지하실험연구단

DOI: 10.3938/PhiT.23.030

김영덕

Center for Underground Physics

Yeongduk KIM

The Center for Underground Physics (CUP) began as a headquarter research center of IBS in July of 2013. The CUP performs research on extremely rare phenomena, especially searches for dark matter and neutrinoless double beta decay. The CUP is developing low-temperature detector techniques for lower thresholds and higher energy resolutions. The CUP will build a new underground laboratory for the planned experiments and low-background detection facility, as well as a facility for the development of new detector.

지하실험연구단(Center for Underground Physics, CUP)은 기초과학연구원(IBS)의 본원 연구단으로 2013년 7월에 발족하였다. 우리나라에서 지하 입자물리학 실험을 시작한 것은 1999년 정도로 청평의 지하 양수발전소 근처의 실험실에서였다. 그 후 서울대학교 물리학과와 김선기 교수, 경북대학교의 김홍주 교수와 창의 과제를 시작하면서 양양의 양수발전소로 이전하게 되었다. 그때 생긴 암흑물질탐색연구단(DMRC)이 우리나라의 지하 실험을 주도하였고, 현재도 양양의 양수 발전소 내의 지하 실험실에서 연구를 계속하고 있다.

연구단은 암흑물질 그룹, 이중베타붕괴 그룹, 저온 검출기 그룹, 새로운 검출기 개발 그룹의 4개 그룹으로 구성되고, 단거리 중성미자 연구팀, 지하연구시설 구축 팀 등의 특정 과제를 담당하는 팀이 있다. 20-30여 명의 박사급 연구 인력과 10

Fig. 1. A photo taken at a general CUP meeting.

명 정도의 행정, 기술 인원, 20-30여 명의 대학원생으로 연구단이 구성된다.

지하에서 입자를 측정하기 시작한 것은 1960년대 미국의 Homestake 광산, 그리고 러시아의 Baksan 지하 실험실 등이 효시이고, 주로 중성미자를 측정하고자 하는 노력으로 지하 깊은 곳에서 실험을 시작하였다. 태양 중성미자를 측정하기 위하여 Homestake 광산에서 Davis 등이 클로라인 검출기로 실험을 하였고, 양성자 붕괴와 대기중성미자 측정을 위한 대형 검출기를 지하에 설치하기 시작하였다. 이중베타붕괴를 측정하기 위한 실험들은 처음에는 지상에서 시작되었지만, 1970년대에 들어오면서 지하에서 실험을 하게 되었다. 측정해야 하는 event의 빈도수가 적어질수록 더 깊은 지하에서 우주선을 차폐해야 하였고, 검출기의 크기도 커졌다. 1980년대부터 암흑물질을 직접적으로 측정하는 실험이 제안된 이후로 많은 지하 실험 시설들이 건설되었다.

자연에 대한 이해를 하고자 할 때, 우리는 모든 물질의 근원적인 기본입자와 그 상호작용으로 자연에 대한 기본적인 이해를 할 수 있다는 것을 알게 되었다. 또한 입자물리학의 표준모형의 완성과 함께 우주의 기원과 구조를 이해하는 데 입자들의 성질과 상호작용이 필수적이라는 것도 알게 되었다. 최근에 힉스 보손을 발견함으로써 표준모형이 완성되었지만, 두 가지 근본적인 문제는 아직 해결되지 않은 채로 남아 있다.

그중 하나는 많은 관측 사실에 의하여 우리 우주가 관측 가능한 낮은 에너지 분포를 가지고 대부분은 관측이 되지 않는 암흑물질과 암흑에너지로 이루어져 있다는 사실이다. 표준모형

저자약력

김영덕 교수는 미국 미시간주립대학교(East Lansing) 이학박사(1991)로서 인디애나대학교, 일본고에너지물리연구소, 서울대학교 연구원을 거쳐 1998년부터 세종대학교 물리학과에서 교수로 재직 중이다. 2013년부터 기초과학연구원(IBS)의 지하실험연구단장으로 재직하며 암흑물질 탐색, 중성미자 물리 등의 연구를 수행하고 있다.
(ydkim@ibs.re.kr, ydkim@sejong.ac.kr)

은 이러한 사실을 설명하는 내용을 가지고 있지 않다. 또 하나는 우주의 기원에 관한 것으로 우주의 생성 당시 입자와 반입자들이 똑같은 양이 생겨났어야 함에도 불구하고 현재는 입자들만으로 구성되어 있는 우주만 존재하고 있다. 반입자들이 입자들에 비하여 소멸할 수 있을 정도의 CP 대칭성 깨짐 현상을 아직 표준모형은 가지고 있지 않다. 중성미자가 어떻게, 어느 정도의 질량을 가지는지에 대한 이론적, 실험적 이해도 부족하여, 중성미자와 이 입자가 관여하는 약한 상호작용이 반입자들의 소멸의 원인일 수도 있다는 이론이 있다.

암흑물질의 성격을 규명하는 것은 여러 다른 나라들의 경우에도 최우선의 과학과제이며, CERN의 LHC 가속기의 CMS, ATLAS 등의 실험들도 가속기에서 암흑물질의 후보 입자가 생성될 가능성을 꾸준히 탐색하고 있다. 존재하는 암흑물질과 보통 물질과의 상호작용을 측정하고자 하는 직접적인 측정실험의 경우에도 세계적으로 많은 실험들이 수행되고 있고, 또 계획 중이다.^[1] 지하실험연구단은 이러한 세계적인 노력의 한 축으로서 몇 가지 프로젝트를 수행하려고 한다. 먼저 현재 암흑물질 실험결과들 중에서 이슈가 되고 있는 DAMA 실험을 확실히 검증하고, 연구단이 개발하고 있는 저온검출기 기술을 이용하여 낮은 질량의 워프탐색에서 가장 좋은 결과를 얻기 위한 실험을 진행할 것이다. 이는 미국의 SuperCDMS 실험 계획과 비교될 수 있는 실험이다.

중성미자의 절대 질량을 측정하고 중성미자가 어떤 입자인지를 규명하는 것도 국제적인 최우선 과제이어서, 여러 다양한 실험이 시도, 계획되고 있다. 베타붕괴의 최대에너지의 크기를 정밀 측정해서 중성미자의 절대 질량을 직접 측정하는 실험도 진행 중이고, 중성미자 미방출 이중베타붕괴를 발견하고자 하는 다수의 실험이 진행되고 있다.^[2] 중성미자가 관계된 반응에서 CP 대칭성이 얼마나 깨지는지에 대한 실험을 중성미자 진동에서 측정하고자 하는 대규모의 지하 실험도 유럽과 미국에서 시작할 계획을 구체화하고 있다. 이중에서 이중베타붕괴 실험은 가장 직접적으로 중성미자가 마요라나 입자인지, 디락 입자인지, 즉 중성미자의 질량이 어떻게 주어지는지에 대해서 밝힐 수 있는 실험으로 점차 실험의 규모가 커지고 있다. 지하실험연구단은 Mo-100 동위원소에서 일어날 수 있는 중성미자 미방출 이중베타붕괴를 처음으로 관측하기 위하여 결정과 저온 검출기 기술을 사용한 대규모의 실험을 AMoRE라는 국제공동 연구그룹을 만들어서 주도하고 있다.

기본적으로 지하실험연구단은 입자의 지극히 희귀한 반응을 연구하며, 암흑물질이나 이중베타붕괴와 같이 자연계에 존재하지만 너무 희귀하여 아직 발견되지 않은 반응들을 발견하려고 한다. 핵의 붕괴 중에서 아직 발견되지 않은 희귀 붕괴 반응이

있고, 우주 초창기에 생성된 중성미자의 존재도 아직까지 실험적으로 확인하기에는 너무나 희귀한 반응으로 알려져 있다. 또한 원자로 중성미자를 단거리에서 측정하여 또 다른 중성미자의 존재 여부를 확인하는 실험도 배경방사능과 시그널을 구별하는 기술을 개발할 필요가 있다.

실험의 성격과 성공을 결정짓는 두 가지 파라미터는 검출 기술과 배경방사능의 저감 정도이다. 연구단은 개발하고 있는 저온검출기의 성능을 꾸준히 향상시키고, 다양한 결정과 저온 검출기를 결합하는 연구를 진행하고 있다. 암흑물질 저온검출기를 위해서는 문턱에너지를 최대한 낮추는 연구를 진행하고 있다.

또 다른 파라미터인 배경 방사능(또는 배경 시그널)의 저감을 위해서는 대형의 HPGe 검출기를 개발, 설치하여 측정민감도를 현저히 높이고, 사용 물질에 대한 여러 가지 방사능의 측정, 데이터베이스화하는 등의 체계적인 연구를 진행하고 있다. 측정 가능 방사능량을 보다 낮추기 위한 새로운 검출기를 연구, 개발하여 설치할 예정이다. ICP-MS, NAA 등의 화학분석기기를 이용하여 물질들을 분석, 미지의 방사능이 존재하지 않도록 하고 극미량의 방사능 물질을 구현하는 목적을 달성할 것이다. 연구단은 실험에 사용할 결정을 직접 성장하고 결정 성장을 하는데 사용하는 물질도 직접 순수화하는 연구를 수행하여, 결정 내부의 배경방사능을 최소화함으로써 이중베타붕괴 실험에서 “제로 백그라운드”를 실현하는 것을 목표로 한다. 한편으로는 국제적인 연구 그룹들과 물질의 방사능 측정 결과를 공유하고, 측정 자체도 공유하는 시스템을 구축하여 국제적인 기여를 하고자 한다.

배경방사능을 줄이고, 연구단이 계획하고 있는 암흑물질과 이중베타붕괴의 본 실험을 수행하기 위해서는 새로운 지하실험 공간이 필수적으로 요구된다. 양양의 지하실험실을 확대하는 것은 양양 양수발전소의 지하 발전기의 운영에 영향을 줄 가능성이 있어서 다른 지역에 새로운 터널이나, 광산을 이용하여 새로운 지하 실험공간을 구축하기 위한 검토가 진행되고 있다. 새로운 지하실험실에서는 충분한 공간의 확보로 연구단이 계획하고 있는 실험들을 수행할 수 있고, 우리나라의 유일한 심층 지하 연구 시설로 다른 분야의 기초 및 응용과학 연구에도 활용될 것이며, 다른 나라의 실험도 유치할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- [1] Laura Baudis, Dark Universe 1, 94 (2012).
- [2] J. Barea *et al.*, Phys. Rev. Lett. 109, 042501 (2012).