

원자 모형 개념 형성 과정에서 나타난 러더퍼드의 문제 발견과 해결 과정을 적용한 창의성 향상 프로그램의 개발

정 현 석* · 이 승 우** · 김 영 민***

<목 차>

I. 서론	V. 요약 및 시사점
II. 연구 방법	참고문헌
III. 러더퍼드의 문제 발견 및 문제 해결 과정 분석 결과	Abstract
IV. 프로그램의 타당성 검증과 적용 결과	

I. 서론

우리나라 2011년 고시 교육과정에서는 중학교와 고등학교 교육 목표 중에 ‘문제해결력을 기르고 생각과 느낌을 창의적으로 표현하는 경험을 기르는 것’이 포함되어 있으며, 특히 과학 교과에서는 창의적인 문제해결력을 크게 강조하고 있다(교육과학기술부, 2011). 따라서 실제 과학수업에 있어서 학생들에게 이러한 문제발견과 가설 설정 능력은 꼭 필요하고 육성시켜야 할 중요한 요소이다. 과학교육에 있어서는 특히 학생들로 하여금 주어진 과제 안에서의 문제발견과 문제해결을 위해서 어떻게 사고하여야 할 것인가를 교사가 관심을 갖고 지도하는 것이 중요하다. Hayes(1989)는 문제해결에 대하여, “문제를 정의하고 관련된 요소를 이해하며, 사전 지식과 해결 과정을 탐색하고 최종 목적지에 도달하기 위해 전략과 개념을 조작하는 인지적 과정으로 고차원적인 사고과정”이라고 말한 바 있다. 문제해결에 대하여 Gagne(1985)는 학교교육은 학습자가 합리적으로 문제를 해결하는 데 필요한 능력을 길러주어야 한다고 했다. 특히 Smith & Good(1984)

* 부산대학교 교육대학원 석사

** 부산대학교 과학교육연구소 전임연구원

*** 교신저자: 부산대학교 물리교육과, minkiy@pusan.ac.kr

은 과학교육에 있어 자연현상과 실생활문제를 적극적이고도 능동적으로 해결하기 위한 학습자의 문제해결력 신장은 매우 중요하다고 하고 있다.

과학사적으로 보면, 과학자들은 끊임없이 과학적 문제를 발견하고 그 해결을 위한 노력을 계속 해 왔다. 과학적 문제의 발견과 그 해결 과정은 과학 창의성의 중요한 요소이다. 그러므로 우리가 창의적인 과학자들이 과학적 문제를 발견하게 된 동기와 과정, 그리고 그 문제 해결을 위해 어떤 탐구를 수행하였는지를 분석한다면, 이들의 과학적 문제 발견과 해결 과정의 패턴을 찾을 수 있고, 이것은 곧 학생들의 창의적 문제해결력 신장을 위한 프로그램 개발의 방향을 설정하는 데 기여할 수 있다.

본 연구에서는 잘 알려진 과학자들 중에서 러더퍼드(Rutherford)를 중심으로 고찰하였다. 그 이유는 러더퍼드는 그의 원자 모형 이론 형성에서 문제발견 및 해결 과정이 수학적인 방법보다는 관찰과 사고에 기초한 정성적인 실험을 통하여 문제를 발견하고 해결하였으며, 이러한 러더퍼드의 문제 발견과 문제해결 과정이 수학을 많이 쓰는 경우보다는 훨씬 쉽게 중등학교 학생들의 과학적 문제해결력 신장에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각했기 때문이다.

원자 모형 이론 형성에서의 러더퍼드의 문제발견과 해결과정의 특징은 관찰 및 관찰 현상 설명을 위한 인과적 질문을 통한 문제해결, 그리고 새로운 문제발견으로 이어지는 단순하면서도 연속적인 탐구과정을 보여주고 있다. 문제를 발견하고 난 다음에는 그 문제를 어떻게 해결해야 할 것인가에 대한 사고과정은 당연한 것이다.

러더퍼드의 원자 모형이 나오기까지의 과학사를 개략적으로 살펴보면 다음과 같다.

톰슨은 1897년부터 1906년까지 발표한 논문을 통해서 전자의 특성과 원자의 구조와 물리적, 화학적 특성을 소개한 논문을 발표하였다.¹⁾ 1897년에 전자를 발견한 톰슨에 의해 제시된 원자에 대한 건포도 푸딩 모형은 원자 모형에 전자를 추가하기 위해 1904년에 제안되었으며, 이때는 아직 원자핵이 발견되기 전이었다. 당시에 톰슨의 원자 모형은 양전하로 이루어진 구 속에 전자들이 일정한 간격으로 배치되어 안정된 구조를 이루고 있다는 이론이었다. 즉, 이 모형에서 원자는 양전하를 띤 물질 속에 음전하를 띤 전자들²⁾이 양전하와 같은 전하량만큼 음성음성 박혀 있는 형태로 구성되어 있다. 이것은 마치 음전하를 띤 “건포도들”이 양전하를 띤 “푸딩” 속에 점점이 박혀 있는 모습이기 때문에 “건포도 푸딩 모형”³⁾이라고 과학자들에 의해 명명되었다. 전자들은 원자 전체에 위치하고 있는 것으로 생각되었다. 그러나 전자들은 무작위적으로 위치해 있는 것이 아니라 회전하는 고리에 위치하고 있다는 것이다. 이 원자 모형과 이론은 당시 다른 원자 이론보다 더 설득력 있게 받아들여졌으며 유럽 전반적으로 알려져 있었다고 한다. 물론 이것은 성공적인 모형

1) Thomson 1897, Thomson 1899, Thomson 1904a, Thomson 1904b, Thomson 1904c, Thomson 1905, Thomson 1906

2) 톰슨은 이때까지는 전자라는 용어를 사용하지 않고 이들을 “입자들(corpuscles)”이라고 불렀다.

3) 톰슨의 원자 모형은 톰슨 자신이 그렇게 부른 것은 아니지만 다른 과학자들에 의해 영국의 디저트 음식인 건포도 푸딩에 비교되었으며 그것으로부터 이 이름을 가지게 되었다.

은 아니지만 이 모형을 거치면서 현대적인 원자 모형으로 발전해 왔다는 것을 간과해서는 안 된다. 비록 원자의 양전하 부분은 모호하고 잘못 정의되긴 했지만, 지금의 원자 이론에 있어서도 적어도 원자의 일부는 톰슨이 주장한 음전하의 입자들로 구성되어 있는 것으로 설명된다. 톰슨은 다음과 같은 관점을 가지고 있었다: "... 원소들의 원자들은 음으로 대전된 입자들이, 고르게 양전하로 퍼져 있는 구 속에 갇혀 있는 형태로 구성되어 있다."(Thomson, 1904a).

19세기말부터 과학자들은 원자의 구조와 원소의 주기율적 성질을 설명하기 위한 다양한 모형을 개발했다. 1903년 5월 도쿄 대학에서 열린 도쿄수학물리학회에서 나가오카카 한타로는 소위 토성고리 원자 모형을 발표했다. 이 모형은 중심에 강력하게 대전된 물질이 있고, 한 원 안에 같은 각 간격으로 배열된, 같은 질량을 가진 수많은 음전하를 띤 전자들을 가진 것이었다. 토성 고리의 안정성 설명과 유사하게 원자 내 전자 운동의 안정성을 설명하였다. 즉, 상대적으로 매우 큰 질량을 갖는 양전하가 중심에 모여 있고 정전기력에 의해 그 주변을 도는 전자들의 구조를 제안하였다. 하지만 양전하가 중앙에 있고 그 주위를 전자 들이 고리 모양으로 돌고 있는 이 토성 고리 원자 모형은 역학적 불안정성 때문에 나오자마자 심한 비판에 부딪혀 나가오카카 스스로 포기할 수밖에 없었지만 일본에서는 매우 성공적인 모형으로 인식되어 기념우표까지 발행될 정도였다. 이 모형이 성공적이지는 못했지만 러더퍼드는 1911년에 쓴 편지와 출판물에서 그것에 대해 호의적으로 언급한 적이 있으며, 이 또한 원자모형의 발전과정에서 원자를 토성과 그 고리에 유비적으로 추론하여 생각해 낸 아이디어에 속한다. 어떻게 보면 이 모형이 러더퍼드에게 한가지 창의적 아이디어를 제공했는지도 모른다(김영민, 2012).

1904년에 제안된 톰슨 모형은 1909년에 수행된 금박 실험과 1911년 러더퍼드에 의한 해석, 즉, 양전하가 원자의 중심에 있고 아주 작은 영역을 차지하는 핵을 이루어야 한다는 해석에 의해 오류인 것으로 증명되었다. 러더퍼드의 해석은 원자에 대한 러더퍼드 모형으로 발전하였다. 러더퍼드는 양전하의 대부분은 어느 한곳에 밀집되어 있어야 하고 그것도 원자의 중심에 집중되어 있을 것으로 간주하였다. 중심에 밀집된 양전하를 추후에 원자핵으로 불렀으며, 그는 원자핵 주변으로 전자가 돌고 있고 원자는 대부분은 비어 있는 행성모형을 제시하였다. 나가오카의 토성모형과 비슷할 수 있으나, 차이점은 개별 전자가 개별적으로 핵 주변에서 공전한다는 점에서 차별화 된다. 러더퍼드의 모형은 이후 보어에게 영감을 주어 고전물리학에 의한 원자모델의 결정판인 보어(Bohr) 원자모형에 이르게 된다. 러더퍼드 원자 모형은 나가오카 한타로의 토성 고리 원자 모형을 다시 부활시킨 것으로 이 모형이 지니고 있던 가장 커다란 문제점인 역학적인 불안정성 문제를 피할 수 없었다.

본 연구에서는 러더퍼드가 문제 발견 및 문제해결과정에서 보여준 추론의 과정과 귀추적 사고 과정을 이용하여 중등학교 과학교육에서 학생들의 문제발견과 문제 해결능력을 신장시킬 수 있는 과학 교수학습 자료를 개발하고자 하였다.

II. 연구 방법

본 연구에서 사용한 연구 방법은 문헌 연구와 개발 연구이다.

문헌 연구에서는 러더퍼드의 원자 모형 이론이 나오기까지의 과학사적인 문헌들과 러더퍼드의 사고 과정을 분석한 문헌들을 분석하였다. 이러한 분석을 통해 학생들의 문제 발견 능력과 가설 형성 능력을 계발하기 위한 프로그램 개발에 적용하였다.

개발연구에서는 학생들에게 적용할 수 있는 창의성 계발 프로그램을 개발하였다. 문헌 연구에서 분석된 자료를 바탕으로 스토리를 구성한 다음, 학생들 수준에 맞게 단계화하고 문제 발견과 가설을 형성해 볼 수 있는 프로그램을 구성하였다. 그리고 이 프로그램은 세 차례의 P 대학교 물리교육연구실 세미나를 통해 내용 타당도를 검증하였고, 15명으로 구성된 중학교 학생들에게 소규모로 투입되어 그 적용 가능성을 탐색하였다.

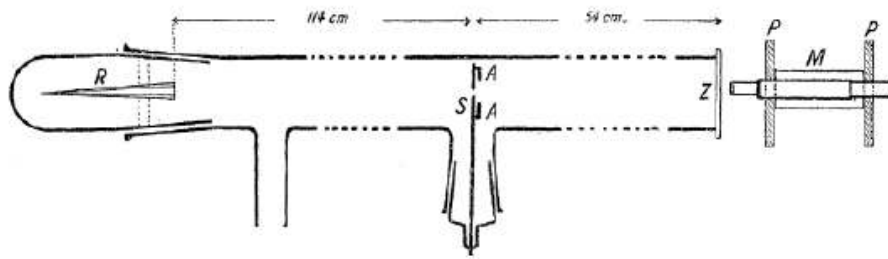
III. 러더퍼드의 문제 발견 및 문제 해결 과정 분석 결과

가. 러더퍼드의 문제 발견 및 가설 형성 과정

러더퍼드가 원자 모형에 대한 과학적 문제를 발견할 당시에 그는 캐번디쉬 연구소에서 원자, 전자, 방사능에 대해 연구하고 있었다. 당시에 러더퍼드는 톰슨의 연구 일원으로 원자 속에서 일어나는 특성을 조사하는 연구를 진행하고 있었으며, 1906년 최초로 느린 속도의 알파입자를 알루미늄박을 통과시키는 실험을 진행하고 그것에 나타난 전기적 특성을 발표하였다. 당시에 러더퍼드는 알파입자가 2°정도 산란되는 현상을 관찰하였다고 한다. 러더퍼드와 그의 제자들은 기존에 알파입자를 측정하던 전기적 방법⁴⁾을 개선시켜서, 섬광계수방법을 사용하여 실험을 하였으며, 이 실험을 직접 수행하던 가이거와 마스텐은 빠르게 지나가는 알파입자가 $6 \times 10^{-5}cm$ 두께의 금으로 된 금속박을 지나갈 때 아주 적은 수의 알파입자가 90°이상의 산란이 일어나는 현상을 관찰하였다. 이러한 현상은 러더퍼드에게 보고하였으며 러더퍼드는 이 문제를 심각하게 받아들였다고 한다(Baily, 2013).

4) 임경순의 1999년 논문에서는 전기적 계수 방법, Charles Baily의 2013년 논문은 method using photographic plates로 기술되어 있다.

원자 모형 개념 형성 과정에서 나타난 러더퍼드의 문제 발견과 해결 과정을 적용한 창의성 향상 프로그램의 개발



[그림 1] 알파입자 산란을 연구하기 위해 처음에 가이거에 의해 사용된 기구 (Baily, 2013)

러더퍼드가 가이거와 마스텐의 실험 결과를 심각하게 받아들였던 이유는 러더퍼드가 1908년 연구를 통해 알파입자의 특성과 본질을 알고 있었고, 그 특성에 따르면 기존의 톰슨의 원자 모형으로는 설명될 수 없는 현상이었기 때문이다. 당시에 이온의 본질이 알려져 있지 않았지만, 러더퍼드는 알파입자가 헬륨에서 전자 2개가 빠져나간 것과 동일하다는 것을 알고 있었다.

러더퍼드는 1911년 논문을 통해서 새로운 원자 모형 가설을 제안하였다. 그 논문에는 원자 모형 뿐만 아니라 질량과 원자핵의 크기까지 계산을 하여 발표하였다(Baily, 2013).

<표 1> 여러 종류의 금속에 의해 되튀어 나온 알파 입자 수(Baily, 2013)

1. Metal.	2. Atomic weight, A.	3. Number of scintillations per minute, Z.	4. A/Z.
Lead	207	62	30
Gold	197	67	34
Platinum	195	63	33
Tin	119	34	28
Silver	108	27	25
Copper	64	14.5	23
Iron	56	10.2	18.5
Aluminium	27	3.4	12.5

위 <표 1>은 금속의 종류에 따라 알파입자를 쏘았을 때 되튀어 나온 알파입자의 수를 보여준다. 원자질량이 증가함에 따라 되튀어 나오는 알파입자 수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 남의 경우는 예외적인데 가이거와 마스텐의 해석에서는 금속에 불순물이 섞였을 것으로 추측된다고 보고되었다고 한다(Baily, 2013).

당시에 알파입자의 되튀 산란 실험결과가 발표된 이후에 과학자들은 산란현상을 연구하기 시작했고 러더퍼드와는 다른 가설을 했다고 한다. 톰슨은 복합적 산란(Compound scattering)을 제안하였으며, 러더퍼드는 단일 산란(Single scattering)으로 보았다. 이러한 해석의 차이가 있었던 이유는 알파입자에 대한 이해가 달랐기 때문이었다. 톰슨은 알파입자가 원자 크기 안에 전자

10-12개가 들어간 것으로 보았기에, 되튐 산란 현상은 알파입자끼리의 성공적인 충돌로 보았고, 러더퍼드는 알파입자를 순수한 하나의 점 입자로 보았기 때문이다(Rodríguez & Niaz, 2004).

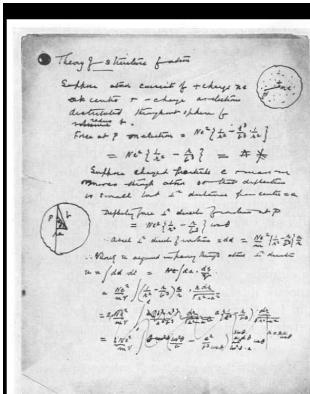
러더퍼드는 가이거와 마스덴의 실험 결과를 면밀히 검토하는 한편, 크라우서가 1910년 실시했던 베타입자 산란실험 결과를 검토하고 종합하여 1911년 러더퍼드의 원자 모형을 발표하게 된다(Rutherford, 1911).

나. 원자 모형 이론 형성과정에서의 러더퍼드의 과학적 사고

원자 모형 이론 형성과정에서 러더퍼드가 보인 과학적 사고를 분석해 보면 다음과 같다.

① 귀추적 사고

러더퍼드가 알파입자 산란 실험에서 되튐 산란 현상을 관찰함으로써 톰슨의 원자 모형은 설명력을 잃게 되고 원자가 어떤 모형으로 설명되어야 하는가는 새로운 과학적 문제로 대두되었다. 이 문제를 해결하는 과정에서 러더퍼드는 원자 모형에 대한 가설을 형성하는 과정에서 귀추적 사고를 보이는 데 그 과정은 다음과 같다.

문제 발견	가이거, 마스덴, 러더퍼드가 알파입자 되튐 산란 현상을 관찰하고 이 현상을 톰슨 원자 모형으로는 설명할 수 없음을 확인하여 원자 모형은 새로운 연구 문제가 됨
가설 형성 (귀추적 사고)	러더퍼드의 1911년 논문을 보면 나가오카 한타로라는 과학자가 1904년 주장한 원자모형 이야기가 있다. 그 원자이론에 따르면 그는 원자 모형을 토성처럼 생겼으며 양전하구가 토성의 중심에 있고, 전자가 고리로 둘러진 형태의 구나 디스크 형태로 주장한 것이 흥미로웠다고 전하고 있다. 이에 대해 헨슨(Hanson, 1957)은 러더퍼드가 이러한 한타로의 입장을 수용하여 원자를 입자적인 관점(양전하구, 전자)과 기하학인 관점(고리로 둘러싸인 형태의 구, 또는 디스크 형태)을 통해서 알파입자 산란 실험을 분석했다고 설명하였다. 이것으로 볼 때 러더퍼드의 원자 모형(태양계 모형)은 나가오카 한타로의 토성 고리 모형으로부터 귀추적으로 만들어낸 모형이라고 볼 수 있다. 이러한 토성 모형 도입은 원자의 크기와 질량까지도 측정가능하게 하여서 러더퍼드의 원자모형 주장을 좀 더 정교화시켰다. 이러한 사실은 러더퍼드의 1911년 논문의 뒤면에 제시된 다음 구절을 보아서도 알 수 있다. "It is of interest to note that Nagaoka has mathematically considered the properties of the Saturnian atom which he supposed to consist of a central attracting mass surrounded by rings of rotating electrons. He showed that such a system was stable if the attracting force was large. From the point of 

	view considered in his paper, the chance of large deflexion would practically be unaltered, whether the atom is considered to be disk or a sphere. It may be remarked that the approximate value found for the central charge of the atom of gold (100 e) is about that to be expected if the atom of gold consisted of 49 atoms of helium, each carrying a charge of 2 e. This may be only a coincidence, but it is certainly suggestive in view of the expulsion of helium atoms carrying two unit charges from radioactive matter.” ⁵⁾
--	--

② 실험 결과에 기초한 종합적 사고

알파입자의 되튐 산란 현상을 관찰하고 성공적인 가설을 세운 것은 러더퍼드가 원자 모형과 알파입자의 모든 가능성을 열어두고 사고를 했기 때문이다. 톰슨은 자신이 세운 원자 모형의 입장에서 사고를 하였기 때문에 복합 산란(Compound scattering)이라는 가설을 세웠던 것으로 보인다. 반면 러더퍼드는 가이거와 마스덴의 실험 결과와 톰슨의 원자모형을 생겨나게 했던 크라우서의 베타입자 분석 결과에 대한 재검토, 그리고 자신이 앞서 연구했던 알파입자의 특성, 원자핵의 입자론적인 가능성 모두를 열어 놓고 가설을 세웠기 때문에 성공적인 가설을 세울 수 있었다고 본다.

③ 연속적 문제 발견

러더퍼드는 원자핵의 존재를 규명했지만, 원자 모형에서 해결해야 할 또 다른 과학적 문제를 형성하였다. 그것은 바로 전자의 배치 문제였다. 이러한 것은 러더퍼드가 성공적인 귀추를 한 후에 또 다른 과학적 문제를 발견한 예에 속한다. 러더퍼드는 이러한 전자 배치 문제와 산란 계산을 해결하기 위해 응용수학을 전공한 Darwin(Charles Robert Darwin의 손자)과 공동 연구를 제안하게 되고, 나중에 보어도 이 연구에 합류하게 되어 전자 배치 문제를 해결하게 된다(Bailey, 2013).

IV. 프로그램의 개발 및 적용 결과

러더퍼드의 과학적 사고는 앞서 문헌에서 인용하였다시피 귀추적 사고를 보여주는 사례에 해당된다. 알파입자 산란 실험을 설명하기 위해 러더퍼드는 한타로의 토성고리 모형을 도입하고, 원자에서 보이지 않는 대상(원자핵과 전자들)을 입자론적 관점과 기하학적인 방법을 도입하여 추론함에 의해 유핵 모형이라는 새로운 원자 모형을 만들었다. 이러한 사례를 이용하여 학생들로 하여금 문제를 발견하는 과정과 가설을 형성하는 과정에 대한 교육 프로그램을 만들 수 있다. 기존에 학습되고 있는 알파입자 산란 실험 분석에 의한 원자모형 구성에 대한 학습이 아니라, 러더퍼드가

5) Rutherford, 1911, 688p

과학적 문제를 발견하고 해결해 나가는 과정에서 보인 과학적 사고 과정을 따라 해 보는 학습을 통해 문제를 발견하고 문제를 해결하는 과정을 체험적으로 학습하게 하는 것이 가능하다고 생각된다.

개발한 프로그램의 내용 및 적용 결과는 다음과 같다.

가. 프로그램의 개발

탐구 주제: 창의적 과학자 러더퍼드의 문제 발견 및 가설 형성 과정 따라하기

<학습 목표>

- 톰슨과 러더퍼드의 원자 모형이 무엇인지 학습한다.
- 러더퍼드의 문제 발견이 무엇인지 알아보고, 톰슨과 러더퍼드의 해석이 어떻게 다른지 확인하고 가설을 세워본다.
- 러더퍼드가 원자 모형을 세운 과학적 사고를 학습한다.

활동 1: 톰슨의 원자 모형 이해하기

다음은 톰슨이 주장한 원자 모형이다. 잘 읽고 톰슨의 원자 모형을 정리해 보자.

1897년에 전자를 발견한 톰슨에 의해 제시된 원자에 대한 건포도 푸딩 모형은 원자 모형에 전자를 추가하기 위해 1904년에 제안되었으며, 이때는 아직 원자핵이 발견되기 전이었다. 이 모형에서 원자는 양전하를 띤 구형 물질 속에 음전하를 띤 전자들이 양전하와 같은 전하량만큼 등성등성 박혀 있는 형태로 구성되어 있다. 이것은 마치 음전하를 띤 “건포도들”이 양전하를 띤 “푸딩” 속에 점점이 박혀 있는 모습이기 때문에 “건포도 푸딩 모형”이라고 말 한다.	
---	---

정리:

활동2: 러더퍼드의 문제발견과 가설형성 이해하기

원자 모형 개념 형성 과정에서 나타난 러더퍼드의 문제 발견과 해결 과정을 적용한 창의성 향상 프로그램의 개발

다음은 읽고 러더퍼드가 발견한 문제가 무엇인지 이해해보자.

알파 입자의 다양한 특성을 연구하던 러더퍼드는 알파 입자 실험의 큰 장애물이었던 산란 현상을 본격적으로 탐구해 보기로 결심하고 가이거(Geiger), 마스덴(Marsden)과 함께 진공 속에서 얇은 금속박으로 진행하는 알파 입자의 산란 현상을 측정하는 실험을 수행하였다. 1년여에 걸친 정교한 실험 끝에 알파 입자가 약 8천 개 중의 하나 꼴로 매우 드물게 90도 이상의 둔각으로 산란된다는 사실을 관찰하였다. 이는 당시의 원자 구조에 대한 지식으로는 도저히 설명할 수 없는 관찰 결과였다.

- (1) 왜 러더퍼드가 이러한 현상을 심각하게 여겼을까?
- (2) 무엇이 문제였는지, 무엇이 잘못된 것인지 생각해보자.
- (3) 만약에 위 질문에 가이거의 실험처럼 되기 위해서는 어떻게 해야 할지 가설을 세워보세요.

다음은 러더퍼드가 세운 가설들이다.

러더퍼드는 앞의 실험에서 관찰된 것처럼 둔각으로 산란되는 현상을 설명하기 위해 여러 가지 대안들을 모색하였으며, 한 가지 가설로, ‘알파 입자들이 수많은 원자들과 여러 차례 충돌하다가 우연히 다시 정면으로 돌아온다.’는 가설을 세웠다. 하지만 이 가설은 실험적으로 확인된 둔각 산란 현상과 정확히 들어맞지 않았고 결국 폐기되었다. 다른 대안을 찾는 계속적인 시도 끝에 그는 ‘원자 대부분은 텅 빈 공간이며 양전하가 원자 중심의 매우 작은 부피 안에 밀집되어 있어서 알파 입자를 둔각으로 산란시킨다.’는 가설을 세울 수 있게 되었다. 그러나 이 가설도 그 당시 전자기 이론을 설명하지 못하는 문제를 가지고 있었다.

첫 번째 가설은 왜 타당하지 않은지 다시 한 번 설명해 보자.

두 번째 가설은 타당한지 생각해 보자. 어떤 면이 설명되지 않는지 생각해 보자.

활동3. 러더퍼드의 실험을 모형 실험으로 재현해 보고 결과 분석하기

다음과 같이 실험을 해보고 그 결과를 분석하여 보자.

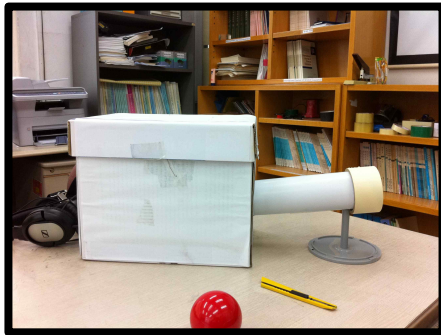
* 실험 목적: 러더퍼드의 알파입자 산란 실험을 모형화하여 재현해 보고, 러더퍼드의 산란 실험 결과 해석의 타당성과 신뢰성을 검증해 보기 위한 것이다. 큰 상자를 원자라고 보았을 때 상자 가운데에 매단 금속 구슬 또는 플라스틱 구슬은 원자핵이라고 볼 수 있다. 그리고 상자

속에 쏘게 되는 비비탄 총알들은 알파입자라고 볼 수 있다.

* 준비물(조별 준비물) : 큰 박스 2개, 비비탄 총 및 총알, 서로 다른 크기의 플라스틱 구슬과 금속 구슬, 고글, 보호 장갑.

* 실험 방법과 절차

1. [그림 2]와 같이 뚜껑이 있는 튼튼한 박스(비비탄이 뚫고 나오지 못하도록) 한 면에 지름 5cm 정도의 구멍을 내고, 지름에 맞는 종이 관을 만들어 끼운 다음, 종이관을 통해 상자 속을 밖에서 볼 수 없도록 먹지로 입구를 막아둔다. (교사가 미리 준비해 준다)



[그림 2] 겉에서 본 실험 장치



[그림 3] 상자 속 구조

2. 뚜껑을 열고 [그림 3]과 같이 상자 속 세 개의 벽면에 부드러운 종이 상자 또는 먹지를 붙이도록 한다. (종이상자 또는 먹지를 벽면에 붙이는 이유는 비비탄 총알이 벽에 부딪혔을 때 자국을 분석하여 총알의 경로를 추정해 보기 위한 것이다.)

두 개의 상자 속 한 가운데에 한 상자에는 비비탄보다 약간 큰 플라스틱 구슬을 매달고 다른 한 상자에는 같은 크기의 금속 구슬을 매단다. (* 이때 중요한 것은 실험에 참여하는 학생들은 어떤 크기의 어떤 물체가 들어 있는지 모르도록 설치하여 실험이 끝난 후에 추리해 볼 수 있도록 하는 것이 좋다. 그러므로 여기까지의 장치는 교사가 미리 준비해 둔다.)

3. 설치가 끝나면, 실험자는 비비탄 총알을 되도록 많이 그리고 여러 방향으로 나가도록 비비탄 총을 쏘도록 한다. 이 과정은 러더퍼드 실험에서 알파입자 산란 실험을 모형적으로 체험해 보게 하는 것이다. (* 이때 실험에 참여한 모든 학생들은 반드시 보호 장갑과 고글을 착용하도록 하고, 안전에 유의하도록 한다. 그리고 비비탄을 쏘면서 구멍을 들여다 보거나 상자 속이 아닌 다른 곳에 쏘면 위험하므로 상자에서 멀리 떨어져 있도록 하고 안전에 유의하도록 한다.)

원자 모형 개념 형성 과정에서 나타난 러더퍼드의 문제 발견과 해결 과정을 적용한 창의성 향상 프로그램의 개발

4. 비비탄을 모두 쏜 다음에는, 다시 튕겨서 나온 비비탄이 있는지 조사하여 총알 수를 세도록 한다. 그리고 각 조의 학생들은 상자 뚜껑을 열고 상자 속에 설치했던 골판지 또는 먹지를 떼어 낸다. 상자의 어느 쪽 면인지(뒷면, 왼쪽 면, 오른쪽 면)를 표시해 두도록 한다.
5. 각 면에 총알이 맞은 결과를 분석하여 비비탄 알의 경로와 특징을 생각해 보도록 한다. 특히, 되튀어 나온 비비탄 알 수, 상자 내부에 매단 구슬의 크기 등을 비교하고 분석하여 비비탄 알이 왜 되튀어 나올 수 있었는지, 그리고 그 수가 왜 그렇게 적은지에 대해 토의한다.
6. 분석한 결과를 정리하면서 다음 내용에 대해 생각해 보도록 한다.

(생각해보기) 가이거와 마스텐의 실험에서는 알파입자 8000개를 입사시켰다. 대부분 통과하여 지나갔으나, 극히 적은 수인 1개 정도의 입자가 되튀어 오는 산란 현상을 발견했다. 이 실험 결과를 통해 러더퍼드는 원자의 한 가운데에 (+)전하를 띤 무거운 원자핵이 있다고 추론하였다. 여러분의 실험 결과를 통해서 원자의 크기가 어떠한 지를 추측해보자. 또한 실제 알파 입자 산란 실험과 현재의 활동 실험과의 차이점이 무엇인지 비교해보자. 이에 대해 생각해 본 것을 발표해 보자.

7. 다음과 같이 본 활동들에 대해 과학사적인 내용을 포함하여 정리해 주도록 한다.

러더퍼드의 1911년 논문에는 나가오카 한타로라는 과학자가 1904년 주장한 원자모형 이야기가 있습니다. 그의 원자이론에 따르면 그는 원자가 토성 및 토성고리처럼 생겼으며 양전하구가 토성의 중심에 있고, 전자가 고리로 둘러싸고 있는 형태의 구 또는 디스크 형태라고 주장하였으며 그렇게 주장한 것이 흥미로웠다고 전하고 있습니다. 이에 대해 헨슨이라는 학자는 러더퍼드가 이러한 한타로의 입장을 수용하여 원자를 입자적인 관점(양전하구, 전자)과 기하학인 관점(고리로 둘러싸인 형태의 구, 또는 디스크 형태)을 통해서 알파입자 산란 실험을 분석했다고 설명하였습니다. 이번 활동에서 활동1과 활동2는 러더퍼드가 어떻게 문제를 발견하고, 그 문제 해결을 위해 어떻게 가설을 세웠는지에 대해 알아본 것이며, 활동3은 상자 속의 구슬처럼 상자를 닫았을 때 보이지 않는 물체를 비비탄을 쏘아 알아본 것과 같이, 러더퍼드도 알파입자들을 금속박에 쏘아 보이지 않는 원자 속 구조를 추론한 과정을 모형적으로 체험해 본 것입니다.

나. 프로그램의 타당성 검증과 적용 결과

개발한 프로그램은 물리학 전문가(물리학 박사) 1인과 물리교육 전문가(과학교육학 박사) 1인

을 통해 내용 타당도를 검증하였다. 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 활동1과 활동2에 제시된 문제 발견 과정과 가설 형성 과정에 대해 학생들로 하여금 의미 있게 학습해 보게 하기 위해서는 실제 적용을 통해 각 설문에 대한 이해 정도 그리고 문제 발견과 가설 형성에 대한 이해 정도를 검증해 볼 필요가 있다.

둘째, 물리학에서의 알파입자 산란 실험을 재현해 볼 수 있는 활동이 매우 의미 있게 개발되었다. 그러나 이 활동 역시 실제 적용을 통해 학생들의 이해 정도, 실험 방법과 장치에 대한 이해 정도를 분석하여 필요한 부분을 개선하는 과정을 거치는 것이 좋다.

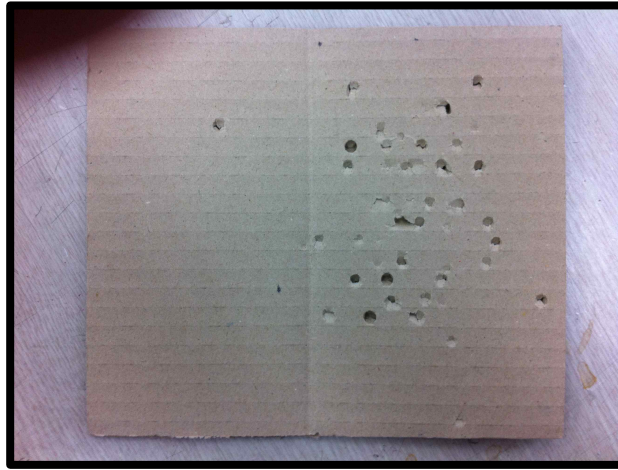
전문가 검토 의견에 대해 활동1과 활동2에 대해서는 실제 적용을 해 보지 못했지만 활동3에 대해서는 학생들에게 투입하여 그 가능성을 검증하였다. 다음의 자료들은 학생들이 실제 활동하여 얻은 자료들이다.



[그림 4] 비비탄을 모두 쏜 후에 상자를 열었을 때 모습과 상자 뒷면을 뜯어 분석한 내용.

[그림4]는 비비탄을 모두 쏜 후에 상자를 열었을 때 모습과 상자 뒷면을 뜯어 분석한 내용이다. 중심 부근에는 자국이 거의 없고, 그 주변에 퍼져 있는 것을 볼 수 있다.

원자 모형 개념 형성 과정에서 나타난 러더퍼드의 문제 발견과 해결 과정을 적용한 창의성 향상 프로그램의 개발



[그림 5] 다른 상자 속의 뒷면과 옆면을 함께 뜯어 본 결과

[그림 5]는 다른 조의 상자 속의 뒷면과 옆면을 함께 뜯어 본 결과를 보여준다. 여기서 보면 총 알이 거의 모두 뒷면에 자국을 내었으나 왼쪽 면에도 자국을 낸 것을 볼 수 있다. 상자 중심에 있는 구슬에서 튕겨나갔다는 것을 알 수 있다.



[그림 6] 학생들이 분석한 결과를 칠판에 붙이고, 그 내용을 설명하고 있는 모습

[그림 6]은 학생들이 조별로 분석한 결과를 칠판에 붙이고, 그 내용을 설명하고 있는 모습을 보여준다. 이 과정에서 학생들이 흥미 있게 이 활동을 했음을 확인할 수 있었다.

V. 요약 및 시사점

2011년 교육과학기술부에서 발표한 우리나라 교육과정에는 중학교와 고등학교 교육 목표 중에 ‘문제해결력을 기르고 생각과 느낌을 창의적으로 표현하는 경험을 기르는 것’이 포함되어 있으며, 특히 과학 교과에서는 창의적인 문제해결력을 크게 강조하고 있다. 따라서 실제 과학수업에 있어서 학생들에게 이러한 문제발견과 가설 설정 능력은 꼭 필요하고 육성시켜야 할 중요한 요소이다. 과학사적으로 보면, 과학자들은 끊임없이 과학적 문제를 발견하고 그 해결을 위한 노력을 계속해 왔으며 과학적 문제의 발견과 그 해결 과정은 과학 창의성의 중요한 요소이다. 그러므로 우리가 창의적인 과학자들이 과학적 문제를 발견하게 된 동기와 과정, 그리고 문제 해결을 위해 어떤 탐구를 수행하였는지를 분석한다면, 이들의 과학적 문제 발견과 해결 과정의 패턴을 찾을 수 있고, 이것은 곧 학생들의 창의적 문제해결력 신장을 위한 프로그램 개발의 방향을 설정하는 데 기여할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 잘 알려진 과학자들 중에서 러더퍼드(Rutherford)를 중심으로 고찰하였다. 러더퍼드는 그의 원자 모형 이론 형성에서 문제발견 및 해결 과정이 수학적인 방법보다는 관찰과 사고에 기초한 정성적인 실험을 통하여 문제를 발견하고 해결하였으며, 이러한 러더퍼드의 문제 발견과 문제해결 과정이 수학을 많이 쓰는 경우보다는 훨씬 쉽게 중등학교 학생들의 과학적 문제해결력 신장에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

원자 모형 이론 형성에서의 러더퍼드의 문제발견과 해결과정의 특징은 관찰 및 관찰 현상 설명을 위한 인과적 질문을 통한 문제해결, 그리고 새로운 문제발견으로 이어지는 단순하면서도 연속적인 탐구과정을 보여주고 있다. 이러한 러더퍼드의 문제 발견 및 문제해결과정에서 보여준 추론의 과정과 귀추적 사고 과정을 이용하여 중등학교 과학교육에서 학생들의 문제발견과 문제 해결 능력을 신장시킬 수 있는 과학 교수학습 프로그램을 개발하였고, 프로그램 수행결과 학생들은 원자모형의 발전과정을 간접 경험해봄으로써 그 의미를 느끼고 다양한 가설을 제시하여 관찰결과를 여러 측면에서 이해하려는 모습을 확인할 수 있었다.

이러한 연구의 결과는 좀 더 체계적인 과학 창의성 교육을 위한 방향을 제시할 수 있을 것이며, 문제 발견뿐만 아니라 학생들의 가설 설정 능력을 위한 프로그램 개발의 방향에 대한 시사를 준다. 즉, 창의적 과학자들의 가설 형성 과정을 분석한다면 학생들의 가설 형성 능력 증진을 위한 프로그램 개발의 방향을 제공할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 교육과학기술부(2011). 과학과 교육과정. 교육과학기술부 고시 제2011-361, 별책 9번.
- 김영민(2012). 과학교육에서 비유와 은유 그리고 창의성. 서울: 북스힐.
- 임경순. (1999). 알파입자 산란 실험과 양자론의 이론적 실천. 한국과학사학회지, 21(1),
- Baily, C. (2013). Early Atomic Models - From Mechanical to Quantum (1904-1913), European Physical Journal H, 38, 1-38.
- Gagne, R. M. (1985). The Conditions of Learning and Theory of Instruction. New York: CBS College Publishing.
- Hanson, N. R. (1958), The Patterns of Discovery, 송진웅, 조숙경 옮김 (2007). 과학적 발견의 패턴, 민음사.
- Hayes, J. R. (1989). Cognitive Processes in Creativity. In: J. A. Ronning, Glover, R. R. & Reynolds, C. R. (Eds.), Handbook of Creativity. New York: Plenum.
- Kragh, H. (2010). Before Bohr: Theories of atomic structure 1850-1913. Reposs #10, University of Aarhus, Denmark.
- Rivaldulla, A. (2002). Theoretical Models and Theories in Physics, in Spanish Ministry of Science and Technology, Theoretical models in physics, pp. 85-96.
- Rodríguez, M. A. & Niaz, M. (2004). A Reconstruction of Structure of the Atom and Its Implications for General Physics Textbooks: A History and Philosophy of Science Perspective. Journal of Science Education and Technology, 13(3), 409-424.
- Rutherford, E. (1906). Radioactive Transformations. London: Constable & Co.
- Rutherford, E. (1911). The scattering of α - and β -articles and the structure of the atom, Philosophical Magazine 21, 669-688.
- Smith, M. U. & Good, R. (1984). Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance. Journal of Research in Science Teaching, 21(9), 895-912.
- Smith, M. U. & Good, R. (1984). Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance. Journal of Research in Science Teaching, 21(9), 895-912.
- Thomson, J. J. (1897). Cathode rays,' Philosophical Magazine 44, 293-316.
- Thomson, J. J. (1899). On the masses of the ions at low pressures,' Philosophical Magazine, 48, 547-567.
- Thomson, J. J. (1904a). On the structure of the atom,' Philosophical Magazine 7, 237-265.
- Thomson, J. J. (1904b). Electricity and Matter. London: Constable & Co.

- Thomson, J. J. (1904c). On the structure of the atom: An investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle,' *Philosophical Magazine* 7, 237-265.
- Thomson, J. J. (1905). The structure of the atom,' *Proceedings of the Royal Institution*, 18, 1-15.
- Thomson, J. J. (1906). On the number of corpuscles in an atom, *Philosophical Magazine*, 11, 769-781.

Abstract

An Analysis of Rutherford's Problem Finding and Solving Process in Atomic Model Concept Construction and A Development of Program for Student Creativity Enhancement through Its Application

Hyeon Seok Jeong · Seungwoo Yi** · Youngmin Kim****

Creative problem solving ability is a very important factor in science education. Therefore, in science class, development of abilities in finding problems and generating hypothesis, which are major component of creative problem solving are important factors for students to improve. In history of science, scientists have constantly found scientific problems and continued the efforts for solving the scientific problems. And the discovery of the patterns of scientific problem solving process is an important component of the scientific creativity education. Therefore, by doing analysis the motivation and the problem solving processes of creative scientists who discovered the scientific problems, and solved them, we assumed, the patterns of the process in finding and solving of scientific problems could be found. And this will guide the direction of the program development for improving creative problem solving ability of the students.

In this study, Rutherford, who is one of the well-known scientists, was investigated. Rutherford detected and resolved problems through qualitative tests based on observation and thinking in the formulation of his theory of the atomic model, such Rutherford's problem-solving process can be used for program development to help secondary school students' scientific problem solving ability improvement. In the formation of the atomic model, Rutherford's finding problem and solving process shows a simple and continuous inquiry process, leading to the discovery of new problems and problem solving, through the causal question for observation and description of phenomena observed. Using Rutherford's problem finding and abductive thinking process demonstrated in the process of his reasoning for the

* Pusan National University

** Research Institute for Science Education, Pusan National University

*** Corresponding author: Pusan National University, minkyo@pusan.ac.kr

problem solving, we developed a program to improve the students' problem discovery and problem-solving ability in secondary school science education. And the validity and the effectiveness of the program were tested by expert's review and administration of the program to the secondary students.

Key words: Rutherford, problem Finding, problem solving, abduction, atomic model, creativity development program