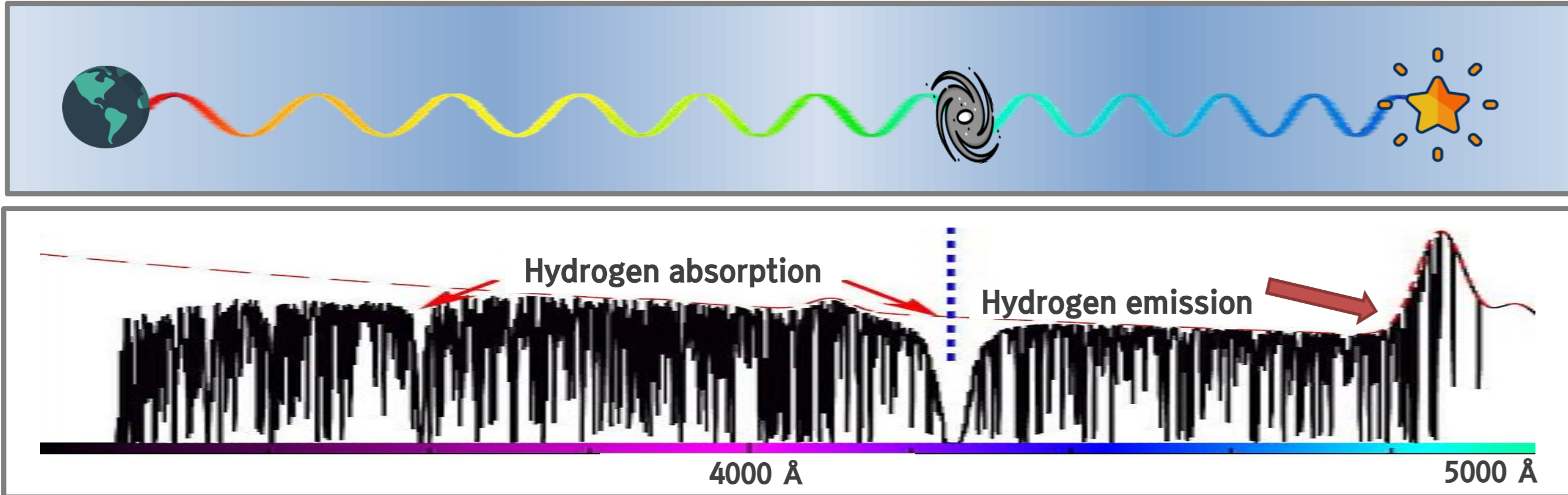


## DLA에서의 수소 산란단면적의 비대칭성

분광 연구실 (최보은, 장석준, 이희원)

### 1. DLA & Ly $\alpha$ forest



(그림 1) 퀘이사 스펙트럼. 수소 방출선과 여러 수소 흡수선을 볼 수 있다. 그림에서 표시한 흡수선은 DLA에 의한 것이고, 많은 흡수선이 마치 숲을 이루고 있는 것 같은 Ly $\alpha$  forest 또한 볼 수 있다.

#### - DLA (Damped Lyman Alpha system)

이름처럼 Ly $\alpha$  부근 빛을 완전히 흡수하여 스펙트럼 상에서 폭 꺼진 모양을 만든다. 수소 기동밀도  $10^{20} \text{ cm}^{-2}$  이상의 지역으로 원시 은하 같은 것이 속할 것이라고 추정한다. 원시 은하 연구에 있어 DLA는 원시 은하의 규모나 밀도 같은 것들을 알려줄 수 있는 중요한 정보를 준다.

#### - Ly $\alpha$ forest

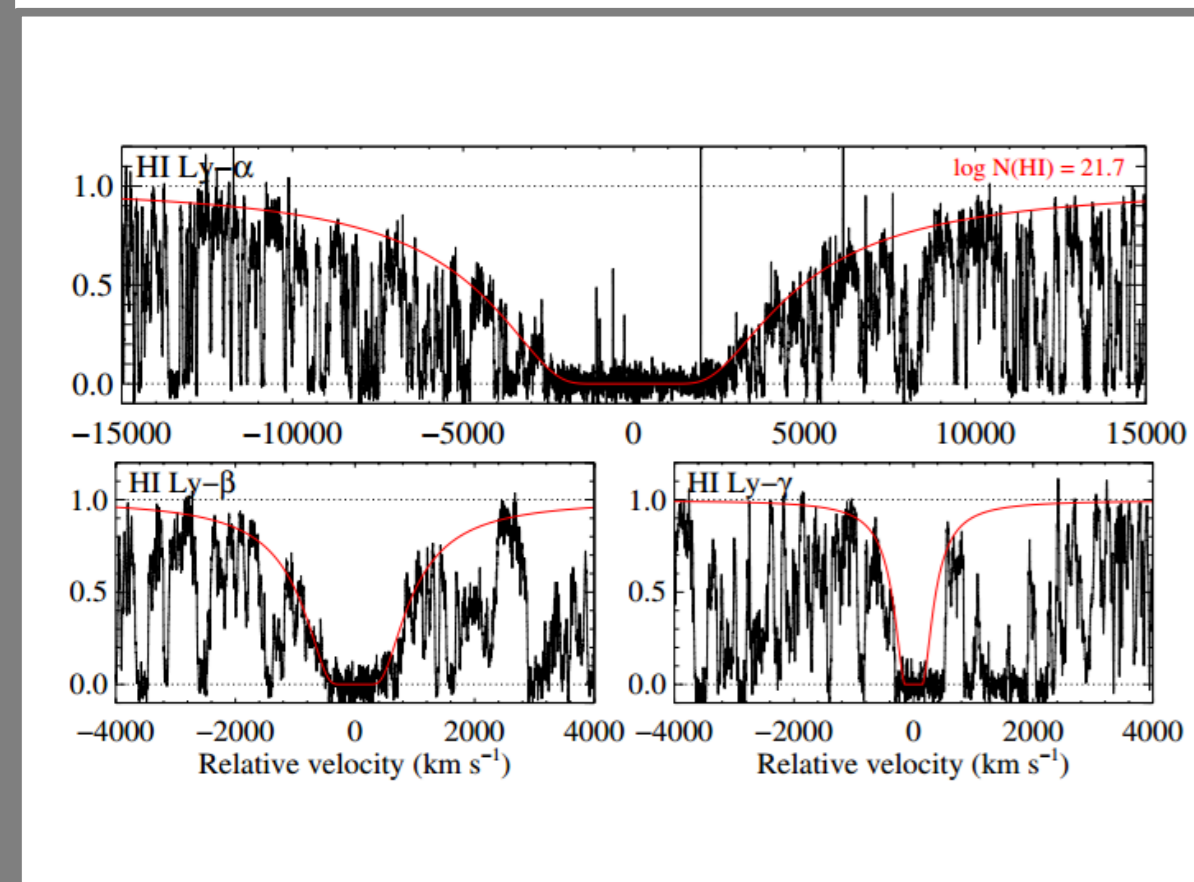
여러 적색편이를 갖는 중성수소 기동밀도  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$  이상의 지역을 지나면서 생기는 Ly $\alpha$  흡수선들. 성간물질이나 은하간물질에 있는 중성 수소지역이 흡수선을 만든다. 다양한 적색편이를 갖는 지역들에서 흡수가 일어나기 때문에 스펙트럼 상에서 여러 위치에 흡수선을 만들고, 이를 통하여 우리 우주의 물질 공간 분포를 볼 수 있다.

### 2. 산란단면적과 흡수선의 세기

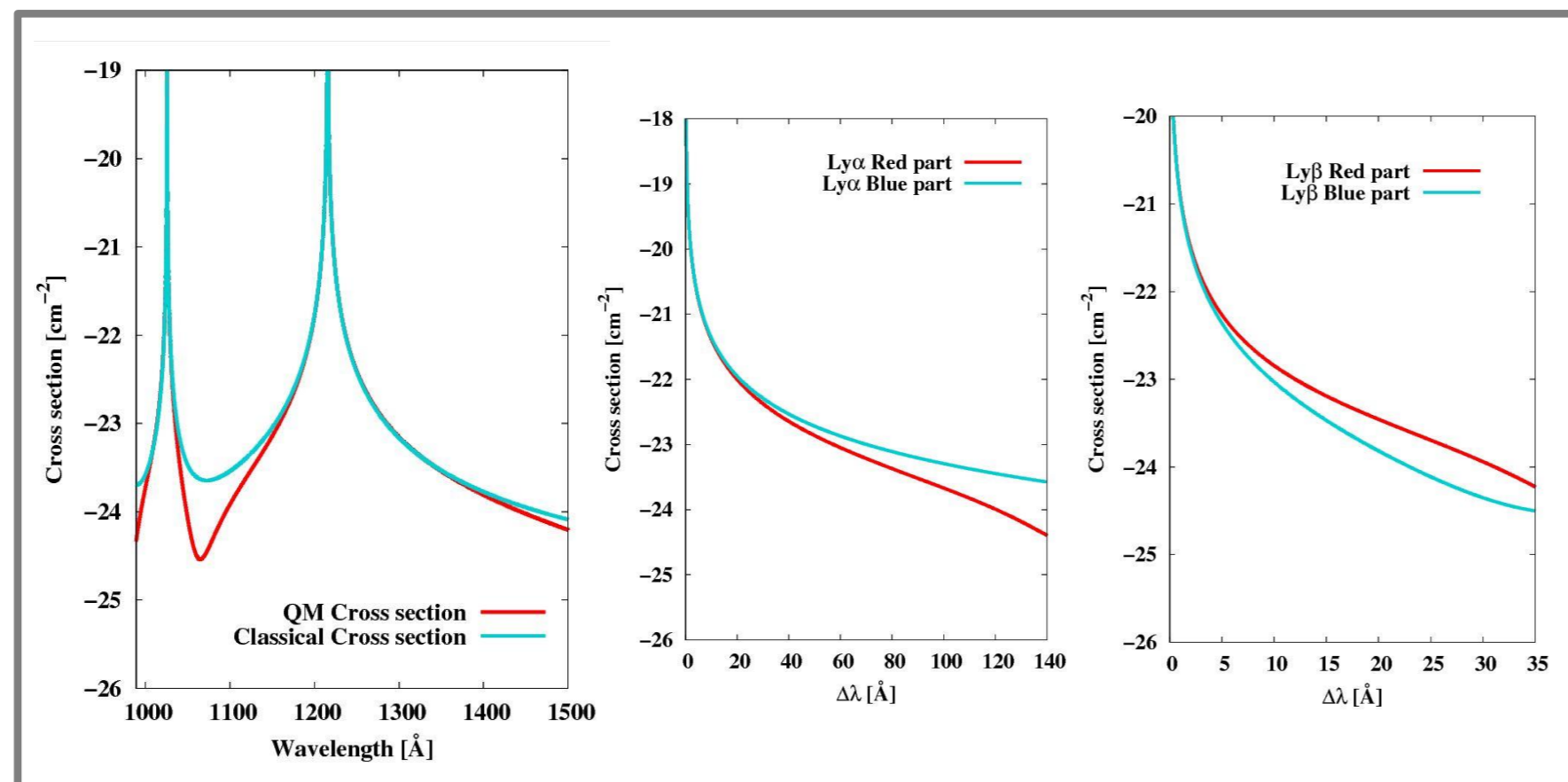
빛이 얼마나 흡수되는지는 빛이 지나온 지역의 광학적 두께( $\tau$ , optical depth)에 달려있다.

$$I = e^{-\tau} \quad (I: \text{빛의 세기}, \tau: \text{광학적 두께}), \quad \tau = \sigma(v) N_{HI} \quad (\sigma(v): \text{산란단면적}, N_{HI}: \text{중성수소 기동밀도})$$

광학적 두께는 산란단면적과 빛을 흡수하는 입자의 기동밀도가 결정하기 때문에 흡수선의 세기는 이들에 따라 달라진다. 따라서 관측된 스펙트럼의 모양을 시뮬레이션과 맞출 때에는 시뮬레이션에서 사용한 산란단면적을 제대로 계산하는 것이 중요하다. 그림 2와 같이 Noterdaeme et al 2015에서는 DLA 선운곽을 피팅하기 위해 Lorentzian profile을 사용하였다. 하지만 Kramers-Heisenberg formula로 계산한 산란단면적을 구해보면 그림 3에서처럼 Lorentzian 함수와는 다르다.



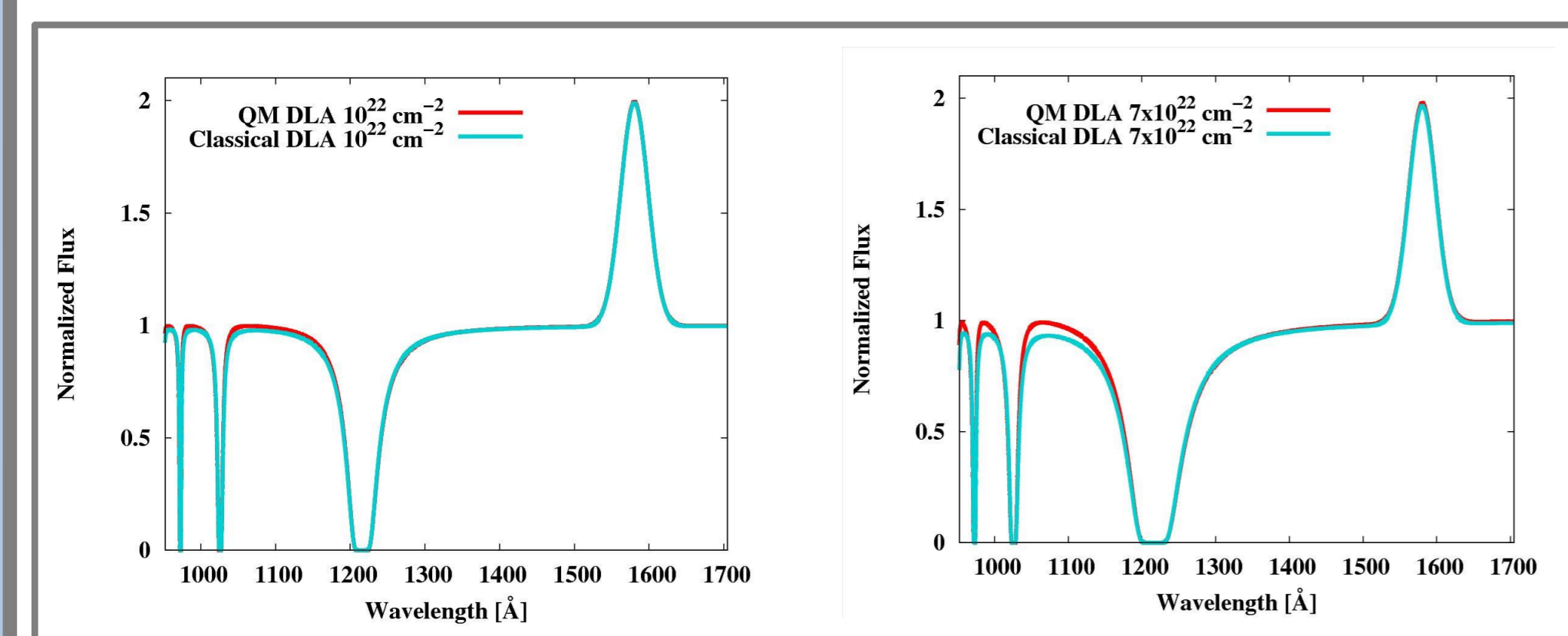
(그림 2) DLA 스펙트럼 (Noterdaeme et al. 2015) 대칭적인 Lorentzian을 이용하였다.



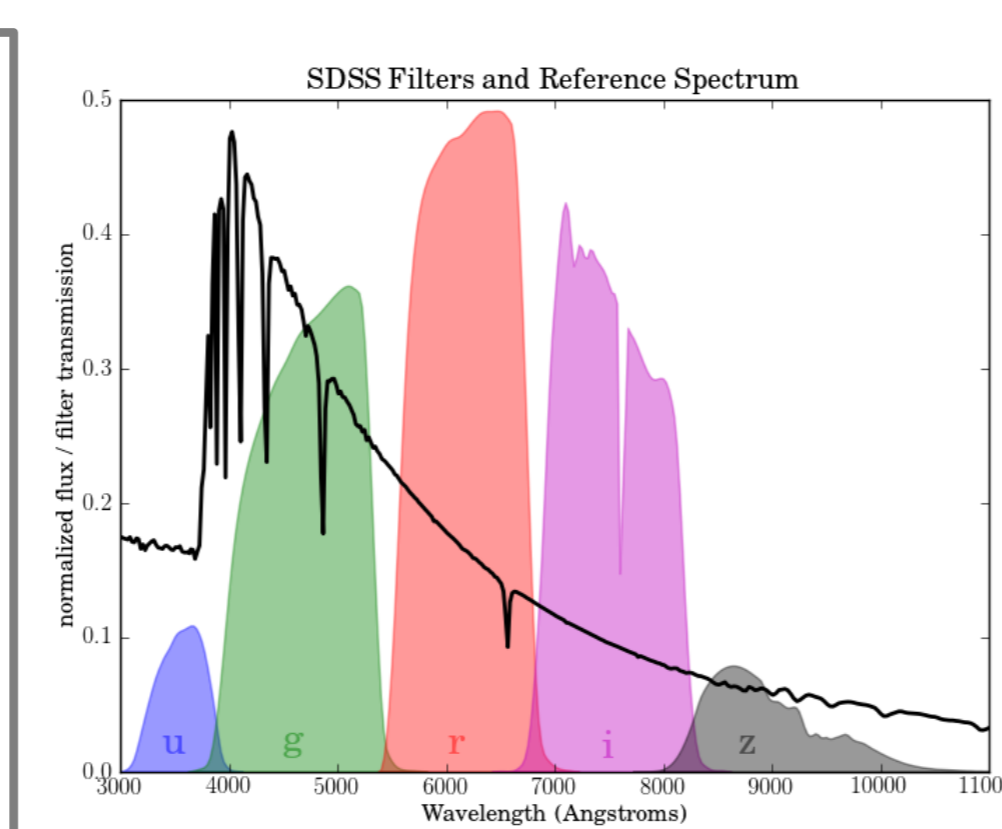
(그림 3) 좌측 그림은 Ly $\alpha$ ,  $\beta$  근처에서 양자역학적으로 계산한 산란단면적과 Lorentzian으로 계산한 산란단면적을 비교한 그림이다. 가운데와 오른쪽은 양자역학을 이용한 산란단면적의 계산에서 중심파장의 좌우를 비교한 그래프이다.

그림 3을 자세히 보면 파장이 1050-1150Å 영역에서 Lorentzian과 양자역학적 계산결과가 차이 나는 것을 볼 수 있다. 또한 중심파장에서 멀어질 때 좌우가 다른 값을 보여주는 사실을 확인할 수 있다. Lee 2003과 2013에 따르면 이러한 계산값의 차이로 인해 기동밀도가  $10^{22.5} \text{ cm}^{-2}$  이상인 DLA의 중심파장이 0.1Å 정도 달라질 수 있다고 이야기한다. 이 값은 파장으로는 작은 값이지만 속도 값으로 변환하면 70km/s정도의 큰 값이 된다.

### 3. 결과 및 향후 목표



(그림 4) 수소 기동밀도가  $10^{22} \text{ cm}^{-2}$  (왼쪽)인 경우와  $7 \times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$  (오른쪽)인 경우의 Lorentzian 함수 (파란색)와 K-H 공식 (빨간색)을 적용한 DLA.



(그림 5) SDSS의 필터 시스템.

- 그림 4에서 기동 밀도가 커질 때 1050-1150 Å 지역의 선운곽이 차이를 보이는 것을 알 수 있다.
- 측광적 차이를 확인하기 위해 SDSS 측광계에서의 z와  $N_{HI}$ 에 따른 차이를 확인할 것이다.
- SPH(Smooth-Particle Hydrodynamics)를 이용한 LAF를 함께 고려하여 분석 할 것이다.
- GRB(Gamma Ray Burst)와 같은 큰 기동밀도의 DLA들을 추적하여 이 효과를 확인할 것이다.

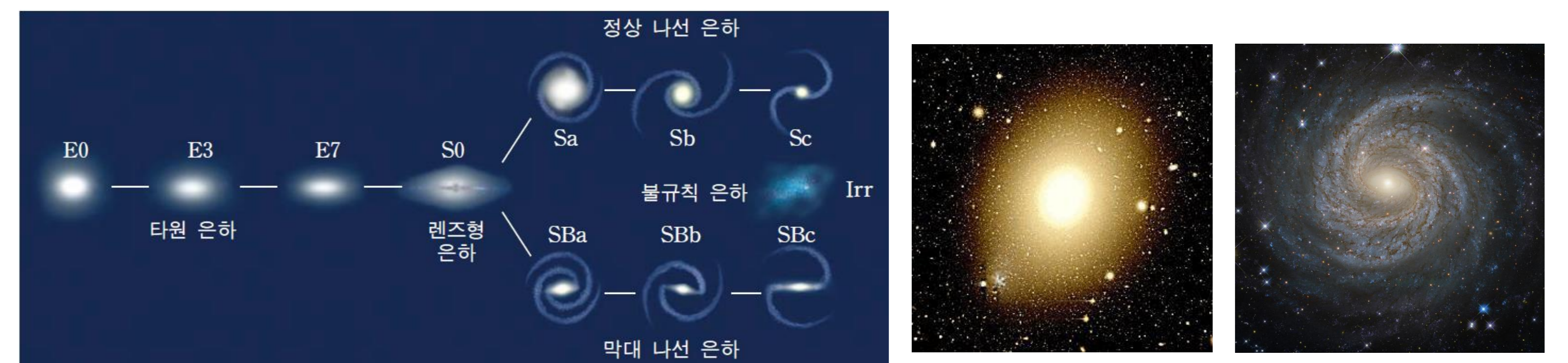
## 천체분류 인공지능

16 하재원

Galaxy zoo는 SDSS가 촬영한 은하 사진들을 집단 지성을 통해 분류하는 프로젝트이다.

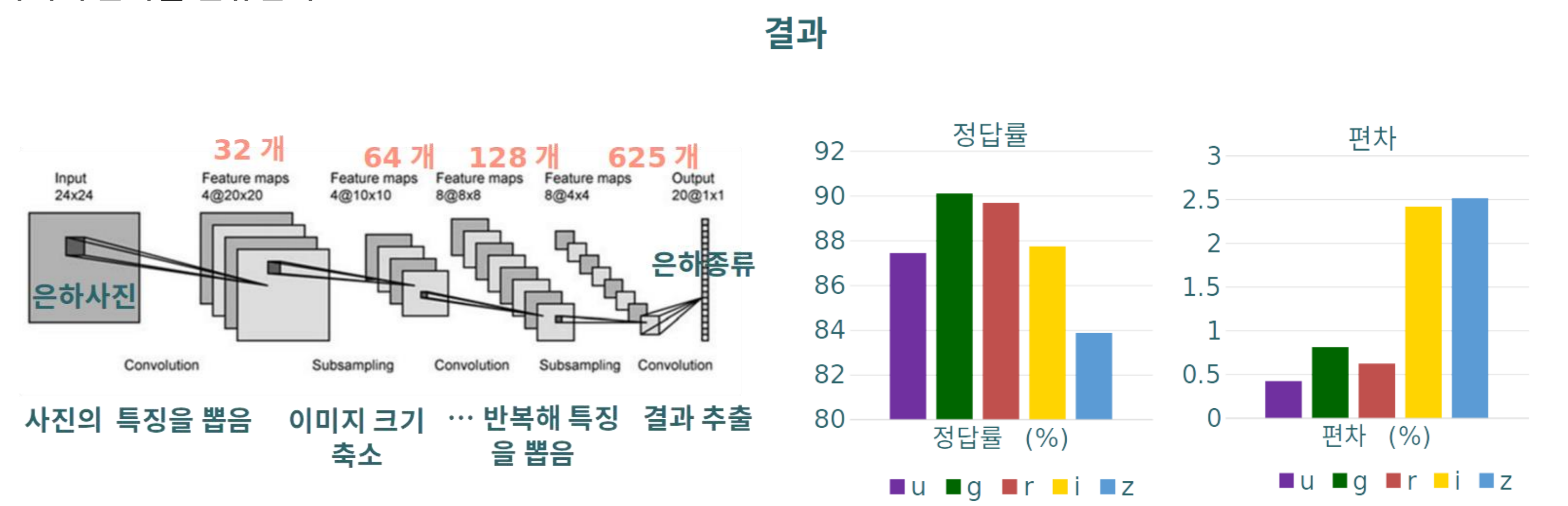
SDSS는 우주지도 만들기 위해 우주의 넓은 범위를 관측하는 프로젝트이다. SDSS에서 촬영하는 은하 사진이 너무 많기 때문에, Galaxy zoo에서는 이 사진들을 인터넷에 올려 많은 사람들이 분류하게 한다. 은하는 사람들이 많이 분류한 답변 쪽으로 분류된다. 하지만 여러 사람들이 저마다 조금씩 분류한 결과라, 분류기준이 일관되지 않을 수 있다.

은하 형태분류는 크게 아래와 같을 수 있다. 이 것이 직접적으로 은하진화를 나타내지는 않지만, 은하 형태분류는 은하진화를 이해하는데, 매우 필수적이고, 정말 중요한 역할을 한다. 타원은하와 나선은하의 생성 역사, 나이, 특성이 모두 다르기 때문이다. 대체로 타원은하는 늙은 별들로, 나선은하는 젊은 별들로 구성되어있다. 그래서 은하 형태를 통해 별형성 역사를 짐작할 수 있고, 이에 따라 구성원의 진화도 달라진다. 이렇게 은하 진화연구에 있어 은하형태학이 굉장히 중요하다.

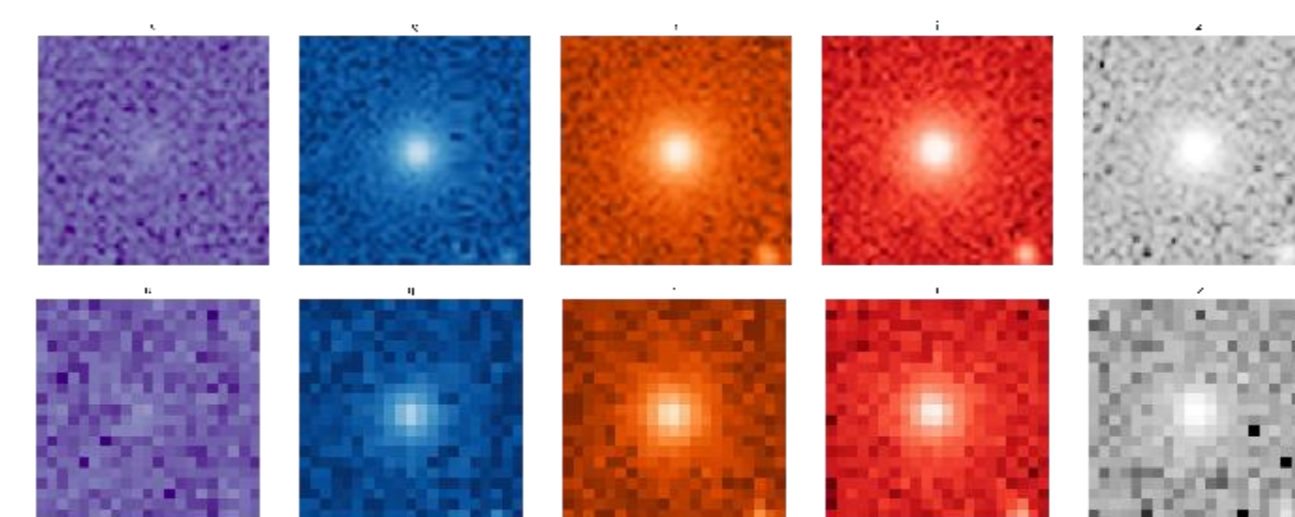


인공지능의 학습과 검증을 위해 나선은하와 타원은하 1000장을 수집했다. 사진의 절반은 학습을 하는데 사용했고, 나머지 절반은 학습된 인공지능을 검증하는데 사용했다.

Convolutional neural network는 인공지능을 설계할 때 사용한 방법이다. 은하를 작은 32개의 사진으로 쪼갬다. 각각의 사진은 블러, 대비, 강조를 통해 하나의 특징을 대표한다. 이 32개의 사진은 점점 작게 쪼개어, 최종적으로는 625개의 특징에 대한 점수를 평가하게 된다. 일정수준 미만의 점수를 가진 특징은 무시되며, 이 결과를 인공지능망이 종합적으로 이해해 은하를 분류한다.

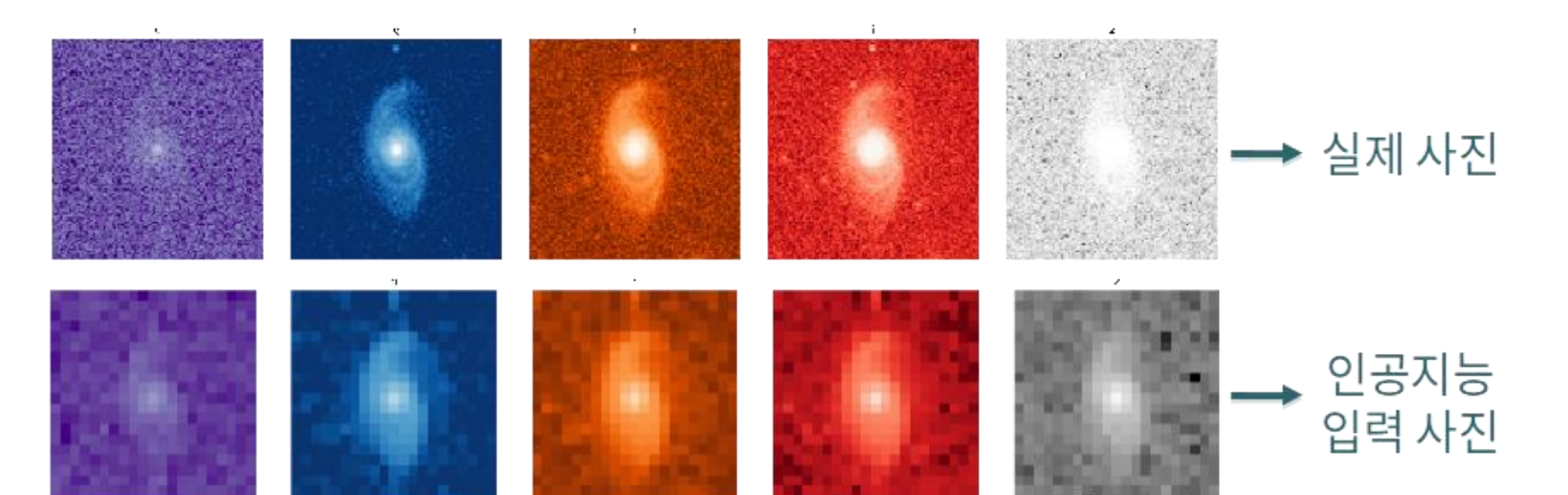


#### 분류 예시 - 타원은하



Galaxy zoo 투표: 91% 타원은하  
인공지능 예측: 타원은하 (g, 틀릴 확률: 3%)

#### 분류 예시 - 나선은하



Galaxy zoo 투표: 100% 나선은하  
인공지능 예측: 나선은하 (g, 틀릴 확률: 1/10억 %)

### 결과

- 정확도가 90%되는 인공지능을 개발하였다.
- 하나의 필터만 사용한다면, g필터가 가장 좋다. 은하들이 분류되는 특징이 g필터에서 두드러짐을 시사한다. 젊은 별일 수록 짧은 파장에서 빛을 많이 내, 짧은 필터(u필터)로 갈 수록 별이 생겨나는 것을 많이 반영한다. 하지만 u필터까지 밝힐 수 있는 별은 많지 않아 g필터에서 가장 정확률이 높다.
- Galaxy zoo가 많은 사람들이 분류한 결과의 평균이므로 그 자체로도 오차가 발생한다. 따라서 인공지능 자체의 오차는 훨씬 적을 것이다.
- 편차가 1% 미만인 u,g,r필터는 인공지능의 분류결과와 일관됨을 의미한다.
- z필터의 경우 적외선이 먼지를 뚫고 보여 두 은하간의 차이가 작아지게 되어 정확률이 낮아졌다.

### 개선방안

- 이 인공지능은 u, g, r, i, z의 필터를 각각 정확률을 추출했다. 만약 서로 다른 필터들을 묶어 판단한다면 더 좋을 수 있다.
- 다른 정보와 함께 판단하는 인공지능도 생각할 수 있다. 스펙트럼 상에서 별의 속도분산은 타원은하에서 크고, 나선은하에서 작은 특징을 사용할 수 있다. 그리고 은하의 거리를 통해 실제 크기를 측정할 수 있다. 이러한 정보들과 함께 은하를 분류한다면 더 개선된 인공지능을 만들 수 있다.
- 신경망의 구조 개선도 활발히 연구되는 분야이므로, 개선된 신경망 설계로 더 정확한 인공지능을 만들 수 있다.