 처리는 방식과 범위에 있어서 매우 광범위하다고 할 수 있다.

그렇기 때문에 두뇌에 대한 생물학적 또는 생리학적 연구의 결과들은 현재까지 많은 부분에서 밝혀지고 있지만 아직도 대부분의 두뇌에

대한 정보는 존재하지 않거나 일종의 추측에 의해서 알려져 있을 뿐이다. 그러므로 본 논문에서는 두뇌의 밝혀진 부분과 추측으로 예상되는 부분들에 국한하여 두뇌의 기능이나 영역을 구분할 것이다.

뇌의 기능과 내부의 정보처리 방식을 이해하기 위해 생물학적인 뇌의 개념과 구조를 보다 세분하여 살펴보고자 한다. 생물학적으로 밝혀진 뇌의 전반적인 구조 및 특징[2]을 모두 살펴보는 것은 그 내용이 너무 방대하기 때문에 본 논문에서 정의하고 공학적으로 해석할 필요가 있는 부분에 대해서 그 내용을 정리하였다.

### 2.1 대뇌 피질 층판 구조

대뇌피질은 모두 층판 구조를 하고 있으며, 동형피질(isocortex)은 표면쪽에서부터 백색질 쪽으로 I층에서 VI층까지 6개의 층으로 구분할 수 있다. I층은 분자층(molecular layer)이라고 하며, II층은 외과립층(external granular layer), III층은 외피라미드층(external pyramidal layer), IV층은 내과립층(internal granular layer), V층은 내피라미드층(internal pyramidal layer), VI층은 다형층(multiform layer)이라고 한다. VI층 바깥쪽으로는 대뇌백색질(cerebral white matter) 또는 수질 중심(medullary center)이 있으며 이 부분에는 대뇌피질에서 나오거나 대뇌피질로 들어가는 축삭 다발이 위치해 있다(그림 1).

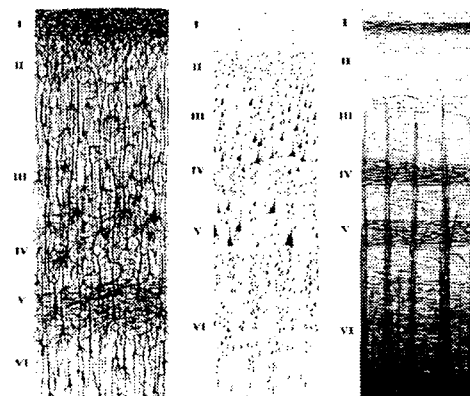


그림 1 대뇌피질의 다층구조

I층 즉 분자층(molecular layer)은 주로 수평 방향으로 배열되어 있는 신경섬유로 구성된 층으로 신경원의 세포체는 잘 관찰되지 않는다.

이 부분에서 관찰되는 신경원은 카탈수평세포와 작은 별신경원이 있다. 이 세포들의 축삭 종말의 대부분은 I층 내에 국한되어 있다. 이 부분에는 심층에 위치하는 피라미드세포의 첨단 수상돌기가 끝나는 부분으로 대부분 끝 부분이 수평 방향으로 갈라져 수평한 방향의 축삭 종말과 함께 주행한다. 시상의 비특수핵(nonspecific nuclei)에서 들어오는 비특수시상피질섬유(nonspecific thalamocortical fiber)와 대뇌피질의 다른 부위에서 들어오는 연합섬유(association fiber) 및 교련섬유(commisural fiber)의 종말부도 이 부분에서 둘로 갈라져 수평 방향으로 주행하며 수상돌기 가시에 수많은 시냅스를 형성한다.

II층 외과립층(external granular layer)은 작은 과립세포(granular cell)가 조밀하게 모여 있는 층으로 유수신경섬유도 거의 없는 층이다.

III층 외피라미드층(external granular layer)은 중간 크기에서 큰 피라미드세포로 구성되어 있으며 작은 세포는 표면 쪽에 위치하고 큰 세포는 깊은 부분에 위치한다. 이 세포의 축삭은 연합섬유(association fiber)와 교련섬유(commisural fiber)가 되어 대뇌피질의 다른 부분으로 이어진다. 연합섬유를 내는 신경원이 좀 더 표면 쪽에 위치하고 교련섬유를 내는 신경원은 보다 심부에 위치한다. 피라미드세포의 축삭이 대뇌피질을 벗어나기 전에 여러 개의 곁가지를 낸다. 이 중 되돌이 곁가지(recurrent collateral)는 세포체 쪽으로 상행하여 세포체 근처에서 종지하며, 나머지 곁가지는 대뇌피질의 심층에 분포한다.

IV층 내과립층(internal granular layer)은 작은 과립신경원이 조밀하게 모여 있는 층으로, 피질구심섬유 중에서는 가장 많고 뚜렷한 특수시상피질 섬유(specific thalamocortical fiber)가 종지하는 부분이다. 따라서 이 부분은 대뇌 피질의 주 입력부가 된다.

V층 내피라미드층(internal pyramidal layer)은 중간 크기에서 거대세포까지의 피라미드세포가 모여 있다. 일차운동피질(M-1)에는 이 부분에 거대피라미드세포(giant pyramidal cell)가 있다. 이 부분의 피라미드 세포는 대부분 투사섬유(projection fiber)를 내어 피질하구조에 분

포한다. 이 투사섬유는 대뇌수질중심(medullary center)을 지나 내섬유막(internal capsule)을 형성하여 선조(striatum), 소뇌(cerebellum), 뇌간(brain stem), 척수(spinal cord)에 분포한다. 따라서 이 부분은 대뇌피질의 주 출력부라고 할 수 있다. 기저핵에 투사되는 섬유는 표면 쪽에 위치해 있고 척수에 투사되는 섬유는 기저부에 위치한다. V층 피라미드 세포의 첨단 수상돌기는 I층까지 뻗어 있다.

VI층 다형층(multiform layer)에는 방추세포(fusiform cell)가 매우 많으며 중간 크기의 피라미드세포와 다양한 크기의 과립세포도 관찰된다. 이 층의 신경원은 주로 시상으로 이어지는 피질시상섬유(corticothalamic fiber)를 형성하며 피질전장섬유(corticoclaustral fiber)와 일부 연합 섬유도 이 부분에서 기원된다.

또한, 대뇌피질로 들어오는 섬유는 시상에서 들어오는 시상피질섬유(thalamocortical fiber)와 다른 피질 부위에서 들어오는 피질간섬유(corico-cortical fiber), 그리고 시상을 통하지 않고 피질하구조에서 직접 대뇌피질로 들어오는 시상외피질하섬유(extrathalamic subcortical fiber)가 있다(그림 2).

시상피질섬유는 다시 특수피질중개핵에서 들어오는 특수피질시상섬유와 비특수핵에서 들어오는 비특수시상피질 섬유로 나눌 수 있다. 이 중에서 특수피질시상섬유는 매우 많고 뚜렷하며 대부분은 내과립층에 종지한다. 특수피질시상섬유는 대부분의 감각섬유와 소뇌, 기저핵, 변연계의 구조에서 들어오는 핵들에서 기원되는 섬유로 구성되어 있다. 특수피질시상섬유의 종말부는 시상에서 기원되며 대뇌 피질의 I층과 VI층에 주로 종지한다.

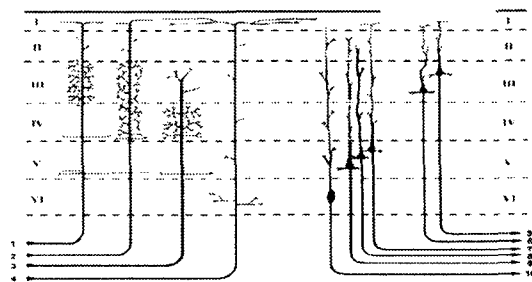


그림 2. 각종 섬유의 종지와 신경원의 위치

### 2.2 6층 구조에 의한 정보처리 해석

뇌의 정보처리는 대부분 뇌의 영역 전반에서 상호 협조적이며 유기적인 관계로 연관되어 진행된다. 인간의 경우에는 뇌의 대뇌피질 영역에서 주요 정보처리가 이루어지며 생물학적으로는 6개의 층으로 구분된다.

각 층간의 연결은 뇌의 신경조직에 의해 연결되어 있으며, 각 층은 특별한 기능을 수행하고 있는 것으로 밝혀져 있다[1].

이를 그림으로 설명하면 그림 3과 같이 도식화할 수 있다.

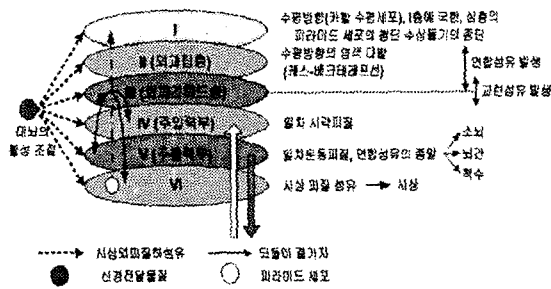


그림 3 대뇌피질 6층 구조의 해석 및 정의

그림 3에서는 대뇌피질의 영역과 정보의 흐름을 수평 방향으로 분류하는 동시에 수직 방향으로 분류하여 설명한 그림이다.

수평 방향으로는 대뇌피질의 영역은 크게 감각, 연합, 운동피질로 구분되어 있으며 각 피질은 감각호문쿨로스, 운동호문쿨로스에서 분류된 바와 같이 영역이 해당하는 생체 기관과 일치하도록 구분할 수 있다. 또한, 각 영역은 감각의 처리에 필요한 특징을 추출하는 영역이 별도로 존재할 것으로 여겨진다. 예를 들면, 시각에 대한 정보를 처리하는 감각피질은 '눈'과 연결되어 있는 부분일 것이며, 여기에는 색상, 형태, 움직임 등의 특징을 처리하는 영역이 각기 존재할 것이다. 따라서 수평 방향으로 나뉘어진 영역의 수직 방향으로의 정보 흐름을 정리하면 그림 4와 같이 확장된 그림으로 표현이 가능하다. 이는 대뇌피질 6층의 각 영역에서 처리하는 정보의 종류 및 연결되는 신경의 종류 등을 종합하여 해석한 것이다.

그림 4는 생물학적인 뇌 정보처리 흐름을 해석하여 각 층의 역할에 따른 흐름을 표현한 것이다. 이는 공학적인 해석을 거쳐 정보를 전

달하는 흐름으로 이해될 수 있다.

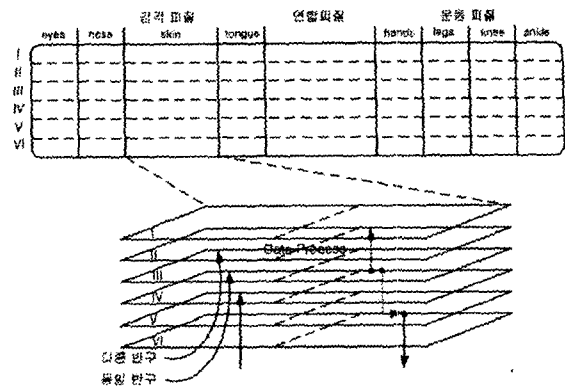


그림 4. 수평-수직 방향 정보 흐름

### 2.3 각 층별 정보처리 과정 해석

대뇌 피질에서의 정보 처리 구조는 크게 감각 정보에 대한 정보 처리와 피질과 피질간의 정보 전송이라 할 수 있다. 감각 정보의 처리는 입력된 감각 정보에 대한 특징을 추출하고 감각 특징에 의한 감정의 활성화 정도를 변연계에서 처리하여 연합 영역 및 특정 피질로 전송한다. 그림 5는 그 과정을 도식화하여 설명한 그림이며 I-VI층의 기능 중에서 입력과 층간의 정보 전송 그리고 감정 정보의 흐름을 주요 내용으로 설명하였다. 각 층에 표시된 *LF* 또는 *III\_B*는 해당 층을 표시함과 동시에 전방향 또는 역방향을 표시하는 기호로 표시하여 입력에 관한 정보의 흐름인지 출력에 관한 정보의 흐름인지를 구분하여 표시하였다. 예를 들면 *LF*는 I층에 입력되는 영역을 의미하며, *III\_B*는 III층에서 출력되는 신호를 의미한다. 이 때, *F*와 *B*는 각각 전방향(forward)과 역방향(backward)을 의미하는 기호이다.

그림 5는 특정한 영역을 위주로 설명하였고 이는 각 영역에서 담당하는 기능에 따라 다를 수 있지만 감각 영역에 대해서는 그림 5와 동일한 정보의 흐름을 지닌다는 것으로 해석할 수 있다.

그림 5에서 알 수 있듯이, 감각기관으로부터 입력된 정보는 IV층에 전달되며, 다른 영역의 III층에서 전달되는 정보도 III층 또는 IV층으로 전달된다. 또한, 입력된 감각에 의한 감정도 IV층으로 전달된다. 이와 같이 전달된 정보는 해

당 영역에서 이루어지는 정보처리를 수행한 후에 I층으로 전달되고 전달된 정보는 다시 III층으로 보내지며, III층에서는 다른 영역으로 전달하기도 하며 V층을 통해 최종 출력을 변연계나 다중감각연합영역으로 전달한다.

특히, IV층에서는 각종 정보처리 기법을 통해 감각에 대한 특징을 추출하고 정보를 생성하는 영역으로 해석할 수 있다. 특이한 사실은 감각에 대한 처리 결과를 정보로 생성하는 과정에 감각에 따른 감정 정보가 동시에 입력되어 통합 처리된다는 사실이다. 이는 감각에 따른 동일한 인식이 이루어지거나 정보가 생성되는 것이 아니고 감정에 따라 차별화된 감각 인식이 이루어짐을 설명하는 것으로 해석할 수 있다.

IV층에서 주로 이루어지는 감각별 특징 추출 작업은 특징별 모듈 구조로 해석할 수 있다. 시각 영역을 예로 들면, 윤곽선 추출, 윤곽선에 의한 형태 인식 및 다양한 특징이 있을 수 있는데, 각각 모듈에서 이러한 특징을 처리하여 이미 존재하는 메모리 영역의 정보와 동일한 형태(일종의 코드)로 출력된다(그림 6).

이와 같은 흐름은 감각영역에 해당하는 단위 영역에서 전반적으로 동일하며, 해당 영역에서 처리하는 정보처리 방법은 각 영역에 따라 다른 방식을 사용한다.

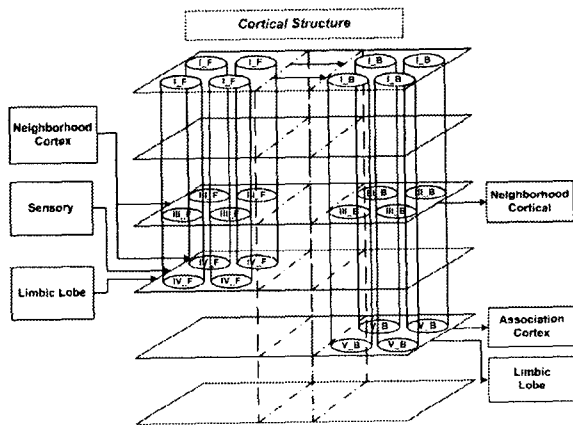


그림 5. 기본 피질 구조

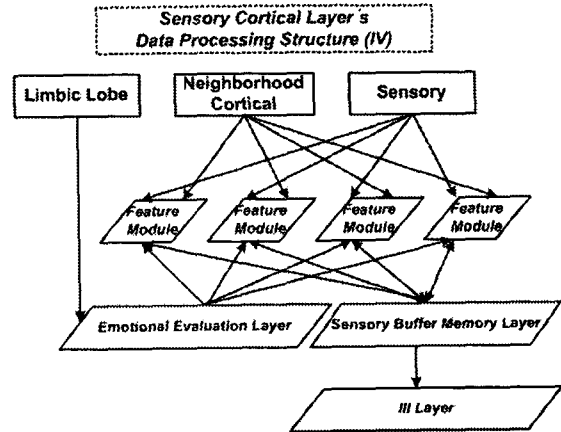


그림 6. IV층에서의 모듈별 정보 처리 구조

### 2.4 정보처리 레이어 설계

본 논문에서는 앞서 설명한 바와 같이 생물학적인 뇌의 정보처리 메커니즘을 해석하고 이를 공학적으로 응용할 수 있는 모델을 그림 7과 같이 레이어 구조로 제시하고자 한다. 각 레이어의 레이어의 입력과 출력을 정의하여 그 흐름을 규정하고 감각 정보가 입력되는 과정부터 운동 기관을 제어할 수 있는 제어 신호를 출력하는 과정을 공학적으로 설명하였다[3].

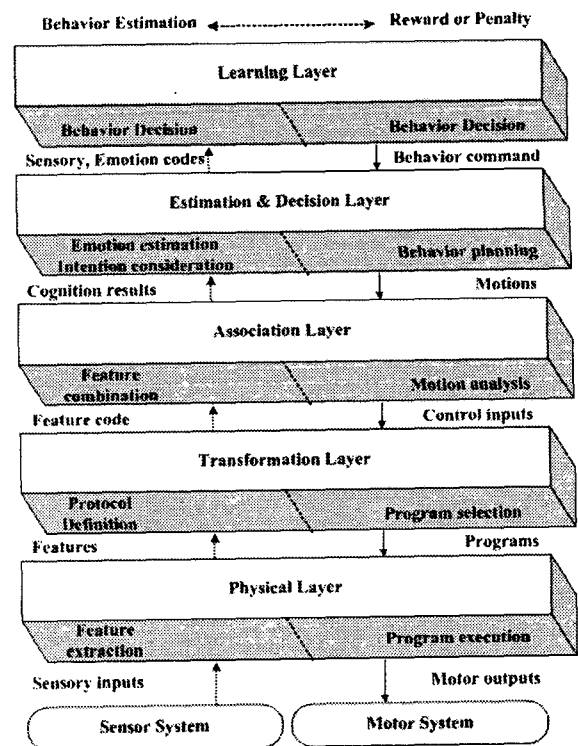


그림 7. 인공 대뇌피질을 위한 레이어 구조

그림 7의 인공 대뇌피질 레이어 구조의 흐름을 설명하면 다음과 같다.

센서 시스템은 감각 기관을 의미하며 시스템 측면에서는 카메라, 마이크, 센서 등과 같이 입력 정보를 획득할 수 있는 정보 수신부에 해당한다. 입력된 정보는 가장 먼저 물리 계층에 전달된다. 물리 계층에서는 전달된 입력에 대해 정해진 처리를 행하여 입력 정보에 대한 특징을 추출하게 된다. 추출된 정보는 처리되는 방식에 의해 독특한 형식으로 표현될 것이며 전송 계층에 최종 전달하게 되는 내용이 된다. 전송 계층에서는 입력된 정보들을 감각의 종류에 따라 분류를 실시하게 된다. 전송 계층에서 분류된 정보들은 직접 기억 공간을 참조하여 인식이 되기도 하며 다른 종류의 정보들을 모아 새로운 정보의 형태로 조합되기도 한다. 이를 담당하는 층은 연합 계층이다. 연합 계층에서는 정보들의 융합이 이루어지는데 이는 동일한 종류의 정보를 대상으로 합은 물론이며 다른 종류의 정보들에 대한 융합이 이루어지기도 한다. 이 곳에서 감각에 대한 최종적인 인식이 이루어지고 인식된 감각 정보는 다음 층인 평가 및 판단 계층으로 전송된다. 평가 및 판단 계층에서는 인식된 감각 정보에 대해 행동을 결정하기 위한 전 단계로써 감정 상태를 평가하는 기능을 담당한다. 생물학적으로 감정은 행동 결정에 중요한 역할을 담당하며 기억 공간 내부에서의 정보 관리를 담당하는 기능을 수행하고 이를 공학적으로 정의하면 인가된 입력에 대해 시스템의 상태를 판단하여 실행 여부를 판단한다든지 실행할 방향을 결정하는 과정으로 정의된다. 평가 및 판단 계층에서는 실행할 행동 결정을 최종 출력으로 한다. 이를 입력으로 받는 학습 계층은 입력에 대한 사전 정보가 없는 경우에는 새로이 학습을 진행하여 사후 조치를 취하는 기능을 담당하는 곳이며 입력에 대해 평가된 감정 내용 및 결정된 행동을 학습하는 기능을 수행하는 곳이다. 즉, 기억 정보는 '입력-감정-행동'을 주된 형태로 하여 저장됨을 알 수 있다. 특히, 입력에 대한 감정이나 행동의 결정을 위한 정보가 없는 새로운 입력이 인가된 경우에는 가능한 행동을 결정하게 되고 이를 수행하게 된다. 행동을 수행한 후에는 감

정의 변화를 실행 평가의 기준으로 삼아 학습을 진행하게 된다. 또한, 감정의 상태에 따라서 정보의 저장되는 강도를 결정하는 역할을 담당하기도 한다. 다시 설명하면, 학습 계층은 주로 사전 정보가 없는 감각에 대한 처리를 학습하여 사후의 처리에 대한 정보를 추가하는 기능을 담당하고 감정 상태에 따른 시스템의 반응 상황을 학습하는 기능을 담당하는 등의 전반적인 진화의 기능을 담당하는 곳으로 정의할 수 있다.

이제 실행할 행동이 결정되었고 이를 수행하는 과정은 학습 계층에서부터 물리 계층에 이르는 흐름으로 진행된다.

이와 같은 흐름을 지니고 감각 정보에서부터 실행에 이르는 과정은 레이어에 의해 설명되고 레이어 내부의 기능에 의해 진행된다. 따라서 공학적 의미에서 레이어는 정보의 흐름과 실행을 관리하는 입력부, 처리부, 실행부의 기능을 모두 담당하는 구조이다.

### III. 결 론

본 논문에서는 뇌 정보처리 전체의 흐름을 정의하고 모듈 간의 기능을 규격화된 형태로 정의하여 독립된 처리를 수행하면서도 통합된 흐름을 지닐 수 있도록 설계하는 것은 뇌 정보처리 메커니즘에 보다 가까운 모델을 제시할 수 있다는 점에 착안하여 세부 모듈의 기능을 재해석하고 모듈 간의 흐름을 규격화한 레이어를 설계하였다.

감사의 글 : 본 연구는 과학기술부의 뇌신경정보학연구사업에 의해 지원받았습니다.

### IV. 참고문헌

- [1] 이원택, 박경아, *의학신경해부학*, 고려의학, 1996.
- [2] <http://pegasus.cc.ucf.edu/~Brainmdl>
- [3] 김성주, 김용택, 서재용, 진홍태, "신경회로망을 이용한 파페츠회로 구현", *한국퍼지 및 지능시스템 학회 2002년 추계학술대회*, pp.175-178, 2002.