技術論文 J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(4), 359-367(2015)
DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.4.359
ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

로켓 추진 원리를 이용한 고등학생 대상 과학교육프로그램 개발

문영주, 이동언, 이설하, 이은주, 이창진*

Development of Educational Program for Rocket Science for High School Students

Young joo Moon, Dong eun Lee, Sul ha Lee, Eun joo Lee and Changjin Lee*
Dept. of Aerospace Engineering, Konkuk University

ABSTRACT

This paper aims to design an educational science program based on rocket propulsion for high school students. Curriculum in high school physics and chemistry were evaluated to find out scientific match with basic principles in rocket propulsion. Also model rocketry was implemented as a part of the educational program. Solid propellants were prepared by the combination of sorbitol and candy after a selection process for solid propellant from several high caloric food candidates. Specially, this program was intended to give an opportunity to organize basic knowledge of high school science with model rocketry by measuring combustion temperature, thrust level of developed propellants. A pilot operation of the program was done with four high school students to evaluate the achievement of final goals of the program both in technical and educational aspect.

초 록

우리나라 우주발사체 개발에 대한 청소년들의 흥미 유발과 로켓에 대한 과학적 접근을 쉽게 할 수 있도록 고등학생을 대상으로 하는 로켓 교육프로그램을 개발하였다. 고등학교 물리 1,2, 화학 1,2를 분석한 후 로켓의 추진 원리와 연계하였고, 추진 원리의 이해를 바탕으로 모델로켓 엔진을 제작하는 과정을 설명하였다. 또한 모델로켓에서 추진제로 사탕, 육포, 초콜릿 등과 같은 고열량 식품들을 사용하여 추진제를 제작하였다. 특히 교육프로그램은 식품을 이용한 추진제 제작, 연소 온도 측정, 추력 측정과 모델 로켓의 제작, 발사 등으로 구성하였으며 연구 결과를 통해 사탕을 이용한 제작한 추진제와 솔비톨로 제작한 추진제의 성능을 비교 분석하였다. 또한 프로그램을 적용한 후 학생들의 성취도 평가를 측정하기 위하여 기술적, 교육적 목표를 제시하고 프로그램의 운영을 통하여 목표 달성 여부도 판단하였다.

Key Words : Educational Program(교육프로그램), Solid Rocket Motor(고체 로켓 모터), High school Student(고등학생)

† Received : November 5, 2014 Revised : March 10, 2015 Accepted : March 20, 2015
* Corresponding author, E-mail : cjlee@konkuk.ac.kr

Ⅰ. 서 론

우리나라는 2020년까지 우주발사체를 자력개발하고, 2040년까지 행성탐사를 목표로 야심찬 우주 개발을 진행하고 있다. 이러한 계획을 성공적으로 수행하려면 재능 있는 인재들이 양성되어야 하며, 인재 양성의 시작은 우주 개발에 대한 청소년들의 관심 증대로부터 이루어져야 한다. 따라서 청소년을 대상으로 하는 적절한 우주 공학 관련 교육이 이루어진다면 우주 개발에 대한 청소년들의 흥미를 고취시켜 우수한 인재를 유인할 수 있는 기회를 제공할 것이다.

그러나, 우주 공학 및 과학에 대한 적절한 수준의 지식 전달 수단과 흥미를 유발할 수 있는 교육프로그램의 개발은 아직 본격적으로 이루어지지 못한 것으로 판단된다. 현재까지 개발된 모델로켓과 관련된 연구 중에서 청소년을 대상으로 하거나 과학 교육에 로켓을 교육 소재로 활용한 프로그램이 개발되었는지 조사하였다.

조사 결과에 의하면, 박주현[1] 등은 로켓의 동체 형상과 솔비톨을 이용한 고체 추진제의 그레인 형상을 변화하며 로켓의 성능향상에 대한 연구를 수행하였다. 그러나 청소년 교육과 무관한 모델로켓의 성능 향상을 목적으로 하였다. 한편 청소년 대상 교육프로그램을 살펴보면, 이승우[2] 등은 융합인재교육을 적용한 초등 수학영재 교육프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 각도와 속력의 개념을 주제로 한 프로그램으로 수학 교육을 목적으로 개발되었으며, 로켓과는 무관한 교육 소재를 활용하였다. 또한 박병열[3] 등은 중등 과학영재를 대상으로 로켓을 활용한 융합인재 교육프로그램을 개발하였다. 그러나 이 프로그램은 시스템적인 사고능력 학습을 목적으로 하였으며 로켓에 대한 과학적 원리는 자세히 다루지 않았다. 이처럼 청소년을 대상으로 하는 다양한 교육이 개발되었지만, 로켓을 교육소재로 활용한 과학 교육프로그램은 아직 개발되지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 고등학교 과학 교과내용과 연계하여 로켓의 추진 원리를 응용한 교육프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 고등학생들이 로켓의 추진 원리를 이해하고 물리, 화학 등의 고등학교 교과 과정과 연계해 모델로켓을 제작, 시험, 발사함으로서 과학적 흥미를 유발하고 로켓에 대한 관심을 높이는 것을 목적으로 하였다. 또한 모델로켓의 추진 원리와 고등학교 과학 교과 과정에서 다루고 있는 다양한 과학이론을 접목하여 보다 쉽게 과학 내용을 이해할 수 있도록 과학 교육프로그램을 개발하였으며, 이를 교육에 적용하여 교육프로그램으로서의 적절성을 판단하였다.

Ⅱ. 본 론

2.1 프로그램 선행 연구

2.1.1 모델로켓 개발 과정

Figure 1은 일반적으로 사용되는 모델로켓의 개발 순서를 도식화 한 그림이다. 모델로켓의 개발은 임무의 결정부터 추진제 선정, 엔진 설계, 추력 측정, 외부 구조 설계 그리고 제작 조립의 과정을 거쳐 최종적인 발사를 수행하여 임무 달성 여부를 판단한다. 이러한 단계별 개발 과정에서 고등학교 과학 교과 과정과 직접적으로 관련된 부분은 추진제 선정, 추력테스트 분야이며 다른 과정들은 고등학교 교과 과정에서 다루기에는 조금 어려운 개념들이 통합되어 있다. 예를 들어, 변수 결정, 엔진 설계, 외부 구조 설계 등의 분야는 오히려 대학 과정에서 다루는 기술적 지식을

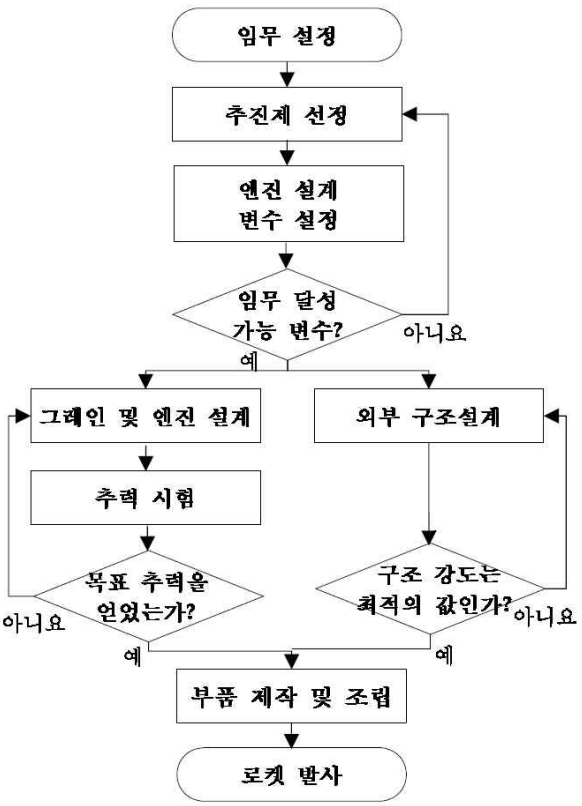


Fig. 1. Development process for solid model rocket

요구하고 있다. 따라서 이런 분야를 제외하고 우선 추진제 선정과 추력 테스트 분야를 중심으로 과학 교육프로그램을 설계하였다.

일반적으로 모델로켓은 제작 및 보관의 용이성, 저렴한 제작비용을 위하여 솔비톨($C_6H_{14}O_6$)과 질산칼륨(KNO_3)을 혼합하여 만든 고체 추진제를 사용한다. 그러나 본 논문에서 개발하려는 과학 교육프로그램에서는 학생들의 흥미를 고취시키기 위해 사탕, 초콜릿 등과 같은 고열량 식품을 이용하여 모델로켓의 추진제를 제작하고 추진제로서의 성능을 판단하기로 하였다. 구체적 대상으로는 사탕, 초콜릿, 육포, 허니 땅콩, 코코아 등의 주변에서 쉽게 구할 수 있는 고열량 식품으로 하였다.

2.1.2 과학 교과 과정 분석

로켓의 추진 원리와 관련된 내용을 고등학교 과학 교과내용을 확인하기 위하여 과학 교과서의 교육과정을 분석하였다. 대상교과서는 물리1, 2와 화학1, 2를 중심으로 하였다.

Table 1은 고등학교 화학1, 2의 분석 결과를 나타내고 있다. 화학1, 2에서 추진 원리와 연계할 수 있는 교과내용들은 물질의 화학 결합에 관련된 개념들과 반응열, 엔탈피 같은 열역학과 관련된 개념들이다. Table 2는 고등학교 물리1, 2의 교육내용에서 로켓과 관련이 있는 주제를 분석한 결과이다. 로켓의 추진 원리와 연계시킬 수 있는 교과내용은 힘, 운동량, 충격량 등을 다루는 고전역학의 개념들과 열, 에너지 등을 다루는 열역학의 기본개념들이 이에 해당되었다.

Table 1. Subjects in high school chemistry 1,2

화 학 1	화 학 2
- 원소 화합물 - 분자, 원자 - 분자 구조의 다양성 - 화학 결합 - 탄소 화합물	- 분자 간 상호 작용 - 고체, 액체, 기체 - 반응열과 엔탈피 - 반응열의 측정

Table 2. Subjects in high school physics 1,2

물 리 1	물 리 2
- 뉴턴 운동법칙 - 운동량과 충격량 - 역학적 에너지 보존 - 기전력 - 유체의 법칙 - 힘의 평형과 안정성 - 열역학 법칙과 열기관 - 열전달	- 힘과 운동 법칙 - 운동량 보존 - 이상기체 상태 방정식 - 내부 에너지 - 열역학 과정

Figure 2는 로켓 추진 원리와 고등학교 과학 교과 과정이 구체적으로 어떻게 연계 적용되고 있는가를 보여주는 그림이다. 교과 과정을 좀 더 세분화하여 적용하기 위해 모델로켓 개발과정에 포함된 “추진제 선정” 분야를 “추진제 제작”과 “온도 측정”으로 세분화 하였다. 따라서 모델로켓의 추진 원리를 “추진제 제작”, “온도 측정”, “추력 측정”으로 구분한 후 고등학교 과학 교과 과정과 연계하였고, 연계 항목을 중심으로 과학 교육프로그램을 개발하였다.

“추진제 제작”에 대한 이해를 돕기 위해 고등학교 화학1에서 다루는 화합물과 화학 반응의 개념을 적용하여 추진제 선정 기준을 설정하였으며 “온도 측정”은 고등학교 화학2에서 다루는 반응열과 엔탈피의 개념을 활용하여 온도 측정의 필요성, 열전대의 원리 그리고 온도 측정 결과를 분석하였다. 또한 “추력 측정”은 고등학교 물리1,

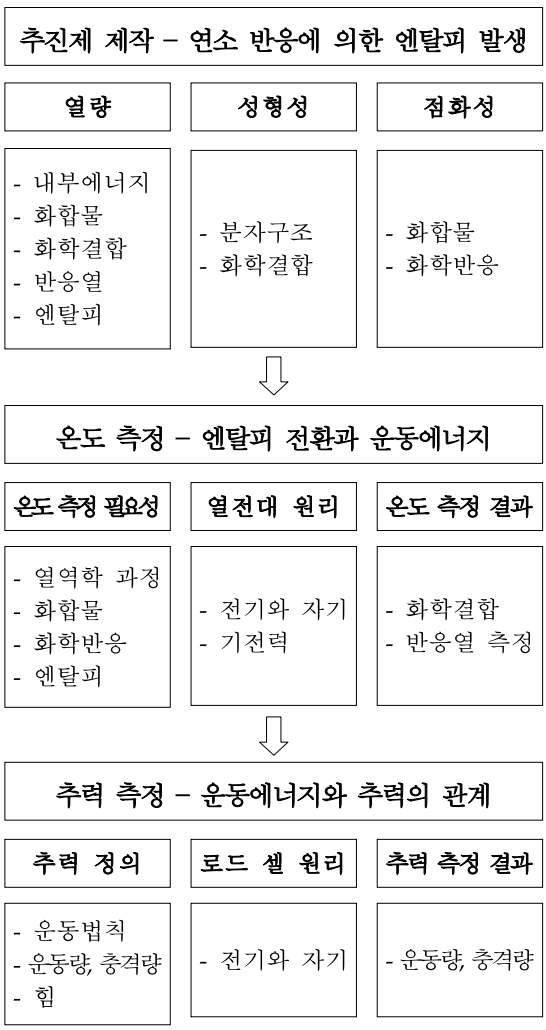


Fig. 2. Subject match in rocket propulsion principle with high school science

2에서 언급하고 있는 힘과 운동, 운동량 보존, 열역학, 전기와 자기에 관한 개념을 활용하여 추력 측정 장비의 구성과 원리, 결과 분석 등에 적용하였다.

2.2 로켓 과학 교육프로그램 개발

2.2.1 추진제 제작

고등학생들의 흥미를 유발하고 재미있는 과학 교육프로그램을 개발하기 위하여, 상대적으로 구하기 쉬운 고열량 식품을 사용하여 모델로켓 추진제를 제작하였다. 이들 식품들이 모델로켓 추진제로 사용할 수 있는지 여부를 판단하기 위해 각 식품의 발열량, 성형성, 점화성을 비교 검토하였다. 또한 프로그램의 각 과정에 고등학교 화학1의 화합물, 화학 반응, 그리고 화학2의 반응열, 엔탈피의 개념을 적용하여 각 후보 식품의 연소 특성을 살펴보았다. Table 3은 추진제 제작 과정을 통해 확인한 후보 식품의 열량, 성형성, 점화성을 요약한 표이다. 각 수치는 식품 포장에 나타난 정보를 사용하였다.

추진제의 발열량은 로켓의 추력 성능을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 각 식품들은 기본적으로 모델로켓에서 사용하는 솔비톨에 상응하는 발열량을 유지하여야 한다. 추진제의 기본 연료로 고려하고 있는 식품들은 모두 여섯 가지이며, 사탕, 허니 땅콩, 코코아, 쥐포, 육포, 그리고 초콜릿 등이다. 발열량과 열량은 화학적으로 유사한 의미를 지니므로 각 식품의 열량 비교는 발열량 비교와 같은 의미로 판단하여 열량을 비교하였다. 비교 결과, 모든 식품의 발열량은 솔비톨보다 높은 것을 확인하였다. 따라서 발열량을 기준으로, 여섯 가지 식품들은 모델로켓의 추진제로 사용하기에 적당한 것으로 판단된다.

추진제를 만들 때 또 다른 중요한 인자는 성형성이다. 모델로켓의 추진제는 연료와 산화제가 고체 형태로 미리 혼합되어 있다. 위와 같은 식품들을 고체 추진제로 사용하려면 산화제와 균일하게 혼합되어 성형되어야 한다. 균일한 혼합이 이루어지지 못하면 안정된 연소 반응이 일어나지 못한다. 산화제와 균일하게 혼합되고 성형되어야 하는 성형성의 기준으로 융해 가능 여부를 판단하였다. 융해 불가능 연료는 분말화하기 위해 생활용 믹서기를 사용하였는데, 산화제와 균일하게 섞일 수 있을 정도로 분말화가 되지 않았다. 아주 미세한 수준의 분말화가 가능하다면 추진제로 성형 가능할 것으로 예상되지만, 본 교육프로그램은 고등학생을 대상으로 하는 실험이므로 실생활에서 사용되는 생활용 믹서기를 이용하였다. 이러한 이유로 쥐포, 육포, 허니땅콩은 상대적으로 성형성이 좋지 않은 것으로 구분하였다.

Table 3. Material property and general feature of candidate foods for solid propellant

		실험군						대조군
연료		사탕	허니 땅콩	코코아	쥐포	육포	초콜릿	솔비톨
열량 (kcal/g)		3.5	5.7	4.1	3.7	3	5.2	2.6
성형성		○	△	○	△	X	○	○
점화성		○	-	X	-	-	△	○
구성 성분 (%)	탄수화물	94	-	75	-	-	65	97
	단백질	0	-	10	-	-	6.5	0
	지방	0	-	8	-	-	26	0

마지막으로 각 식품의 점화 여부를 시험하였다. 모델로켓에서 추력 발생은 추진제의 점화로부터 시작한다. 그러므로 점화가 원활히 일어나지 않는 식품은 추진제로 사용하기에 부적절하다. 따라서 각 식품의 점화성을 판단하기 위해 점화 실험을 수행하고 결과를 분석하였다. 분석 결과, 사탕은 점화의 신뢰도가 높았지만, 초콜릿은 상대적으로 점화가 원활하지 않았고, 코코아는 전혀 점화가 이루어지지 않았다. 실험에 사용된 식품은 각기 다른 물질로 이루어진 화합물이기 때문에, 점화 여부는 구성 성분과 어떤 관련이 있을 것이라 판단하였다. 사탕은 대부분 탄수화물로 이루어져 있는 반면 코코아는 상대적으로 단백질의 비율이 높았으며 초콜릿은 지방의 비율이 높은 것을 확인하였다. 식품의 주요 구성 성분의 차이는 점화에 영향을 끼친다고 판단된다. 특히, 모델로켓 엔진으로 일반적으로 사용되는 솔비톨과 사탕의 성분 구성비가 유사하므로 솔비톨과 사탕은 흡사한 점화 특성을 보여주었다.

이러한 발열량, 성형성, 점화성 등을 종합적으로 고려할 때 고열량 식품 중에서 사탕이 고체 추진제로 사용하기에 가장 적합한 것으로 판단되었다.

2.2.2 온도 측정

모델로켓의 추진 원리는 연소에 의하여 생성되는 엔탈피가 로켓의 추력으로 변환되는 에너지 변환에 기초한다. 이 때, 발생되는 엔탈피의 총량은 연소 화염의 온도를 측정하여 비교할 수 있다. 따라서 로켓 내부에서 발생하는 에너지 변환, 연소 온도 측정 원리, 추력 변환을 이해하기 위하여 각 추진제의 연소 온도를 측정하였다. 이와 관련하여 화학2 교과 과정의 엔탈피와 물리1의

전기와 자기, 기전력 등의 개념을 활용하였다.

먼저 연소실 내에서 발생하는 에너지 전환에 대해 살펴보자. 로켓의 추력은 노즐을 통과하는 유동의 운동량 변화에 의해 발생하게 된다. 이 때, 운동량 변화는 연소 반응을 통해 발생하는 엔탈피와 밀접한 관련이 있다. 고등학교 화학2에서 다루고 있는 엔탈피는 '물질이 지니고 있는 원자, 전자, 분자에 관련된 에너지'로 설명하고 있다. 연소가 일어나면 연소실 내부의 엔탈피가 증가한다. 이 때, 에너지 보존 법칙에 의하면 화학 반응에서 발생한 열은 다른 형태의 에너지로 변환되며 전체 에너지 크기는 보존된다. 따라서 연소실에서 생성된 엔탈피는 노즐을 통과하며 기체의 운동에너지로 변환되고 이는 운동량 증가를 가져온다. 운동량 증가는 추력과 직접적인 관계가 있으므로, 화염의 온도를 측정함으로서 로켓 추력 발생의 크기를 대략적으로 예측할 수 있다.

Figure 3은 온도 측정을 위한 실험장치의 구성을 보여주고 있다. 일반적으로 온도 측정에 사용되는 온도계는 측정 방법과 원리에 따라 여러 가지로 나눌 수 있다. 물리2에서는 측정 원리를 기준으로 온도계의 종류를 구분하고 있는데, 본 연구에서는 열전대를 이용하여 연소 온도를 측정하였다. 열전대는 온도에 따라 도체의 기전력이 변하는 성질을 이용한 온도 측정 방법이다. 이 때, 온도 변화는 전압 변화의 형태로 나타나고 DAQ 시스템(Data Acquisition system)을 이용해 디지털 신호로 전환하여 온도를 확인할 수 있다. 열전대의 종류는 일반적으로 모델로켓 추진제로 많이 사용하고 있는 솔비톨 35%, 질산칼륨 65% 추진제의 연소 온도인 1000K정도의 온도를 측정할 수 있는 K타입 열전대를 사용하였다. K타입 열전대의 온도 측정 범위는 0~1500K이다. 연소 온도 측정의 불확실성을 줄이기 위해 2개의 열전대를 이용해 온도를 측정하고 결과를 비교하였다.

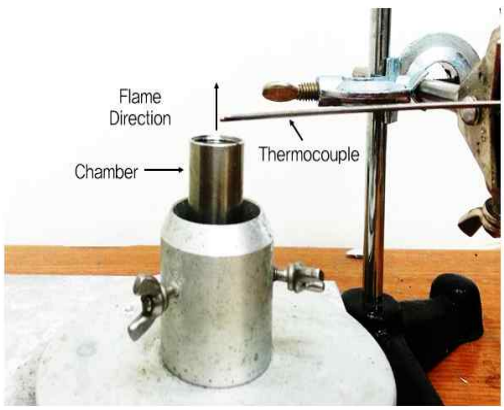


Fig. 3. Test setup for temperature measurements

Table 4. Types of propellant with different candy ratio for temperature measurements

Test no.	1	2	3	4	5	6	7	8
사탕(%)	0	5	10	15	20	25	30	35
솔비톨(%)	35	30	25	20	15	10	5	0

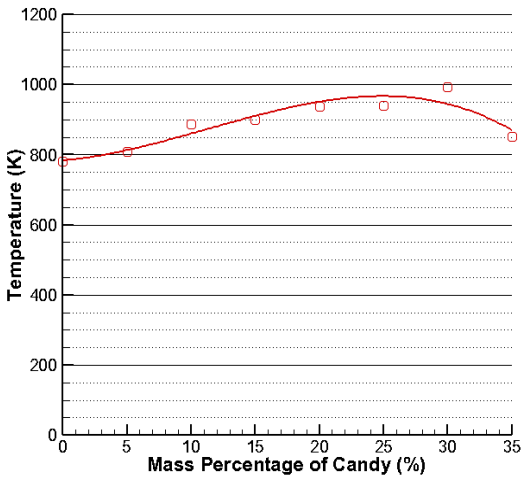


Fig. 4. Measurement of combustion temperature in propellants with different candy mass

Table 4는 연소 온도를 측정하기 위하여 준비한 추진제의 성분 구성비를 보여주고 있다. 일반적으로 솔비톨을 연료로 사용하는 모델로켓의 추진제는 솔비톨과 산화제의 비율이 각각 35%, 65%인 경우 최대 추력이 발생하는 것으로 알려져 있다[4]. 사탕과 솔비톨의 화학적 구성 성분은 매우 유사하므로 연료 비율을 35%로 유지하며 추진제를 제작한다면 추력 변화를 볼 수 있다. 그러나 사탕의 발열량은 솔비톨보다 크지만 솔비톨에 비하여 점화지연 시간이 너무 긴 단점이 있다. 따라서 적절한 점화 지연 시간을 확보하기 위해 솔비톨과 혼합한 추진제를 사용하였다. 본 실험에서는 연료 35%, 산화제 65%로 추진제 비율을 고정하여, 사탕과 솔비톨의 비율을 Table 4처럼 변화하며 연소 온도를 측정하였다.

Figure 4는 추진제 연료에서 사탕이 차지하는 질량 비율의 변화에 따른 추진제의 온도 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 측정 결과, 사탕의 비율이 30%에서 연소 온도가 가장 높은 것으로 나타났다. 이론적으로 사탕과 솔비톨은 성분의 차이가 있을 뿐아니라 이론 혼합비도 25:75로 솔비톨

과 KNO3의 35:65와 차이를 보인다. 따라서 온도 측정 결과는 사탕, 솔비톨과 KNO3의 이론 혼합비 차이에 의한 것으로 판단하였다.

2.2.3 추력 측정

Table 4에서 제시한 추진제를 장착한 모델로켓의 추력을 측정하여 사탕과 솔비톨의 혼합비 변화에 대한 추력 변화를 살펴보았다. 이 과정에서는 추력의 정의, 추력 측정 방법, 추력 측정의 불확실성에 관한 교과내용을 학습하고 로켓의 추진원리를 이해하는 것을 목적으로 하였다.

우선 추력의 발생에 대하여 살펴보자. 고등학교 과학 교과 과정에는 로켓의 추력 발생을 작용-반작용 원리를 사용하여 설명하고 있으며, 뉴턴의 운동 제 2법칙을 적용하여 추력의 크기를 표현한다. 식(1)은 뉴턴의 운동 제 2법칙을 나타내고 있다. ΣF_{ext}은 물체에 작용하는 외력의 합을 의미하며, m은 질량, v는 물체의 속도, Δt는 힘이 작용한 시간을 나타낸다. 그러나 이 식은 질량이 m인 물체에 대하여 성립한다.

$$\sum F_{ext} = \frac{\Delta(m \times \vec{v})}{\Delta t} \quad (1)$$

로켓의 추진력은 고체의 운동 변화가 아닌 노즐을 통과하는 유동의 운동에너지 증가에 의하여 발생한다. 그러나 고등학교 과학 교과에서는 유동의 운동량 변화에 대한 고차적인 원리를 설명하지 못하고 있다. 따라서 본 교육프로그램에서는 에너지 변환의 관점에서 추력 발생을 설명하였다. 즉, 연소에 의한 엔탈피 발생은 로켓의 노즐을 통과하는 유동의 운동량 변화와 관련이 있으며, 연소 시간이 길수록 추력 발생 시간도 길어진다. 따라서 온도 측정에 의해 확인되는 엔탈피 발생과 추력 측정에 의한 추력의 크기를 비교하였다. 이러한 과정은 뉴턴의 운동 제 2법칙을 이해하는데 도움을 줄 것으로 판단하였다.

Figure 5는 실험에 사용된 엔진의 형상을 나타낸 그림이다. 본 연구에서 제시하는 교육프로그램의 범위는 엔진 형상 설계 과정을 포함하지 않으므로, 사전에 여러 번 발사에 사용하였던 엔진

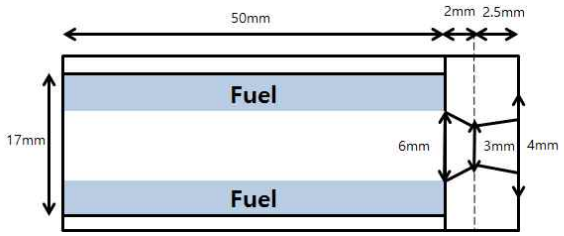


Fig. 5. Configuration of model rocket engine

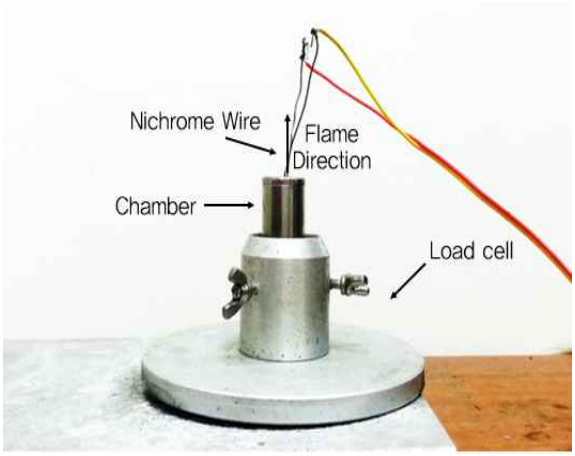


Fig. 6. Test setup for thrust measurements

과 동일한 규격의 엔진을 제작하여 사용하였다. Fig. 6은 추력 측정에 사용된 실험 장치의 구성이다. 실험은 로드 셀과 노즐이 장착된 연소실, 그리고 점화를 위한 니크롬선으로 구성되었다.

로드 셀은 가해지는 힘의 크기에 비례하여 전기적 신호를 발생시키는 스트레인 게이지를 이용한 하중 감지 센서이다. 로드 셀의 원리는 스트레인 게이지에 하중이 걸리면 길이 변화가 발생하고 이에 비례하여 저항 변화가 발생하며, 그 결과 전압 변화가 나타난다.

추력 측정은 온도 측정에서 사용한 동일한 종류의 추진제를 사용하였고 추력 변화와 온도 측정 결과를 비교하였다. 이 과정에서 추력 측정값의 불확실성을 줄이기 위해 최대 측정하중이 45N, 90N인 두 종류의 로드 셀을 사용하였고, 반복성을 확인하기 위해 각 추진제에 대하여 3회씩 수행되었다.

일반적으로 로켓의 성능을 판단하는 기준은 총 충격량의 크기를 이용해 비교하게 된다. 이는 추력-시간 그래프에서 그래프 아래의 면적으로 나타나기 때문에 면적을 비교하는 것이 적절하다. 그러나 본 연구의 목적은 로켓 성능의 엄밀한 분석이 아닌 과학 교과 과정과 연계한 로켓 교육프로그램 개발이므로 최대 추력만 비교하였다. 또한 추진제의 연소 시간이 1초 내외의 값을 갖기 때문에 최대 추력의 비교만으로도 로켓 성능의 비교가 가능하였다.

Figure 7은 Table 4의 추진제를 사용하여 추력을 측정한 결과이다. 추력 측정에 사용한 로드 셀의 측정 가능 최대 추력은 Load cell 1은 45N, Load cell 2는 90N이다. 측정 결과, 사탕의 비율이 10%-15% 부근에서 최대 추력이 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 온도 측정 결과와는 다소 상이한 차이를 보이고 있다. 이는

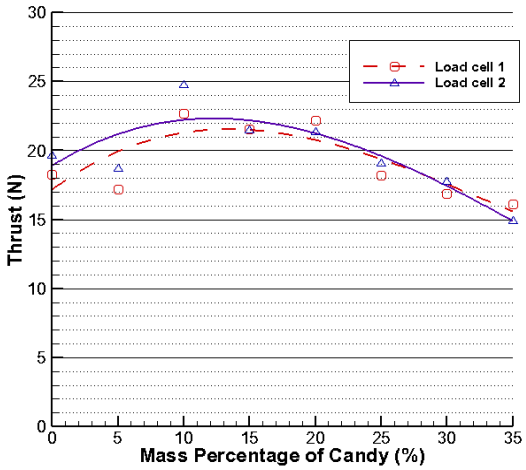
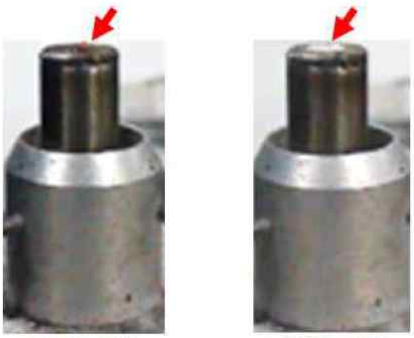


Fig. 7. Thrust measurements in the model rocket engine with different candy mass



연소전 연소후

Fig. 8. Comparison of chamber appearance before/after combustion

사탕이 솔비톨보다 점도가 높아 연소실 내에서 연소가 완전히 이루어지지 못한 채 노즐을 빠져나가기 때문에 최대 추력이 일치하지 않는 것으로 판단된다. 실험 영상을 통해서도 이러한 원인을 확인할 수 있는데, Fig. 8은 추력 측정을 위한 연소 전, 후의 노즐 출구를 보여주고 있다. 화살표 지점을 살펴보면, 연소 후 노즐 바깥쪽에 하얀 물질이 침전된 것을 볼 수 있다. 이것은 연료가 다 타지 못하고 노즐을 빠져나온 것으로 점도가 높은 사탕은 솔비톨에 비해 더 많은 양이 알갱이 채로 빠져나간 것으로 보인다.

2.3 프로그램 운영

개발한 교육프로그램을 소수의 고등학생에게 시범적으로 적용하여 프로그램의 완성도를 확인하였다. 우선 과학 고등학교 1학년 학생 4명을 대상으로 프로그램을 적용하였으며, 총 6회의 단계별 수업을 진행하였다. 또한 학생들의 프로그램 이해도를 판단하기 위해 각 수업을 마친 후 매번 설문조사를 실시하여 교육 목표에 대한 성취도를 측정하였다.

2.3.1 프로그램 단계별 목적

프로그램을 적용하기에 앞서 수업을 명확하게 진행하기 위하여 각 단계별 목적을 구체적으로 제시하였다. 고등학교 과학 교과 과정과 연계된 교육적 목적과 공학적 연구를 수행하기 위해 필요한 능력과 관련된 기술적 목적 두 가지를 제시하였다.

Table 5는 각 단계별 목적을 구체적으로 보여주고 있다. 1단계는 추진 원리와 관련된 열역학적 지식을 고등학생 수준에 맞게 설명하는 것을 목적으로 하였다. 2단계는 화합물, 화학 결합 등의 개념을 활용해 고열량 식품군으로 추진제를 선정하는 과정에 대해 학습하는 것을 목적으로 정하였으며, 동시에 추진제 제작 과정에서 발생할 수 있는 공학적 불확실성에 대해 알아보는 것을 기술적 목적으로 하였다. 3단계는 추진제의 화학적 결합에너지가 열로 나타나는 과정을 엔탈피와 화학 반응 개념을 사용하여 알아보고 온도 측정 원리는 온도 차이에 의한 기전력 발생 원리를 이해하도록 교육적 목적을 정하였다. 그리고 온도 측정에서 발생하는 불확실성 요소 파악과 해결 방안에 대해 토의하는 것을 기술적 목적으로 하였다. 4단계는 화학 로켓의 추력을 뉴턴의 운동 법칙, 운동량, 충격량 등의 개념을 적용하였고, 추력 측정은 탄성력과 전기의 개념을 이용해 이해하는 것을 교육적 목적으로 하였다. 또한 추

Table 5. Design of target subjects in each phase of the program

주제	교육적 목적	기술적 목적
기초 이론	- 열역학 기본 개념 습득	
추진제 제작	- 추진제 선정 과정 이해 - 화합물, 화학 결합 활용	- 추진제 제작 시 발생 가능 불확실성 요인 파악
온도 측정	- 에너지 변환 과정 이해 - 엔탈피, 화학 반응 활용	- 온도 측정에 영향 끼칠 수 있는 요인
추력 측정	- 추력의 정의 - 뉴턴 운동 법칙, 운동량, 충격량 활용	- 추력 측정 결과의 신뢰성 확인
로켓 제작 발사	- 로켓 발사 시 고려 사항	
프로그램 복습	- 보충 교육	

력 측정에 영향을 미칠 수 있는 불확실한 요소들을 생각하는 것을 기술적 목적으로 정하였다. 5단계는 학생들이 제작한 엔진을 모델로켓에 장착하고 로켓을 발사하는 것으로 하였다. 이 과정을 통해 모델로켓의 개념에 대해 알아보고, 로켓을 발사 시 고려해야 할 불확실성 요인을 토의하는 것을 목적으로 하였다. 6단계는 프로그램의 내용을 전반적으로 복습하고, 각 단계별 평가를 통해 교육이 부족한 사항들을 보충 설명하였다.

2.3.2 프로그램 시범 운영

평가는 추진제 제작, 온도 측정, 추력 측정 과정에서 반드시 알아야 할 개념과 프로그램을 진행하며 중점적으로 설명했던 요소에 관한 21문항을 이해 정도에 따라 0~100점으로 표시하는 방식으로 진행되었다. Table 6은 주요평가 항목과 평가결과를 요약한 표이다.

평가 결과, 전체 평균 점수는 88점으로 집계되었고, 각 영역 중 평균보다 낮은 점수를 얻는 부분은 교육이 미약했던 부분으로 판단하여 보충 교육을 실시하였다. 학생들이 어려움을 겪었던 부분은 로드 셀 사양의 의미, DAQ 시스템의 구성, 추력 측정의 불확실성과 해결 방안에 대한 내용이 주를 이루었다. 세 항목에 대한 이해도가 낮게 나왔음에도 불구하고, 이는 고등학교 교과 과정과 직접적으로 연결된 개념이라기보다는 실험 과정과 관련된 부가적인 내용으로 판단하였다. 고등학교 교과 과정과의 연계된 교육 사항에 대해선 학생들의 이해도가 높은 것으로 보아 프로그램의 목적은 소기 달성하였다고 여겨진다.

프로그램을 마친 후 참가 학생들의 설문조사 결과를 분석한 결과 프로그램 참여 전에는 로켓을 단순히 우주로 발사하는 물체로 인식하였고 과학적 원리와 연계한 이해가 부족하였으나, 프로그램 참여 후에는 로켓의 종류, 작용-반작용 법칙 뿐 만 아니라 운동량 보존 법칙 등 여러 물리 법칙 등이 추력 발생의 기본원리임을 이해하였다. 또한, '재미있는 공부거리', '주변에서 쉽게 구할 수 있는 재료를 사용해 추진제를 구성하여 로켓을 제작하는 과정을 거치며 로켓 과학에 대한 친숙함' 등의 긍정적 성과를 얻을 수 있었다.

Table 6. Assessment results on program

	내 용
교육내용 평가항목	- 로켓의 연료가 갖춰야 할 조건을 인식하였는가 - 연료 성분에 따른 연소 특성을 파악하였는가 - 연소실 온도와 추력과의 관계를 이해하였는가 - 추력의 의미를 명확히 정의할 수 있는가
기술내용 평가항목	- DAQ 시스템의 구성을 이해하였는가 - 센서로 측정한 데이터의 변환과정을 이해하였는가 - 온도와 추력 측정의 불확실성을 이해하고, 해결방안을 고려할 수 있는가
평 점	88점 (총 21문항)
이해도 높은항목	- 연소실 온도와 추력과의 관계를 이해하였는가 - 온도 측정의 목적을 파악하였는가 - 추력 발생 원리를 이해하였는가

III. 결 론

본 논문에서 제시한 과학 교육프로그램은 고등학생들의 과학과 로켓공학에 대하여 관심과 흥미를 높이기 위하여 개발되었으며, 이를 달성하기 위해 고등학교 교육과정과 모델로켓의 추진원리를 분석한 후 연계 활용하였다. 동시에 주변에서 쉽게 구할 수 있는 고열량 식품을 이용해 로켓 추진제를 제작하여 사용하였다. 이러한 과정을 통해 로켓의 추진 개념에 대해 어렵다는 편견을 극복하고 과학에 대한 친밀감을 갖는 것을 최종 목적으로 하였다. 또한 교육프로그램이라는 목적에 맞게 각 과정에 대한 학생들의 이해도를 평가하고, 이해도가 낮은 부분에 대한 보충 교육을 실시하여 성취도를 최대한 높이도록 프로그램을 구성하였다.

프로그램 운영을 통하여 기술적인 관점과 교육적인 관점에서 몇 가지 성과를 얻게 되었다. 우선 연구 성과로는 사탕과 같은 주변에서 쉽게 구할 수 있는 고열량 식품도 모델로켓의 추진제 역할을 할 수 있다는 가능성 발견, 발열량의 크기만으로 로켓 추진제로 사용 가능 여부를 결정할 수 없다는 사실, 온도 측정에서 유동에 의해 발생되는 측정의 불확실성 등을 파악하였다. 또한 교육적 측면으로는 학생들의 로켓에 대한 관심과 흥미가 높아졌으며 과학 교과 과정에 대한 깊이 있는 이해가 이루어졌다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서 제시하고 있는 로켓과학에 대한 프로그램은 학생들이 과학을 보다 깊이 있게 이해하고 우주공학 분야에 대한 흥미와 자신감을 적절하게 높일 수 있는 프로그램이라 판단된다.

후 기

본 연구는 서울특별시 교육청의 연구학습프로그램(R&E) 지원과 2014학년도 건국대학교 연구년 교원 지원에 의한 결과이며 지원에 감사드립니다.

References

1) Ju-hyun Park, Tae-su Kim and Chae Hoon Sohn, "A Study on Improvment of

Performance of Sorbitol Model Rocket," *KSPE Fall Conference*, 2006, pp.419~422.

2) Seungwoo Lee, Jongil Baek and Jeonggon Lee, "The Development and the Effects of Educational Program applied on STEAM for the Mathematical Prodigy," *Journal of KSME*, Vol. 16, No. 1, 2013, pp.35~55.

3) Byung-Yeol Park, Hyonyong Lee, "Development and Application of Systems Thinking-based STEAM Education Program to Improve Secondary Science Gifted and Talented Students' Systems Thinking Skill," *Journal of Gifted/Talented Education*, Vol 24, No. 3, 2014, pp.421~444.

4) Lichard Nakka, http://www.nakka-rocketry.net / sorb.html.