지하실험 시설 구축 계획

DOI: 10.3938/PhiT.23.034

박강순·최선호

Underground Facilities in Korea for Astro-particle Physics

Kang Soon PARK and Seonho CHOI

Cosmic rays and their induced daughter particles are one of major backgrounds in searches for rare signals such as those from neutrinoless double beta decay ($0\nu\beta\beta$) and dark matter (DM). In an above-ground laboratory, the background rates due to cosmic rays are much higher than they are in an underground laboratory. Obtaining a rare signal from $0\nu\beta\beta$ or DM is almost impossible with an above-ground experiment. Therefore, we must run our experiments searching for $0\nu\beta\beta$ and DM in an underground laboratory where cosmic-ray backgrounds are greatly reduced. In this article, we present our plan for a new underground laboratory that is deeper than the current one and for the facilities there.

들어가는 글

기초과학연구원 산하 지하실험연구단의 발족과 함께 한국에서도 지하실험실에서의 다양한 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 지하 실험실에서는 우주에서 지구로 날아오는 각종 우주선에 의한 배경 방사선을 줄일 수 있어서 주로 자연상태에서 일어나는 매우 희귀한 반응을 측정하는 연구에 적합한 시설이다. 현재 지하실험연구단에서는 암흑물질의 탐색과 이중베타붕괴

실험을 주축으로 연구를 진행하고 있다. 이 글에서는 이러한 실험들을 성공적으로 수행하기 위한 지하실험시설의 구축 계획과 아울러 지하실험실의 저배경 방사선 환경에서 가능한 또 하나의 실험주제인 핵천체물리학실험을 소개한다.

왜 깊은 지하로 들어가야 하는가?

우주에서 날아오는, 양성자를 포함한 다량의 우주선들은 지구 대기에 분포되어 있는 핵자들과 상호작용하며, 여러 차례에 걸쳐 이차입자(secondary particles)들을 만들어 낸다. 만들어진 입자들은 지표면을 향하여 매우 빠른 속도로 돌진한다. 하지만 최종적으로 지구 표면에 도착하는 대부분의 입자는 비교적 수명이 긴 뮤온과 전자, 양성자, 중성자, 중성미자 등이다.^[1]

연구단에서 탐색 중인 중성미자 미방출 이중베타붕괴(neutrinoless double beta decay, 이하 이중베타붕괴) 현상과 약하게 상호작용을 하는 무거운 입자(WIMP, 이하 암흑물질-실제로는 암흑물질 후보로 예상되는 입자) 신호 등은 그 특징이 아주 희귀하다는 것으로서, 지표면에서는 앞에서 언급한 우주선들, 특히 뮤온이나 또는 뮤온이 핵자와의 상호작용에 의해 만들어내는 중성자 등이 남기는 가짜신호(또는 배경신호, background)에 의해 정작 탐색하고 싶은 이중베타붕괴와 암흑물질에 의한 신호들을 관측하기가 매우 어렵다.

이럴 때 우리는 '잡 신호들을 없앨 수 있는 최상의 방법은 무엇인가?'를 생각해 볼 수 있다. 만약 우주선이 검출기를 통과하는 횟수를 가능한 줄일 수 있는 방법이 있다면 이 실험에서 최선의 결과를 기대할 수 있을 것이다.

다행히 검출기에 가짜신호를 가장 많이 남기는 뮤온은, 비행 중 물질을 통과할 때 그 물질을 구성하고 있는 입자와 전자기 상호작용을 하면서 에너지를 잃는다.^[1] 즉 통과하는 물질의 밀도가 높을수록 또는 두꺼울수록 우주선들은 관통하여 살아남는

저자약력

박강순 박사는 성균관대학교 이학박사(2006)로서 서울대학교 연구원, 서경대학교 대우교수를 거쳐 2013년부터 기초과학연구원 지하물리연구단의 연구원으로 재직 중이다. (heppark@ibs.re.kr)

최선호 교수는 프랑스 파리 제 11대학(University of Paris XI) 이학박사(1993)로서 미국 인디애나 주립대 싸이클로트론 연구소(IUCF), 미국 제퍼슨연구소(JLab) 연구원을 거쳐 2004년부터 서울대학교 물리천문학부에서 교수로 재직 중이다. (choi@phy.snu.ac.kr)

REFERENCES

- [1] D. M. Mei and A. Hime, Physical Review D **73** 053004 (2006).
- [2] J. M. Carmona *et al.*, Astropart. Phys. **21**, 523 (2004).

Fig. 1. Dependence of muon flux with depth, showing the location of the Y2L and SARC(planned) laboratories with respect to other underground facilities.

수가 반비례하여 줄어든다.(그림 1^[2])

결국 더 깊은 곳으로 들어가면 더 많은 뮤온이 차단되어 가짜신호의 빈도가 줄어든다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 현재 가동 중인 양양 지하실험실(Y2L, 지하 700 m)에서는 지상에서보다 검출기에 도달하는 뮤온의 숫자가 적어도 1/10만으로 매우 적다. 다시 말해 가짜신호의 빈도가 그만큼 사라진다는 얘기다. 따라서 더 깊은 곳을 찾아 실험실을 구축하는 것이 이중 베타붕괴와 암흑물질을 탐색하기 위한 1차 과제이다.

양양 지하실험실-1, Y2L-A6

2003년부터 운영되고 있는 양양 지하 실험실은 강원도 양양 양수발전소(한국수력원자력)가 건설될 당시 터널 중 일부 구간에 총 면적 약 100 m², 2층으로 건설되었다(그림 2). 지표면으로부터의 깊이는 약 700 m로 현재까지는 국내에서 뮤온 선속이 가장 작은 지하실험실이다. 양수 발전소는 심야에 남는 전력을 사용하여 하부댐에서 상부댐으로 양수하고, 주간에 반대로 물을 낙하시켜 발전을 하는 발전소로 전력 수급의 균형을 위하여 건설한다. 우리나라에 7곳(삼랑진, 청평, 산청, 무주, 청송, 양양, 예천)의 지하양수발전소가 건설되어 있고, 이중에서 양양양수발전소가 낙차가 가장 크며, 발전용량도 1 GW로 원자력발전 1기와 같다.

Y2L-A6 실험실에는 암흑물질을 검출하는 KIMS-CsI (현재는 NaI 검출기 추가) 검출기(그림 3)와 물질 속 방사선 동위원소의 함유량을 측정하는 HPGe 검출기가 가동 중에 있다.

2013년부터 기초과학연구원의 지하실험연구단이 시작되면서 차세대 암흑물질 실험과 2세대 이중베타붕괴 실험을 수행하기 위해서는 더 넓은 공간의 새로운 지하실험실이 필요하게 되었다. 따라서 연구단은 현재의 양양실험실을 포함하여 단계적으로 고심도 지하 실험실 건설을 목표로 하는 '지하실험 센터 구축 사업'을 계획하기에 이르렀다.

Fig. 2. Y2L-A6 underground lab running ever since 2003. The lab contains DM detector and Ge detector etc. at 700 m underground in Yangyang, Gangwon province.

Fig. 3. Shielding structure for KIMS-CsI detector(left), one CsI crystal module(top right) and 12 CsI crystals in copper box(bottom right).

양양 지하실험실-2, Y2L-A5

Y2L보다 더 깊고 넓은 공간이 확보된 곳을 찾아 새로운 실험실을 건설하는 것은 시간이 꽤 많이 걸리는 일이다. 그러나 당장 진행해야 하는 실험들이 줄지어 있다. 1 kg의 CaMoO₄ 결정을 이용한 이중베타붕괴 실험과 200 kg NaI 결정을 이용한 암흑물질 탐색 실험이 그러한 것들이다. 이들 시급한 실험을 위해 양양 양수발전소 내의 다른 유휴 터널에 새로운 실험실을 구축하게 되었다.

지표면으로부터의 깊이는 Y2L-A6과 같은 700 m이며, 총 200 m²의 면적에 1층으로 부스 형태의 건축물이 건설된다. 라돈 저감 장치를 이용한 저 라돈 클린룸 두 곳과 다용도 검출기 테스트실을 주 실험실로 하여 라돈 저감 장치실, PCW(Process Cooling Water) 시스템실, 전기실, 통신실 그리고 가스 보관실 등이 세워질 예정이다(그림 4). 오는 10월경에 모든 공사가 완료되면 1 kg CaMoO₄ 결정을 이용한 극저온 검출기를 시작으로 본격적인 검출기 및 차폐체 제작·설치시기로 접어들게 된다.

Y2L-A5 실험실에서는 AMoRE-pilot (1 kg), AMoRE-10 (10 kg), 그리고 KIMS-NaI 실험 등이 수행될 예정이다. 이 실험들에 이어서 본격적인 AMoRE-200 실험과 차세대 암흑물질 실험인

Fig. 4. Y2L-A5 drawing. Two clean rooms are main building(centered two big areas in drawing) supplied 5 mBq/m³ Rn free air and cooling water with Rn free air system and PCW system.

KIMS-LT이 예정되어 있다. 그러나 Y2L 실험실에서는 좁은 공간 문제 때문에 이 실험들을 할 수 없다. 결국 본격적인 실험들은 새로운 지하실험센터가 구축된 후에 설치할 예정이다.

새로운 지하실험센터 건설 계획

지하실험 연구단의 실험에서 가장 중요한 극미량 배경방사능의 구현은 여러 가지 복합적인 요인을 잘 이해하고, 해결해야 달성될 수 있다. 새로운 지하실험시설의 부지로 여러 가능성이 타진되었다. 먼저 기존의 폐, 가행 광산이 조사되었다. 다른 가능성은 새로운 터널을 구축하는 것으로, 터널의 길이와 실험실의 깊이 등을 고려하여 후보지를 조사하였다. 새 터널을 구축하는 경우 강원도 삼척시에 위치한 두타산(정상 높이 1350 m)이 새로운 지하실험센터 부지로 적합하다고 판단되어 지질, 비용, 인허가 문제 등을 포함한 구체적인 타당성 조사에 착수하였다(그림 5). 두타산 지역 이외에도 깊이가 다소 얇은 적합한 부지가 더 있으며, 가행 광산의 경우에서도 2-3곳의 광산은 추가 굴착을 통해 적합한 실험실을 구축할 수 있다.

2017년 말에 완공하는 것을 목표로 추진되는 지하실험센터는 국내 유일의 기초과학을 위한 순수한 목적으로 사용되는 고 심도(지하 1000-1400 m) 실험 시설이 될 것이며, 연구단에서 계획하는 실험들 외에도 외부의 지하 실험 및 지하 실험 시설을 필요로 하는 모든 기초과학 연구 사업에 개방될 계획이다.

센터의 핵심인, 터널 끝에 위치하는 실험시설은 지하 1000-1400 m 깊이에 총 2000 m²의 면적을 가지게 되며, 두 개의 동으로 나뉜다. 하나는 길이, 폭, 높이가 각각 40 m, 20 m, 17 m로 크기가 큰 실험장비도 현장에서 조립이 가능하도록 설계된다. 이 실험실에서는 실험장비의 규모가 큰 AMoRE-200 실험 등이 진행될 예정이다. 다른 하나는 길이, 폭, 높이가 각각 80 m, 15 m, 13 m로 암흑물질 탐색 실험과 중성미자 관련 실험 등이 주로 이루어진다. 두 공간에는 모두 고 하중을 다룰 수 있는 대규모의 크레인이 설치되

Fig. 5. Cross section of Mt. Duta. We can have a deepest underground facility with about 1400 m overburden.

Fig. 6. Schematic design of underground facility in Mt. Duta. Two big experiment halls will be constructed.

어 고 하중의 검출기도 설치가 가능하도록 건설 계획된다(그림 6). 지하실험센터 부근 지상에 역시 약 2000 m² 넓이의 부지에 지상실험실을 비롯한 기타 제반 시설들이 건설된다. 또한 해당 지방자치단체와 지역주민들을 위한 시설과 과학교육 프로그램 등에 대한 논의도 활발히 이루어지고 있어 구축에 대한 전망을 밝게 하고 있다. 아직은 구축사업이 타당성 조사 단계에 있지만 지방자치단체의 협조와 제반 인허가 사항 등이 마무리되는 연말 즈음(2014년 12월 예상)이 되면 본격적인 구축 작업이 이루어지리라 예상된다. 새로이 구축되는 Y2L 실험실이나, 새로운 지하실험센터에는 각 실험에 고유한 실험 장치 외에도 공통의 실험시설이 필요하다. 아래에 대표적인 2가지 실험장치에 대해서 간략히 설명한다.

라돈 저감 장치

지하실험연구단의 실험들은 희귀 event들을 측정하려는 시도들로서, 배경방사능의 차단, 제거가 절대적으로 중요하다. 라돈은 불활성기체의 한 원소로서 안정동위원소는 존재하지 않는 원소이다. 우라늄(U)과 토륨(Th) 붕괴 계열 중에 있는 원소로서 ²²⁰Rn과 ²²²Rn의 두 가지 동위원소가 존재한다. 물질 속의 우라늄, 토륨의

붕괴에 따라서 라돈 기체가 발생하고, 이들이 공기 중으로 배출되어서 붕괴되기 때문에 상대적으로 일정한 양을 유지하게 된다. 많은 차이가 있긴 하지만, 일반적으로 지상의 공기 중에서 붕괴하는 라돈의 방사능은 약 1 pCi/L(37 Bq/m³)이다. 여기서 Bq은 1초에 1번의 붕괴를 말한다. 라돈이 문제가 되는 것은 라돈 자체의 붕괴가 아니라, 라돈이 연속적으로 붕괴되어 생성되는 ²¹⁰Pb 동위원소이다. 이 동위원소의 반감기는 상당히 길어서 22년이고, ²¹⁰Pb → ²¹⁰Bi → ²¹⁰Po → ²⁰⁶Pb로 연속붕괴하며, 이 과정에서 베타붕괴와 알파붕괴가 일어난다. 22년의 반감기를 가지고 있어서 공기 중 라돈의 붕괴에서 생성된 ²¹⁰Pb이 결정 표면에 붙거나, 검출기 물질에 포함되거나 하면 검출기에서 지속적으로 베타붕괴와 알파붕괴가 일어나서 배경방사능의 원인이 된다. 유명한 이중베타붕괴 실험인 CUORE 실험의 배경방사능의 주원인이 결정과 결정을 지지하는 홀더 표면에 흡착된 ²¹⁰Pb이라는 것이 잘 알려져 있다. 또한 암흑물질 탐색에 사용되는 결정에 ²¹⁰Pb이 포함되거나 표면에 흡착될 경우 심각한 배경방사능이 된다는 것이 알려져 있다.

따라서 희귀반응을 측정하는 실험의 경우 Rn 기체와의 접촉을 차단해야 하고, 이를 위하여 Rn 기체가 없는 질소가스나 알곤 가스만 존재하는 Glove Box에서 검출기 조립, 제작을 하게 된다. 이 과정이 항상 가능한 것은 아니어서, 보다 본질적인 해결책으로 구상되는 것이 Rn-free air supply system이다. 공기 중의 Rn 기체를 시스템의 일부인 저온의 차콜(숯)에 통과시켜서 흡착시킴으로써 약 천분의 1에서 만분의 1까지 Rn의 양을 줄일 수 있다.^[3] 이러한 라돈이 제거된 공기를 연구원들이 검출기를 조립, 제작하는 지하 실험실 전체에 공급함으로써 원천적으로 라돈에 의한 오염을 차단하고자 하는 것이다. 이 실험 공간은 외부 공기와 단절되어 있으며, 이 실험실에 반입되기 이전에 오염된 물품은 표면 산처리(acid etching)나 전해연마(electropolishing)를 통해 표면의 ²¹⁰Pb을 제거하게 된다. 양양실험실에 처음 도입되는 라돈 저감장치는 한 시간에 120 m³의 Radon-free air를 공급하게 된다.^[4]

초 민감도 HPGe 검출기

지하 실험에서 요구되는 극미량의 배경방사능을 구현하기 위하여 여러 가지 기술이 개발되어 있지만, 대표적인 것이 HPGe 검출기를 사용한 극미량의 방사능 측정이다. 우수한 에너지 분해능으로 물질에서 방출되는 감마선을 측정하여 그 물질의 방사능 오염도를 정밀 측정할 수 있다. AMoRE-200 실험에 사용되는 copper holder의 경우 10 µBq/kg 이하의 U, Th의 오염도가 요구되고, 이 정도의 오염도를 측정하기가 쉽지 않다. 자연방사능은 U, Th, K의 3가지 원소가 주된 원인인데, 그 반감기가 우주의 나이와 비슷하여 지구상에 존재하는 원소의 비율로도 상대적으로 높기 때문이다. U, Th의 경우 딸핵들은 이들의 반감기에 비하여 현저히 작아서, 주위의 환경

Fig. 7. Design of HPGe Array detector. Only lower 7 elements are shown. There will be 14 elements in total.

과 차단되어 있는 경우, 예를 들어 오래된 암석의 중심부와 같은 곳에는 U, Th 아래 단계에 해당하는 모든 동위원소의 방사능의 양이 같게(Secular Equilibrium) 된다. 그러나 화학반응 등은 붕괴 과정에 있는 원소들에게 다르게 작용하여 이 평형이 깨어지게 된다. 따라서 U, Th 원소 자체의 농도를 측정하는 것으로 그 딸핵의 방사능을 정확히 예측할 수는 없다. 예를 들어 물질들의 Ra의 농도는 U, Th의 농도에서 secular equilibrium을 가정하고 계산한 농도(방사능)와 일반적으로 다르다. 실제 Ra의 화학적 농도는 U, Th에 비하여 현저히 작기 때문에 ICP-MS 등의 화학적 분석법으로 측정할 수 없다. 가능한 방법은 Ra의 붕괴에서 생성되는 감마선을 측정할 수밖에 없다. 이러한 점에서 HPGe를 이용한 측정은 ICP-MS 등의 화학적 측정법과 상보적이다. 이외에도 trace element 등의 감마선을 측정함으로써만 그 방사능 오염도를 측정할 수 있는 경우에는 HPGe 측정법이 유일하다. 연구단에서는 물질의 내부 방사능을 높은 측정효율과 많은 양의 샘플을 측정할 수 있도록 HPGe Array 검출기를 Canberra사와 공동으로 개발한다. 그림 7에 개발하고 있는 검출기가 나타나 있다.^[5] 이 검출기의 경우 수십 kg의 금속 샘플을 동시에 측정할 수 있고 1 MeV의 감마선에 대한 효율은 약 10%에 달한다. 이 HPGe Array 검출기는 샘플의 초미량 방사능 검출뿐만 아니라, 새로운 베타붕괴 및 중성미자 미 방출 EC/EC 공명 이중베타붕괴에서 방출될 것으로 예상되는 감마선의 측정에도 이용할 계획이다. 이 array 검출기는 샘플측정용 HPGe 검출기로는 세계적으로 가장 효율이 높은 검출기이다.

천체핵물리학을 위한 지하 가속기

현재 우리가 알고 있는 자연계에는 많은 원소들이 존재한다. 이들 원소들이 결합하여 다양한 분자들을 만들고 다시 이들 분자들

REFERENCES

- [3] Y. Fukuda *et al.*, Nucl. Instr. Meth. A **501**, 418 (2003).
- [4] www.ateko.cz.
- [5] M. E. Keillor *et al.*, J. Radioanal. Nucl. Chem. **282**, 703 (2009).

로부터 생명체를 포함한 우리가 눈으로 볼 수 있는 세상이 만들어진다. 하지만 시간의 화살을 거꾸로 돌려 우주 탄생의 순간으로 가 보면 우리의 우주는 지금으로부터 약 137억 년 전에 대폭발 (Big Bang)에 의하여 탄생하였다. 137억 년 전에 일어난 대폭발의 증거는 현재 우주 여기저기에 남아 대폭발 이론을 뒷받침하고 있다. 이 가운데 하나가 우주에 존재하는 수소와 헬륨의 양이다. 현재 우주에서 발견되는 물질의 99% 이상은 수소와 헬륨이 차지하고 있으며 질량비로는 수소 3, 헬륨 1 정도 된다. 대폭발 이론의 시나리오를 풀어 나가면 우주에 있는 수소와 헬륨의 질량비를 자연스럽게 설명할 수 있다. 이 시나리오에 의하면 대폭발 후 약 1시간 정도가 지나면 수소, 헬륨 외에 극미량의 리튬, 베릴륨 원자핵이 만들어지고서 더 이상의 원소 생성은 일어나지 않는다. 하지만 현재의 우주에서는 위의 원소들 외에 거의 90종이나 되는 많은 새로운 원소들이 존재한다. 이들 원소는 어디서 나온 것일까?

BBFH의 선구적인 논문^[6]으로부터 시작한 핵 천체물리학의 연구를 통하여 우리는 많은 새로운 원소들이 바로 밤하늘에 빛나는 별 내부에서 만들어졌다는 사실을 알고 있다. 이들 별은 내부에서 계속적인 핵융합을 통하여 헬륨, 탄소, 산소 등을 비롯하여 철, 코발트, 니켈 원자핵까지 만들어 내면서 별의 최후를 준비한다. 철보다 더 무거운 원소들은 별의 최후인 초신성 폭발 또는 최근의 연구에 의하면 중성자별의 충돌과정에서 만들어지는 것으로 예측하고 있다. 이들 무거운 원소의 생성과정은 현재 한국에서 건설 중인 중이온가속기에서 더 정확하게 규명될 것이다.

가벼운 원소들의 핵융합과정에서 몇 가지 핵 반응은 그 반응단면적이 너무 작아서 지상 실험실에서 실험을 진행하기가 어렵다. 예를 들어 탄소12에 헬륨원자핵이 결합하여 산소16이 만들어지는 핵반응은 현재 우주의 탄소와 산소의 비율은 물론 산소보다 더 무거운 여러 원소들의 상대적 비중을 정하는 데 매우 중요한 핵반응이지만 아직까지도 명확한 답을 구하지 못하고 있다. 위의 핵반응을 실험실에서 확인하려면 핵반응에서 발생하는 감마선을 측정하여야 하지만 반응단면적이 매우 낮아서 배경방사선에 묻혀버리기 때문이다. 감마선뿐 아니라 중성자를 만들어 내는 반응 또한 지상에서는 측정하기가 어려운 반응에 속한다. 우주에서 만들어지는 중성자는 다시 원자핵에 흡수되어 더 무거운 원자핵을 만들어 내는 원재료가 되어 이들 중성자가 만들어지는 반응 단면적은 별 내부에서 일어나는 여러 가지 핵반응을 연구하는 기초자료의 역할을 한다.

이러한 가벼운 원자핵들 사이에서 일어나는 핵반응을 연구하는 데는 중이온가속기와 같은 거대한 가속기가 아닌 주로 정전가속기 형태의 소형가속기를 이용할 수 있다. 특히 지하실험실과 같은 배경방사능이 낮은 곳에서 핵반응을 연구하면 지상에서 보다 더 높은 민감도로 반응단면적을 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 해외의 대표적인 지하실험실들은 모두 지하 핵천체물리학을 위한 지하 가속기 프로그램을 포함하고 있다. 이탈리아의 Gran Sasso에서는 이미

Fig. 8. Floor plan of 3 MV Tandem Accelerator at Seoul National University. Similar or smaller electrostatic accelerator can be installed in the new underground laboratory.

Fig. 9. The actual photograph of 3 MV Tandem Accelerator at Seoul National University.

LUNA(Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) 프로그램이 진행되어 50 kV, 400 kV의 정전가속기를 사용하여 여러 가지 핵반응을 측정하였으며 특히 ${}^3\text{He}+{}^3\text{He}\rightarrow{}^4\text{He}+2p$ 반응은 별에서 해당 핵반응이 일어나는 에너지인 16 keV에서 반응단면적을 측정하는 쾌거를 올렸다.^[7] 해당 핵반응의 반응단면적은 20 femtobarn으로서 한 달에 평균 2개의 사건을 관찰하는 정도이다. 마찬가지로 미국의 DUSEL 지하실험실에서는 DIANA라는 프로그램을 계획하여 매우 낮은 에너지에서의 핵반응 연구를 추진하고 있다.

한국에서 추진 중인 새로운 지하실험실은 심도가 1400 m로 배경방사선이 충분히 낮아 낮은 에너지의 핵천체물리학을 연구하는데 적합한 조건을 갖추고 있다. 3 MV 정도의 가속 전압을 가지는 정전가속기를 지하실험실에 설치한다면 국제적으로 진행 중인 지하 핵천체물리학 실험에 한국도 한 걸음 내딛을 수 있을 것이다. 또한 2021년에 완공 예정인 중이온가속기를 이용한 핵물리학 실험에 필요한 각종 기술을 미리 익히고 관련분야 인력도 양성하여 중이온가속기를 활용한 연구에도 기여를 할 것으로 기대한다.

국내에서 유일한, 기초과학을 위한 고심도 지하실험실은 아직 밝혀지지 않은 우주의 기원과 구조에 관한 의문들을 실험적으로 밝히는데 중요한 역할을 할 것이라 기대한다. 고심도 지하실험실은 다른 기초과학 분야에도 유용한 실험장소를 제공할 수 있을 것 이어서 다목적 기초과학 연구시설로 발전해 나갈 것이다.

REFERENCES

- [6] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler and F. Hoyle, *Reviews of Modern Physics* **29**, 547 (1957).
- [7] C. Arpesella *et al.*, *Physics Letters B* **389**, 452 (1996).