

우주선 뮤온 관측에 포함되어 있는 고등학교 수준의 과학 탐구활동의 분석

이정진, 김기연, 김민성, 정금실, 김상년*

한국교원대학교 물리교육과, 충청북도 363-791

An Analysis of High School Level Inquisitive Activities at Science Contained in Cosmic Muon Observation

Jeong Jin Yi, Ki Youn Kim, Min Seong Kim, Geum Sil Jung and Sang Nyeon Kim*

Department of Physics Education, Korea National University of Education, Chung-Buk 363-791, Korea

요약

우리나라 고등학교 7차 과학 교육과정의 내용들 중에서 우주선 뮤온 관측과 연관이 있는 탐구내용들을 조사하였다. 교사와 학생 모두에게 수행하기 적절한 현장 탐구활동을 제시하였다. 또한 우리나라 고등학교 현장에서 수행하기 적절한 우주선 뮤온 측정 시스템을 조사하였다. 끝으로, 충북 청원지방에서 우주선 뮤온 플럭스를 24시간 시험 관측하여 선정된 탐구 활동의 결과들을 제시하였다.

주제어 : 우주선 뮤온 관측, 현장 탐구활동, 뮤온 플럭스

서론

1912년 Victor Hess가 우주선(cosmic ray)을 발견한 이래 현재까지 우주 천체 물리 및 핵·입자물리를 연구하는 세계 각국의 대학이나 연구기관의 실험실에서 여러 종류의 우주선을 관측하는 실험이 지속적으로 수행되고 있다(Dragic et al., 2008; Fernandez et al., 2007; Gilboy et al., 2007; Zimmermann et al., 2004). 현대 전자·정보과학의 발전으로 우주선을 관측하는 장비는 과거 십 수 년 전과 비교하여 소형화 되었으며 취급이 편리하게 제작되었다. 21세기 초반부터는 구미 각국의 고등학교 교육 현장에서 우주선을 관측하는 장비의 사용이 가능한 여건이 조성되었다(Blanco et al., 2008; Wibig et al., 2006; Brouwer et al., 2005; Famoso and Riggi, 2004).

우주선 관측은 일차 우주선 관측과 이차 우주선 관측으로 구

분할 수 있다. 일차 우주선은 우주선 발생원에서 일차적으로 방출된 우주선을 의미하며 인공위성을 이용하여 대기권 밖에서 관측한다. 이차 우주선은 일차 우주선이 지구 대기권에 입사하여 대기권을 이루는 원자핵과 상호작용하여 이차적으로 방출되는 입자를 의미하며 주로 지표상에서 관측된다. 우주선 뮤온은 이차 우주선에 해당되며 우주선 뮤온의 지표상 관측은 가장 기초적인 우주선 관측 활동으로서 보편적으로 수행되고 있다.

인공위성에서 일차 우주선을 직접 관측하는 경우이든 또는, 지상에서 이차 우주선의 관측을 통하여 간접적으로 일차 우주선의 물리적 성질을 예측하는 경우이든 우주 천체 물리학의 주요 관심의 대상은 일차 우주선의 에너지이다. 에너지가 10^{16} eV 이상인 하나의 일차 우주선이 하나의 대기권 핵과 충돌하는 경우, 경우에 따라서는 매우 광범위한 영역에 수많은 공기 샤워 입자들(extended air shower : 이하 EAS)들이 생성되며, 이 입자들은 광속에 가까운 상대론적인 속도로 거의 동시에 지표상에 도달하게 된다(Yanson et al., 2009; Keilhauer et al., 2008; Bogdanov et al., 2008; Badala et al., 2007). 일차 우주선의 에너지를 지표상에서 간접적으로 측정하는 방법 중의 하나로서

이 연구는 한국교원대학교 2008학년도 KNUE학술연구비 지원을 받아 수행하였음

*교신저자: snkim@knu.ac.kr

•2009년 7월 1일 접수, 2009년 8월 17일 수정, 2009년 9월 3일 통과.

EAS가 발생하는 현상을 주로 관측하게 된다.

최근에는 EAS 현상을 검출하는 뮤온 측정 검출기 배열들이 캐나다와 미국의 고등학교들에 설치되었다. 참고로 <http://quarknet.fnal.gov> 와 <http://csr.phys.ualberta.ca/nalta> 에는 뮤온 측정 검출기를 운영하고 있는 북미 지역의 고등학교들에 대한 상세한 정보를 얻을 수 있다. 이 경향은 유럽과 아시아의 여러 나라로 점차적으로 확산되고 있다. 기본적으로 뮤온 관측 활동은 고등학교에서 다루는 과학 분야의 여러 가지 개념 요소들이 통합된 형태로 구성된 탐구 활동으로 볼 수 있다. 확산의 주요한 원인으로서 뮤온 측정 과정에 내포되어 있는 통합 과학적인 요소를 생각할 수 있다.

반면에, 현재 우리나라에서 사용되고 있는 7차 교육과정의 고등학교 과학교과서 내용을 살펴보면, 우주선이나 우주선의 관측에 관한 내용이 현행 고등학교 교과서에 거의 소개가 되지 않고 있다. 따라서 우리나라 고등학교 교육 현장에서는 우주선 뮤온의 관측의 내용과 고등학교 과학 탐구활동의 연관성에 대한 정보가 거의 없다고 볼 수 있다.

이 연구는 우리나라 고등학교 과학 교육과정 단원과 우주선 뮤온 측정 내용 사이에 연관되어 있는 탐구활동을 조사하였다. 또한 우리나라 고등학교에 적당한 우주선 뮤온 측정 시스템의 구성과 현장 탐구활동 내용을 조사하였다. 마지막으로 충북 청원지방 우주선 뮤온 플럭스 측정 결과를 분석하면서 실행 가능하다고 생각되는 교사-학생의 현장 탐구활동 내용을 제시하였다. 궁극적으로 이 연구는 교사와 학생이 우리나라 고등학교 현장교육에 활용할 수 있는 우주선 뮤온의 관측과 탐구활동에 연관된 구체적인 탐구활동의 내용을 제시하는 것을 연구의 목적으로 하였다.

우리나라 고등학교 과학교육과정 단원과 우주선 뮤온 측정 내용의 관련 분석

이 연구에서 우주선 뮤온 측정과 현행 과학 교육과정 내용의 구체적인 연관 내용을 조사하기 위하여 7차 교육과정을 기반으로 집필된 일반계 고등학교 현 과학 교과서 중 4종 16권을 임의의 선택하였다. 선택된 교과서의 내용 중에서 우주선 뮤온 측정 내용과의 연관 설정 과정은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 첫째로, 현 고등학교 물리, 화학, 지구과학 그리고 생물 교과서에 명시되어 있는 여러 가지 단원명 중에서 우주선 뮤온 측정과 탐구활동의 내용을 연관시킬 수 있는 단원들을 선정하

였다. 표 1의 첫 번째와 두 번째 열에 선정된 과학 교과 과목명과 대단원명들을 제시하였다. 두 번째로, 선정된 대단원의 내용을 이해하기 위하여 소단원명 또는 소단원에서 다루어지는 개념들 중에서 가장 중요하다고 판단되는 개념을 기본 내용요소로 선정하였다. 표 1의 세 번째 열에는 선정된 기본 내용요소들을 제시하였다.

이에 따라 단원별로 주어지는 기본 내용요소들을 통해 탐구 내용을 선정하여, 교육과정 안에서 적용 가능하다고 생각되는 탐구활동들을 대 주제 탐구활동과 소주제 탐구활동으로 나누어서 표 1의 네 번째와 다섯 번째 열에 각각 제시하였다. 대 주제 탐구활동의 내용은 기본 내용요소를 실험적으로 확인하는 과정이 특별히 우주선 뮤온을 사용하지 않아도 실험적으로 가능한 탐구활동을 기준으로 선정하였다. 그러나 소주제 탐구활동의 내용은 우주선 뮤온 측정에 연관된 특정의 검출기, 전자회로 그리고 측정 자료를 다루는 경우에만 실험적으로 가능한 탐구활동으로 한정하여 선정하였다. 그러나 지구과학II와 생물II 과목의 소주제 탐구활동의 경우는 예외로 다루었다.

표 1에 제시된 내용의 첫 번째 특징으로서, 우주선 측정 탐구활동은 여러 과학 교과와 다양한 단원과 연관되어 있다는 것을 지적할 수 있다는 점이다. 우주선 측정 탐구활동의 기본적인 성격은 특정 교과라기보다는 통합 과학적의 반영한다는 점을 표 1에서 확인할 수 있다. 두 번째 특징으로는, 우주선 측정 탐구활동은 여러 개의 소주제 탐구 활동으로 학생들에게 제공될 수 있다는 점이다. 이 부분은 교사가 지도하는 학생들의 실험 수준이나 실험 환경 등에 따라 다양하게 적용할 수 있는 가능성을 반영한다고 볼 수 있다. 여러 과학 교과에서 제시될 수 있는 기본 내용요소에 대한 하나의 실험적 예시로서 우주선 측정 실험에 관련된 소주제 탐구활동의 활용이 가능하다고 생각된다.

과학계 고등학교의 과학 교육과정에는 전자과학 교과가 있다. 전자과학 교과와 기본 내용요소에 의존하여 더욱 심층적인 소주제 탐구활동의 설정이 가능하다.

뮤온 관측에 대한 탐구활동 내용들

교육적 목적의 우주선 뮤온 측정실험은 단순히 장비를 이용하여 뮤온을 측정하는 것에 그치는 것이 아니라 학생들이 직접 장비를 제작하고 실험을 하는 과정에서 우주선의 관측을 이해하고 측정하는 데 필요한 과학개념을 실험과 조사, 탐구활동 등을 통해 동료, 교사와 함께 상호작용을 통해 능동적으로 학습하는 데 있다.

표 1. 일반계 고등학교 과학 교과 단원과 연관된 유은 관측 탐구활동의 세부 내용들.

과목	단원명	기본 내용요소	대 주제 탐구활동	소 주제 탐구활동	
물리 I	전기와 자기	전압과전류	전기회로와 옴의 법칙 탐구	간단한 RC 및 LC 회로의 제작	
		전기저항	회로의 전력 전달 비율 탐구	기본적인 오실로스코프 사용법 숙지	
	전류의 열작용	전기적 매질의 저항과 반사와 굴절			
	파동과 입자	파동의 발생과 전파	섬광의 매질 내 전파 탐구	섬광판 내의 섬광 파장 측정	
		파동의 반사와 굴절	동축선 내 펄스와 전송탐구	레이저를 이용한 전반사각 측정	
광전효과		빛파동 유도기의 설계 탐구	섬광판 내부의 반사 탐구		
물리 II	전기장과 자기장	빛과 물질의 이중성	광전증배관의 탐구	섬광의 광전효과 측정	
		전기장	우주선 유은 수명 탐구	유은의 상대론적 속도 측정	
		직류회로	광전증배관 내 전하의 운동	광전증배관 내 전하의 가속	
	원자와 원자핵	교류회로	축전기와 전기용량 탐구	RC회로에서 전기 용량의 측정	
		원자모형	정전압 발생 원리의 탐구	직류 정전압 발생 회로의 제작	
		에너지준위	용량성 회로의 분석	RC회로의 펄스응답 탐구	
		핵의 구성과 기본입자	전체적인 유은검출시스템	유은 계수회로 제작의 탐구	
			핵변환	원자모형 발전과정 탐구	섬광 플라스틱 구성 원자의 양자적 탐구
			기본입자	분자의 에너지 준위	유은의 매질 내 에너지 손실 탐구
		화학	물질의 구조	핵변환	기본입자 유은과 속도와 수명 탐구
원자모형	입자물리학 표준모형과 유은			섬광 검출기 제작의 탐구	
지구과학 I	살아 있는 지구	원자의 구조	기본입자 유은의 발생 탐구	유은의 지표상 플럭스 측정	
		태양	보어의 원자 모형 탐구	다양한 우주선 관측 방법의 조사	
		달·구름	원자와 분자의 구조	원자의 천이와 광자의 발생과 흡수 탐구	
지구과학 II	천체와 우주	태양	원자와 분자의 구조	분자의 천이와 형광 인광의 발생 탐구	
		우주론 팽창하는 우주	태양의 핵융합과 표면 활동	태양표면 활동과 유은플럭스 관련 탐구	
생물 II	생명의 연속성	밤과 낮의 전리층 두께 변화	기압변화와 공기 밀도 탐구	기압 변화와 유은 플럭스의 관련 탐구	
		우주론 팽창하는 우주	초고에너지 우주선 기원 탐구	초신성폭발 활성은하핵 및 블랙홀 탐구	
		생물의 진화	생물의 진화와 우주선의 관계	투명 우주론의 탐구	
				우주선과 돌연변이의 관계 조사	

표 1에 조사된 여러 가지 탐구활동과 연관되어 있는 5개의 탐구활동을 선정하였다. 선정된 5개의 탐구활동의 내용에 대한 가능한 방향을 다음과 같이 설정하여 보았다.

우주선의 기원에 대한 탐구

이 탐구활동은 지구과학II의 천체와 우주 단원의 내용 요소를 포함하고 있는 부분이다. 일차 우주선의 성분은 90% 정도가 양성자, 5% 정도가 알파입자 그리고 나머지 5%는 가벼운 원자핵인 C, N 및 O 원자핵으로부터 매우 드물게는 Fe와 같은 무거운 원자핵까지 존재한다고 알려져 있다. 일차 우주선의 에너지는 대단히 에너지 폭이 넓어서 대략 10^9 eV에서 10^{20} eV 정

도의 에너지를 갖는 것으로 알려져 있다.

이 중에서 10^{20} eV 정도의 초고에너지인 극한에너지를 갖는 우주선 존재의 정확한 에너지 측정이나 발생원의 규명은 우주 진화의 규명에 중요한 단서를 제공하는 것으로 예측되고 있다. 초고에너지 우주선의 발생 원인이나 우주선을 발생시키는 천체에 대한 규명은 아직도 명확하게 알려져 있지 않다. 현재까지는 초신성(super nova) 폭발에서 발생하는 충격파(shock wave)에 의한 가속으로 이와 같은 높은 에너지를 얻거나, 활성 은하핵(activated galactic nucleus)에서 그리고, 블랙홀(black hole) 근처에서 가속되어 높은 에너지를 얻는 것으로 예측되고 있다. 비교적 낮은 에너지의 우주선은 태양과 같은 천체에서도 발생된다.

섬광검출기의 제작 방법의 탐구

이 탐구활동은 화학II의 내용 중에서 분자의 구조와 천이 그리고 형광 및 인광의 발생에 대한 탐구내용을 포함하고 있는 부분이다. 이 연구에서 섬광검출기는 가로와 세로가 각각 30 cm, 두께가 10 cm 크기의 투명한 플라스틱 섬광관과 광전증배관(photomultiplier tube)을 사용하여 제작하였다. 그림 1은 제작된 플라스틱 섬광 검출기의 사진이다. 섬광관의 중앙부에 광전증배관을 위치시켰으며, 외부의 빛을 차단하기 위해 섬광검출기 전체 외관을 검은 색의 테이프로 처리하였다. 섬광관에 입사된 우주선 뮤온은 비정 1cm에서 플라스틱을 구성하는 H, C 및 O 원자들과의 상호작용으로 입사에너지의 일부분을 손실하고 섬광관을 통과한다. 손실된 에너지는 주로 플라스틱 섬광관 내부에서 420 nm 근방의 파장을 갖는 녹색계열 광자를 발생시킨다. 발생된 녹색계열 광자는 섬광관 벽면에서 여러 번의 내부반사를 겪고서 광전증배관의 음극판(cathode)으로 수집된다. 입사된 광자와 음극판 금속물질과의 광전효과의 결과로 음극판은 전자를 방출한다. 방출된 전자들은 연속해서 배열되어 있는 10단계의 다이노드(dynode)들에서 연속적인 광전효과를 겪으며 점차적으로 전자의 개수가 증가된다. 광전증배관의 음극판인 캐소드와 양극판인 애노드(anode)사이에는 음의 바이어스 전압 1,100 V 정도를 걸어 주었다. 각 다이노드 사이의 전압은 100 V 이었으며, 전자들이 각 다이노드 마다 광전효과로 인하여 전자의 개수가 증배되어 최종적으로 양극판에 도달한다. 양극판의 전자 수집시간은 수 ns 정도이다. 이와 같이 증배된 전자들은 양극판에서 전치증폭기로 음의 전하 펄스의 형태로 입력된다.



그림 1. 제작된 플라스틱 섬광 검출기.

플라스틱 섬광관을 이용한 검출기는 고등학교 수준에서도 충분히 제작할 수 있을 만큼 검출기 제작 방식이나 구조가 비교적 간단하며, 소요되는 부품들도 비교적 구하기 쉽고 취급이 쉬운 재료들로 구성되어 있다. 단, 광전증배관은 바이어스 전압이 고전압이므로 고등학생 지도에 지도교사의 각별한 주의가 필요하다. 또한 플라스틱 섬광관도 유기용매나 여러 화학물질에 민감하므로 주의하여 취급하지 않으면 성능이 저하될 수 있다. 이러한 검출기 제작 과정은 고등학생들에게 물리시간에 학습한 광자의 발생 또는 광전효과에 대한 이론을 실험적으로 확인할 수 있는 기회를 제공할 수 있다.

전체적인 뮤온 관측 시스템의 탐구

이 탐구는 과학계 고등학교의 전자회로 탐구활동으로 더욱 적합한 탐구활동이다. 그림 2는 전체적인 뮤온 검출 시스템의 개요도이다. 플라스틱 섬광관과 광전증배관으로 구성된 두 개의 우주선 뮤온 검출기는 광전증배관 양극판의 전자 수집시간 폭의 음의 전하 펄스를 출력한다. 양극판 출력 신호에는 노이즈 신호도 많이 혼합되어 있으며 실제의 뮤온이 에너지를 손실한 신호와 구별이 쉽지 않다. 이 음의 전하펄스는 노이즈의 영향을 최소화하기 위하여 검출기에 가장 근접하게 위치한 전치증폭기(preamplifier)에서 일차로 가공된다. 전치증폭기의 되먹임 축전기(feedback capacitor)에서는 입력되는 전하의 양에 비례하는 양의 전압 펄스를 출력한다. 일차로 가공된 신호는 다음 단계로 이어지게 되는 펄스처리회로에서 펄스처리의 편리함을 위하여 검출기와 멀리 떨어져 있는 광전증배관용 가변이득증폭기에 입력하여 이차적으로 증폭된 펄스로 만든다.

가변이득증폭기에서 출력된 두 개의 전압 펄스 중에서 하나의 펄스를 두 개로 분기하였다. 분기된 두 개의 펄스 중에서 첫 번째 펄스는 펄스의 피크 전압값 V_p (이하 V_0)를 측정하는 신호로 이용하고 두 번째 신호는 트리거신호를 발생시키는 데 이용한다. 첫 번째 신호는 0.45 μs 로 시간지연을 시켜주는 지연 증

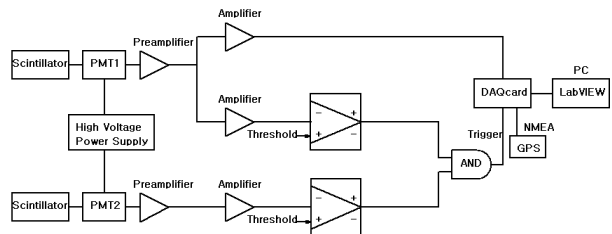


그림 2. 전체적인 뮤온 측정 시스템 회로 개요도.

폭기(delay amplifier)를 거친 후 컴퓨터에 장착된 데이터 수집 보드(DAQ board)로 입력된다. 두 번째 신호는 비교기(comparator)에 입력하여 노이즈 레벨보다 높도록 미리 설정한 문턱전압(threshold voltage)보다 입력된 신호 전압이 큰 경우에만 비교기가 TTL 펄스를 출력하도록 만든다. 상하 두 개의 비교기에서 출력된 두 개의 TTL 펄스는 합 게이트(AND gate)로 입력한다. 이때 합 게이트에 입력되는 두 개의 신호는 두 개의 검출기에서 각각 발생된 신호로서 대략 3 ns 펄스 폭 이내로 겹쳐지는 경우 동시 발생의 판정을 받게 된다. 동시 신호라고 판정이 되는 경우에는 합 게이트는 논리 1의 TTL 신호를 출력한다.

두 개의 증폭기 중에서 어느 하나의 증폭기에서 출력된 한 개의 아날로그 신호와 합 게이트에서 출력된 한 개의 논리 1의 TTL 신호는 컴퓨터의 PCI 슬롯에 장착된 데이터 수집 보드의 입력 핀에 각각 연결되었다. 합 게이트의 출력 TTL 신호는 DAQ 카드에서 다른 하나의 아날로그 신호를 샘플링하는 개시 신호로서의 트리거 신호의 역할을 한다. 신호 분석을 위하여 LabVIEW로 설계된 컴퓨터 분석 프로그램을 제작하였다.

그림 2의 오른쪽 부분 DAQ 카드에 GPS 수신기가 연결되어 있다. 이 수신기는 GPS 위성으로부터 NMEA 형식으로 되어 있는 정보를 수신하며 측정 장소의 위치와 측정 시각을 정밀하게 측정한다(Brouwer et al., 2002; Pryke and Lloyd-Evans, 1995).

이상과 같은 전체적인 측정시스템을 이해하고 실제로 운영하는 과정에서 교육과정에 포함된 많은 부분의 경험이 가능하다. 전위차와 접지에 대한 이해, 여러 가지 집적회로의 기능 및 논리회로의 기능 등을 경험할 수 있다. 특별히 여러 장치를 거치면서 변화하는 펄스를 관찰하는 과정에서 오실로스코프를 이용할 수 있는 기회를 경험하게 되며 여러 가지 펄스들을 실제의 예를 통해 학습할 수 있게 된다.

간단한 묀은 계수회로의 제작 탐구

간단한 묀은 계수회로는 고등학교에서도 쉽게 제작 할 수 있도록 소요되는 부품을 일체화, 간소화한 회로이다. 고압 공급 장치와 전치 증폭기는 광전증배관 튜브 베이스에 일체형으로 내장된 형태를 사용한다. 이 경우에는 광전증배관의 음극관과 양극관 사이에 걸리는 1,000 V 전압을 공급하는 Cockroft-

Walton 전압증배기(voltage multiplier)가 튜브 베이스에 내장된 부품을 이용한다. 이때 전압증배기에 공급하는 외부 전압은 5 V 정도이다. 비교기와 합 논리소자를 사용하여 간소화한 개념도와 실제 제작된 회로판을 그림 3과 그림 4에 각각 그려 놓았다. 그림에서 이 연구에 사용한 소자의 부품 번호도 명기하여 두었다. 이 회로에는 광전증배관의 양극관 출력 아날로그 전압 펄스를 입력한다. 입력된 신호가 미리 예측된 노이즈 신호의 최대치보다 큰 경우에 비교기는 TTL 펄스를 발생한다. 두 개의 입력신호가 동시에 신호가 발생하여 각각의 비교기에서 TTL 신호 발생 차이가 20 ns 이내이면 합 게이트에서 디지털 신호가 발생하여 두 개의 검출기를 모두 관통한 입사 우주선을 계수(count)하도록 설정하였다. 그림 3에 있는 합 게이트 후단의 DAQ 보드와 LabVIEW 로 설계된 분석 프로그램은 이 보드의 제작 과정에서는 포함되지 않는다.

이러한 검출 회로의 보드를 제작을 하는 과정에서 고등학생들은 기본적인 전자 소자의 기능을 익힐 수 있게 되며 전자 회로에 대한 기본적인 이해를 높일 수 있게 된다.

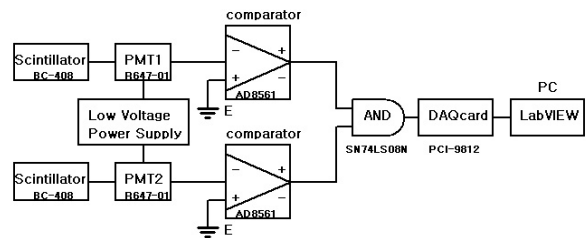


그림 3. 간단한 우주선 묀은 계수회로 개요도.

묀은 관측자료 분석 프로그램 설계의 탐구

분석 프로그램의 설계는 컴퓨터를 이용한 제어와 계측에 최

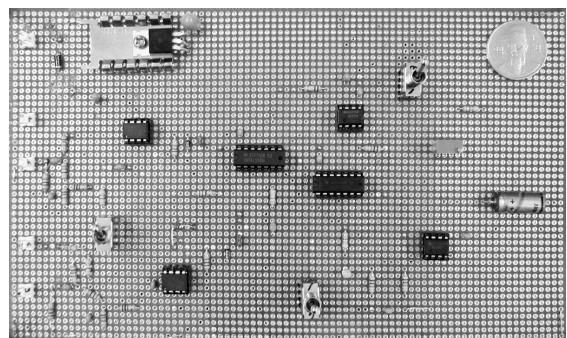


그림 4. 제작된 우주선 묀은 계수회로 판.

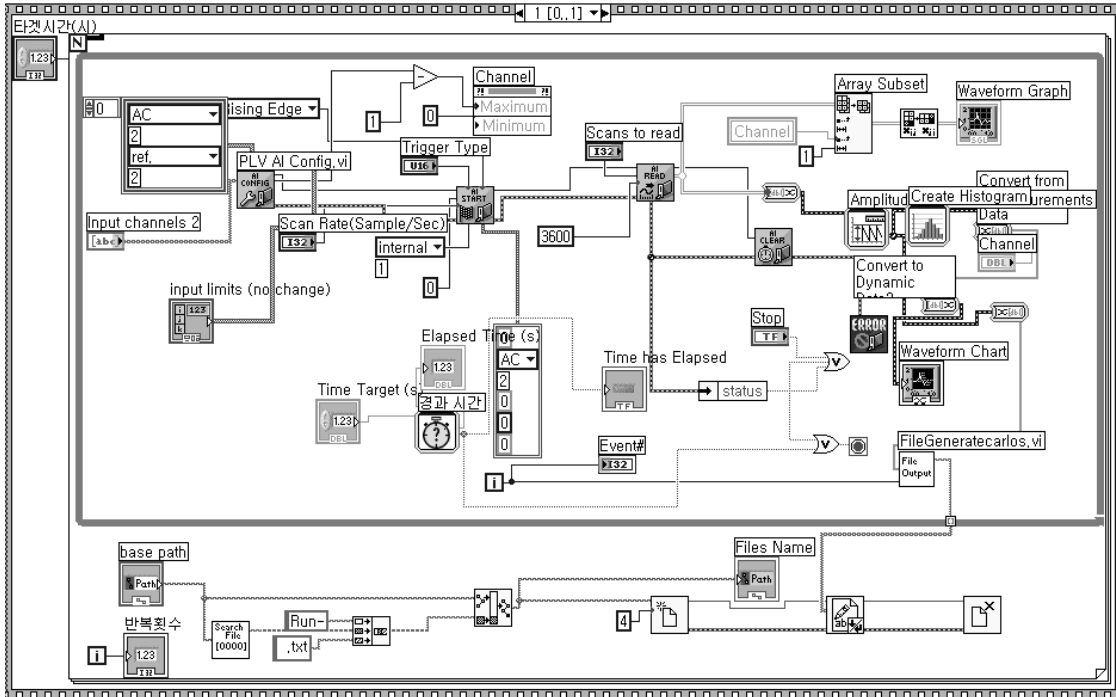


그림 5. LabVIEW로 설계된 블록 다이어그램.

적화되어 있고, 그래픽 환경을 이용하고 있기 때문에 직관적인 이해와 개발이 가능한 LabVIEW(Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)라는 프로그래밍 언어를 이용하였다. LabVIEW로 설계된 간단한 프로그램은 초보자인 고등학생들도 관심만 가질 수 있다면 비교적 쉽게 프로그램을 이해하고 다룰 수 있다고 생각된다. 또한 분석 프로그램의 소스가 온 라인(on line) 상에 항상 개방되어 있으므로 학생 스스로의 필요에 따라 업그레이드 할 수 있는 장점이 있다.

프로그램의 동작시간은 최소 24시간 이상으로 또한, 저장 파일들은 2시간 간격으로 새롭게 생성되도록 설계하였다. 설계된 LabVIEW 프로그램에는 데이터를 수집하는 과정을 모니터 하기 위해 입력 아날로그 전압의 시간적인 파의 형태 그래프, 측정 경과시간, 측정 반복 회수, 저장 파일 이름 및 저장경로 등에 대한 정보를 컴퓨터 스크린 상에서 확인할 수 있도록 설계 하였다. LabVIEW로 설계된 분석프로그램의 이해를 돕기 위하여 주요 부분 화면인 블록 다이어그램을 그림 5에 그려 놓았다.

컴퓨터에 PCI 슬롯에 장착된 데이터 수집 보드에 입력 핀에 인가되는 신호는 전치증폭기 가변이득 증폭기에서 두 개로 분기되어 나온 아날로그 신호와, 두 개의 검출기에서 동시에 동시 판정 회로로 입력된 경우 발생하는 TTL 트리거 신호이다. 이

트리거 신호는 LabVIEW 프로그램 동작에서 외부 트리거로 작용한다. 외부 트리거 입력 시점에서 동시에 입력된 아날로그 전압진폭 신호는 분석 프로그램에 의하여 스캔 비율 3×10^6 (samples/second)로 10개의 샘플이 읽히도록 설정되어 있다. 분석 프로그램은 스캔된 10개의 전압 진폭값 중에서 최고값을 취하여 파일로 저장한다.

충북 청원지방 우주선 뮤온 입사량 측정의 탐구 활동

실제로 고등학교 수준의 학교 현장에서 학생을 지도하는 교사를 대상으로 다음과 같은 우주선 뮤온 관측 탐구 활동을 하였다. 탐구활동의 주제는 다음과 같은 전치증폭기 출력 전압의 분석, 주 증폭기 출력 전압의 분석, 관측된 뮤온 플럭스의 분석 및 관측된 출력 전압 분포의 분석으로 구성하였다.

전치 증폭기 출력 전압펄스의 탐구

이 연구에서 사용된 전하 민감형 전치증폭기는 광전증배관의 양극에서 출력되는 전자의 전하 펄스를 적분하여 증폭기의 전기용량에 따라 전압 이득(voltage gain) 1의 전압 펄스로 변

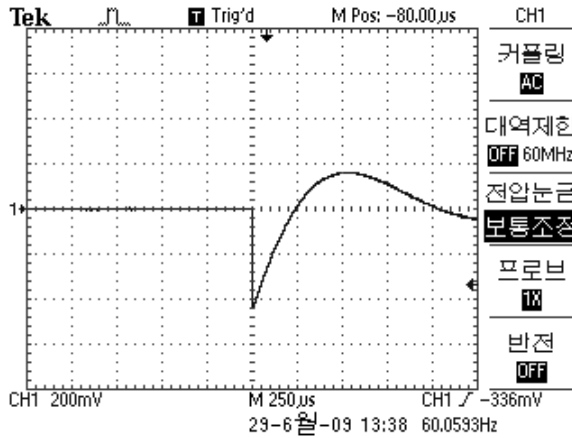


그림 6 (a). 펄스 신호의 전치증폭기 출력의 예.

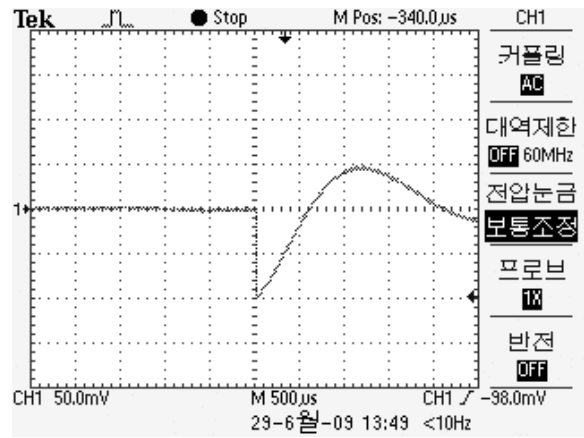


그림 6 (b). 뮌 신호의 전치증폭기 출력의 예.

환하여 출력한다. 따라서 전치 증폭기의 출력전압을 측정하면 광전증배관의 양극에서 수집되어 전치 증폭기로 출력되는 전자의 정확한 전하량을 알 수 있게 된다. 전자의 전하량 계산 과정은 표준적인 교정과정을 거쳐야 한다. 이 교정과정은 정확한 출력전압을 알 수 있으며, 실제로 우주선 뮌이 검출기에서 만들어 내는 신호 파형과 비슷한 전기적 신호를 발생시키는 수 있는 펄서(pulser)의 신호를 전치증폭기의 시험 입력 단자에 입력하여 수행될 수 있다.

V_p 가 -900 mV, 상승시간이 약 10 ns, 감쇠시간이 400 μ s, 펄스폭이 250 μ s인 꼬리가 긴 펄스(tail pulse)를 전치 증폭기의 시험입력 단자에 입력한 결과를 그림 6 (a)에 그려 놓았다. 이 경우 V_p 가 -450 mV, 상승시간이 약 10 ns, 감쇠시간이 400 μ s, 펄스폭이 130 μ s인 꼬리가 긴 펄스가 전치 증폭기에서 출력되었다.

이 연구에서 사용한 전치증폭기는 광전증배관용 전치증폭기로서 입력 전기용량은 45 pF로 설정하였다. 입력 전기용량을 45 pF로 설정한 전치증폭기의 출력 민감도는 3.6×10^3 mV/electron이었다. 그림 6(b)는 전치증폭기에서 출력된 실제 광전증배관에서 입력된 우주선 뮌의 전치증폭기 출력 전압 펄스로서 V_p 가 -98 mV, 상승시간이 약 2 μ s, 감쇠시간이 710 μ s, 펄스폭이 430 μ s 정도인 펄스이다. 이 자료로부터 광전증배관에서 출력된 전하량은 $Q_0 = 4.36 \times 10^{-12}$ C임을 알 수 있었다.

증폭기 출력 전압펄스의 탐구

전치증폭기에서 출력된 펄스는 후단에 접속되는 DAQ 카드에서 전압 진폭 분석을 수행하려는 목적에서 선형 증폭기에 입력하여 성형을 하였다. 즉 전치증폭기의 출력 펄스를 0.1 V에

서 10 V의 범위로 증폭하고 전압 최대치의 측정에 적절하도록 최적화된 가우시안(Gaussian) 펄스로 성형을 한다. 전치증폭기의 펄스는 상승 시간은 짧고, 하강 시간은 대단히 긴 펄스로서 펄스 형태가 전반적으로 긴 꼬리부분을 갖는 비대칭적인 펄스이다. 상승시간이 상대적으로 짧은 비대칭형 펄스에서는 정확한 피크 전압을 측정하기 곤란하므로 가우시안 펄스로 성형하여 대칭적인 펄스로 성형한다. 이 경우 펄스 형태는 대칭으로 성형되지만 피크 증폭의 선형성은 유지된다. 선형 증폭되므로 가변 이득 증폭기의 전압이득을 펄스로 여러 가변 이득 증폭기의 입력과 출력의 전압값을 미리 교정할 수 있는 기준을 만들어 놓아야 한다. 그림 7은 그림 6 (b)의 전치증폭기 출력을 증폭기에서 가우시안(Gaussian) 펄스로 성형 증폭한 결과이다.

이 그림에서 가우시안 펄스로 성형된 펄스의 V_p 는 1.42 V, 상승시간은 약 3 μ s, 감쇠시간이 약 40 μ s, 펄스폭이 약 5 μ s이었다. 펄서의 전치증폭기 출력 V_p 가 450 mV일 때 주 증폭기의

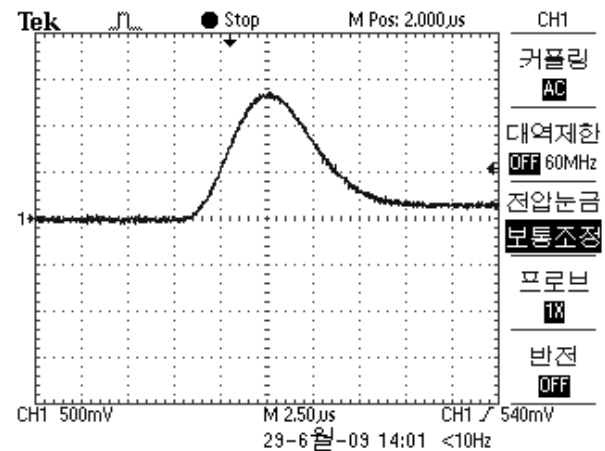


그림 7. 뮌 신호의 증폭기 출력 신호의 예.

출력 V_p 가 8.8V이었으므로 증폭기의 전압 이득은 19.5 이었다. 그림 6에 그려 놓은 관측된 뮤온 펄스는 성형 증폭되기 전의 전치 증폭기에서의 출력된 V_p 는 약 72.8 mV이었다.

관측된 뮤온 플럭스의 정량적 탐구

증폭기에서 성형된 출력 펄스를 24시간 동안 연속으로 관측하였다. 비교기에서 설정된 문턱 전압값은 700 mV이었다. 관측된 자료는 매 2시간마다 새로운 파일로 저장되었다. 그림 8은 2시간 간격으로 관측된 동시 입사된 뮤온 계수치 분포도이다. 이 그림에서 가로축 눈금은 한국표준시이다. 처음 측정을 시작한 시각은 2009년 6월 25일 오전 5시이었다. 24시간 동안의 총 계수치는 1879개이었다. 관측 시간 동안에 관측치의 변동 폭은 2시간당의 표본에서 최고치 187개와 최저치 134개의 차이는 53개이었다.

그림 8의 관측값에서 대체로 주간 시간에 속하는 오전 9시부터 오후 5시까지의 평균적으로 계수율이 2시간당 150개 이상이었으며, 야간 시간대에 해당하는 오후 7시부터 다음 날 오전 6시까지의 계수율이 2시간당 150개 이하임을 알 수 있었다. 이러한 결과는 주간과 야간 시간대에서 우주선 뮤온이 발생하는 지구 전리층의 두께의 변화가 주요 원인이 될 것으로 추측된다. 더 자세한 정량적인 분석이 기대되는 부분이라고 볼 수 있다. 구체적으로 EAS 현상의 증거를 관측하기 위하여서는 관측시간 간격을 초 단위로 더욱 세분화하여 할 필요가 있다.

이 연구에서 사용한 섬광관의 면적은 0.09 m²이었다. 따라서 그림 8의 24시간 관측치에서 계산되는 동시 관측이 되는 우주선 뮤온의 계수율은 단위면적(m²)과 단위시간(sec)당 0.24개였다.

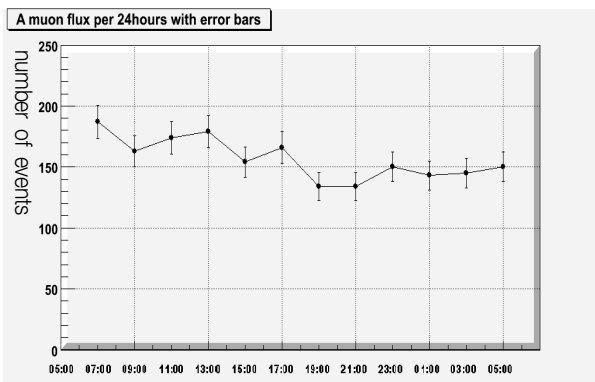


그림 8. 24시간 연속 측정에서 관측된 뮤온 플럭스.

관측된 출력 전압 분포의 탐구

데이터 수집 장치로 입력되는 외부 트리거 신호의 전압값은 10 V이었으며, 펄스폭은 2.3 μ s이었다. 입력되는 펄스의 V_p 를 측정할 때 LabVIEW 프로그램에서 설정한 데이터 수집 장치의 샘플링 속도는 3×10^6 samples/sec로 하였다. 뮤온 전압 펄스가 데이터 수집 장치로 입력될 때마다 LabVIEW 프로그램에서 측정된 V_p 는 텍스트 파일 형태로 저장하였다.

증폭기에서 출력된 총 1879개의 뮤온 전압펄스들의 최고 전압진폭들의 분포를 그림 9에 그려 놓았다. 증폭기에서 출력된 전압 진폭의 분포는 우주선 뮤온이 플라스틱 섬광 검출기를 통과하면서 손실한 에너지의 분포를 나타낸다. 이론적으로 최소 이온화 입자들(minimum ionizing particles)은 통과하는 매질이 두껍지 않은 경우에 에너지 손실 분포가 평균 에너지 손실량에 대하여 대칭적인 분포가 아닌 비대칭 란다우 분포식을 이룬다는 사실이 알려져 있다. 그림 9는 증폭기의 출력 전압에 대한 신호 계수값의 실험적 분포를 이론적인 란다우(Landau) 분포로 적합(fitting)한 결과이다(Sauli, 1997). 전압진폭의 평균값은 1.75 V이었으며 최빈 전압 진폭값은 1.56 V이었다. 그림 9에 표시한 바와 같이 란다우 분포식의 적합도의 값 χ^2/ndf 는 대략 3 정도이었다.

평균값 1.75 V에 해당되는 전압 펄스가 전치증폭기에서 출력될 때의 V_p 는 462 mV이었다. 따라서 전치증폭기에 입력된 전하량 Q 는 2.05×10^{-11} C 임을 알 수 있었다. 이 연구에서 사용한 광전증배관의 이득은 6.7×10^5 이므로 광전증배관의 캐소드에서 발생한 전자의 전하량 Q 는 3.1×10^{-17} C 임을 알 수 있었다. 따라서 광전증배관의 캐소드에서 발생한 전자의 개수 n_e 는 193개로 계산되었다.

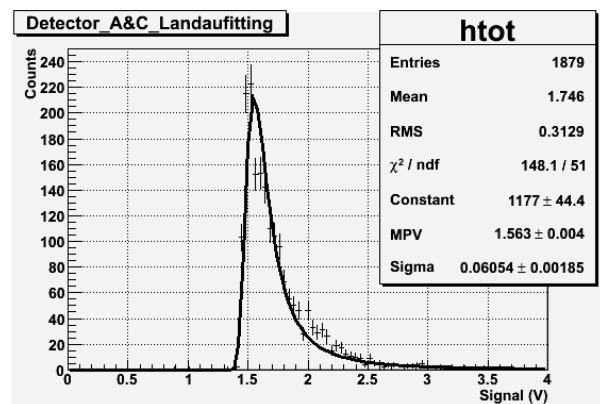


그림 9. 증폭기 전압 펄스 파고의 Landau 분포.

결론

우리나라 일반계 고등학교 과학 교과서의 내용 중에서 우주선 뮤온의 측정과 연관된 내용을 조사하고, 우주선 뮤온의 측정과 연관된 통합과학적인 탐구활동의 내용 중에서 다섯 개의 내용을 구체적으로 제시하였다. 우주선 뮤온의 측정을 연구하고 있는 대학교는 인근 지역의 고등학교 교사와 학생에게 소주제 탐구활동을 심층적으로 지도할 수 있는 현장 연계 프로그램을 활성화하는 방안을 모색하여야 할 것으로 생각된다. 효과적인 탐구활동을 기대하기 위하여서는 우리나라의 고등학교 교육현장에서 가능한 탐구 활동들이 많이 개발되어 제공될 수 있는 여건이 조성되기를 기대한다.

앞으로 우주선 뮤온의 측정에 대한 탐구활동 내용이 실질적으로 우리나라 고등학교 과학 교육 현장의 실정에 부합할 수 있도록 측정 과정이나 측정 시스템을 수준별로 다양하게 발전시키려는 시도가 필요할 것으로 생각된다.

Abstract

Among the educational contents of science in the 7th Korea National Curriculum in high school, we selected some contents related in inquisitive activities which had certain correlations with cosmic muon observation. Furthermore, we proposed some inquisitive activities which were adequate for both high school teachers and students in field. Also we proposed a suitable experimental system for performing cosmic muon measurement. Finally, by observing experimental muon test measurements for 24 hours at Chung-Buk Cheong-Won local area, we proposed some results suitable for selected inquisitive activities.

Key Words : Cosmic ray muon observation, in field inquisitive activity, muon flux

참고문헌

Badalà A et al. (2007) Extensive air showers in the classroom, *Eur. J. Phys.* 28: 903-913.
 Blanco F et al. (2008) Education experiments with cosmic rays in *Science Education in Focus* (M.V. Thomase Ed.).

Nova Publishers, New York.
 Bogdanov AG et al. (2008) A new approach to EAS investigations in the energy region 1015-1019. *Nucl. Instr. and Meth.* A588: 189-192.
 Brouwer W et al. (2002) The ALTA global positioning satellite based timing system. *Nucl. Instr. and Meth.* A 493: 79-89.
 Brouwer W et al. (2005) The ALTA cosmic ray experiment electronics system. *Nucl. Instr. and Meth.* A 539: 595-605.
 Dragic A et al. (2008) Measurement of cosmic ray muon flux in the Belgrade ground level and underground laboratories. *Nucl. Instr. and Meth.* A591: 470-475.
 Famoso B and Riggi F (2004) A proposal for cosmic ray studies involving collaborations between higher education, research sites and local area high schools. INFN/AE-04/01.
 Fernandez A et al. (2007) ACORDE a cosmic ray detector for ALICE. *Nucl. Instr. and Meth.* A572: 102-103.
 Gilboy WB et al. (2007) Industrial radiography with cosmic-ray muons. *Nucl. Instr. and Meth.* A580: 785-787.
 Keihauer B et al. (2008) *Nucl. Instr. and Meth.* A597: 99-104.
 Pryke CL and Lloyd-Evans J (1995) A Performance GPS based autonomous event time-tagging system with application in a next generation Extensive Air Shower array. *Nucl. Instr. and Meth.* A354: 560-566.
 Sauli F (1997) Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers. CERN 77-09.
 Wibig T et al. (2006) Educational studies of cosmic rays with telescope of Geiger-Muller counters. *Phys. Educ.* 41: p 542.
 Yanson EE et al. (2009) Multi-sector scintillation detector for investigations for extensive air showers. *Nucl. Instr. and Meth.* A598 : 296-299.
 Zimmermann D et al. (2004) The cosmic ray muon spectrum and charge ratio in CosmoALEPH. *Nucl. Instr. and Meth.* A525: 141-143.