

2018학년도

경기과학고등학교 기초R&E 결과보고서

천체망원경 모터포커서 컨트롤러 구동 시스템 개발 및 자동초점조절 알고리즘 구현

2018. 02. 07

연구참여자 : 곽지성(jiseong8@naver.com)

정기현(2763jimbo@gmail.com)

지도교사: 박기현(guitar79@gs.hs.kr)

과학영재학교 경기과학고등학교

Contents

Contents	i
List of Figures	ii
List of Tables	iii
Abstract	iv
초록	v
1 서론	1
1.1 연구의 필요성 및 목적	1
1.1.1 연구의 필요성	1
1.1.2 연구 목적	1
1.2 이론적 배경	1
1.2.1 Micro touch와 모터의 조절	1
2 연구과정 및 방법	3
2.1 천체망원경 모터포커서 컨트롤러 구동 시스템 개발	3
2.1.1 하드웨어 제작	3
2.1.2 아두이노의 활용	3
2.1.3 아두이노를 이용한 모터포커서 제작	3
2.2 자동초점조절 알고리즘 구현	4
3 결과 및 토의	5
3.1 천체망원경 모터 포커서 컨트롤러 구동 시스템 개발	5
3.1.1 온습도 센서를 이용한 온도 및 습도의 측정	5
3.1.2 스테핑모터의 회전	5
3.2 자동초점조절	5
4 결론	6
4.1 아두이노를 이용한 스테핑모터의 회전	6

4.2	자동초점조절 알고리즘 구현	6
5	Introduction	7
6	Equations, Figures, and Tables	10
6.1	Equations	10
6.2	Figures	13
6.3	Tables	15
7	결론	17
8	여담	18
8.1	이러한 설정이 갖는 문제점들	18
8.2	왜 이런 설정을 하셨을까?	19
8.3	v1.1 이후로는 제대로 된다.	19
9	Test Section	20
9.1	Test Subsection	20
9.1.1	Test Subsubsection	20
	References	21

List of Figures

Figure 1.	그림 캡션입니다.	1
Figure 2.	A linearly damped beat wave.	14

List of Tables

Table 1.	Physical parameters.	16
Table 2.	보통의 tex 문서 명령어와 gshs-report.cls을 사용하는 문서의 명령어 대응관계. . .	18

Abstract

Put your abstract here. Once upon a time, Gyeonggi Science High School for the Gifted said : ‘The first, and the best.’

초 록

우리가 천체를 관측하기 위해서 천체망원경을 자주 사용하고는 한다. 하지만 천체망원경으로 초점을 정확하게 맞춰야지만 보다 정확한 천체관측을 진행할 수 있다. 대부분 망원경에는 이미 초점을 맞추기 위해 손으로 직접 접안렌즈의 거리를 조절하거나, 조절할 수 있는 모터를 이용해 정확하게 우리 눈으로 초점을 맞출 수 있게 만들어져 있다. 하지만, 모터를 이용하여 초점을 맞춘다고 해도 우리 눈으로 초점을 맞추는 것이기 때문에 정확하지 않을 수 있다. 본 논문에서는 아두이노를 이용하여 모터를 돌려 초점이 맞춰졌는지 관측하기 위한 구체적인 방안을 제시한다. 이뿐만이 아니라, 이를 이용하여 센서를 이용하여 자동으로 초점을 맞추는 기계를 만드는 것에 대하여 탐구하였다. 만약 이를 실현하게 한다면 천체망원경을 이용하여 여러 천체를 관측하는 데 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

Figure 1. 그림 캡션입니다.

I. 서론

1.1 연구의 필요성 및 목적

1.1.1 연구의 필요성

천체를 관측할 때 초점을 맞추는다면 관측할 천체의 모습이 더 선명하게 보인다. 일반적으로 대부분의 망원경은 초점을 손으로 맞추 수 있게 설계되어있다. 하지만 모터포커서가 있다면 손으로 초점을 맞추는 것보다 정확하게 초점을 맞추 수 있게 된다. 모터 포커서와 천체 사진 분석 기술을 활용하면 사람이 손으로 초점을 맞추는 것보다 정확하게 초점을 찾을 수 있을 것이다. 실제로 모터 포커서와 연계해 초점을 맞춰주는 소프트웨어도 몇 종류가 있으나 오류가 발생하는 경우가 있다. 따라서 천체망원경의 모터 포커서의 컨트롤러 구동 시스템을 개발하면 여러 천체를 관측하는 데 있어서 보다 정확한 사진들을 얻을 수 있을 것이다. 그림 1, 그림 2에서 알 수 있듯이 모터포커싱을 이용하여 초점을 맞추면 아무것도 하지 않고 그냥 관측했을 때에 비해서 훨씬 정확하게 천체를 관측할 수 있게 된다. 그림 1과 그림 1을 비교하여 보면 그림 2의 표면이 훨씬 더 선명하다는 사실을 알 수 있다.

1.1.2 연구 목적

이 연구는 아두이노를 이용하여 천체망원경을 이용한 천체관측을 시행할 때 필요한 모터포커서를 조정할 수 있는 모터포커서 컨트롤러 구동 시스템을 구현하는 것을 첫 번째 목표로 한다. 만약 이를 성공하게 되면, 초점을 자동으로 조정하는 알고리즘을 만들어서 천체의 초점을 자동으로 맞추 수 있도록 할 것이다.

1.2 이론적 배경

1.2.1 Micro touch와 모터의 조절

그림 3이 바로 Micro touch로, 시중에 나와있는 모터포커서이다. 이를 옆의 컴퓨터와 연결시킨 그림이 바로 그림4로, 이를 이용하여 컴퓨터에서도 ASCOM이라는 프로그램을 이용하여 원격으로 모터의

초점을 맞추어 줄 수 있도록 설정할 수가 있다. 그림3에서 나온 위의 두 버튼(IN, OUT)은 각각 초점을 맞추기 위해 망원경의 길이를 줄이거나 늘일 수 있는 버튼이다. Micro touch를 수동 혹은 자동으로 작동시켜 IN 또는 OUT의 명령을 내렸을 경우, 그림 5에 보이는 모터포커서가 작동하게 된다. 이 모터포커서는 그림 5의 오른쪽에 보이는 모터를 움직여 천체망원경의 경통의 길이를 조절할 수 있도록 한다. 경통의 길이가 변화하면 그에 따라서 빛이 퍼지는 정도가 달라지므로 이를 잘 조정하면 망원경으로 관측하는 천체의 초점을 맞추어 줄 수 있게 된다.

자동사진 분류를 연구한 논문을 참고하였다 [1].

II. 연구과정 및 방법

2.1 천체망원경 모터포커서 컨트롤러 구동 시스템 개발

2.1.1 하드웨어 제작

1. STM32L432KC STM32L432KC는 아두이노 nano 보다 성능이 좋은 arduino로, 방향만 반대일 뿐 핀의 순서와 종류가 모두 동일하여 우리가 이후에 arduino nano로 회로도 제작 후 더 좋은 성능을 위하여 이를 사용하였다. STM32L432KC와 아두이노가 다른점은 STM32L432KC는 3.6V를 사용한다는 점이다. 2.SSD1306 SSD1306은 OLED의 한 종류로, 컴퓨터에 있는 Serial Monitor가 아닌 OLED기판 위에 내용이 출력되도록 한다. 크기는 128*64이고, 전압은 3V 또는 5V를 사용한다. 3.DHT22 DHT22는 아두이노에서 사용가능한 센서로, 주위의 온도와 습도를 측정하여 Serial Monitor 또는 OLED에 출력을 해준다. DHT22의 전압은 3.3V 5.5V이다. 4.DRV8825 DRV8825는 stepper motor controller로,

2.1.2 아두이노의 활용

아두이노는 마이크로컨트롤러를 달고 있는 기판으로, 아두이노의 여러 가지 핀에 전선을 연결한 뒤에 코딩을 하여 아두이노에 업로드를 하면 아두이노가 코딩된 내용을 그대로 실행할 수 있도록 하는 하드웨어이다. 본 논문에서 밝힌 모터포커서는 이 아두이노를 이용해서 만들 것이다. 아두이노가 작동하기 위해서는 5V의 전원이 공급되어야 하는 데, 모터를 돌리기 위해서는 약 12V가 필요하므로 이 전력을 이용하여 아두이노를 같이 실행하게 될 것이다.

2.1.3 아두이노를 이용한 모터포커서 제작

아두이노를 이용하여 모터포커서를 만드는 데 필요한 기술들은 크게 3가지이다. 먼저, 아두이노를 이용하여 모터를 돌릴 수 있어야 하는데, 본 논문에서 돌려야 할 모터의 종류는 ‘스테핑모터’이다. 스텝핑 모터는 여러 모터 중에서도 정밀한 각도또는 위치를 제어해야 하는 경우에 사용하는 모터이다. 두 번째로, 스위치를 활용하여 모터의 움직임을 조절할 수 있어야 한다. 마지막으로, 모터를 조절한 것을 노트북에 연결되어있지 않아도 상황을 볼 수 있도록 모터가 얼마나 돌아가 있는지, 혹은 이로 인해 늘어난 경통의 길이가 얼마나 되는지 확인할 수 있도록 아두이노를 이용하여 LED판을 실행시켜 진행 상황을 확인할 수

있어야 한다. 각 기술을 실현하는 코드와 기판 모양은 fritzing과 같은 프로그램으로 저장하여 활용할 수 있도록 한다.

이 세가지를 모두 아두이노로 실행시킬 수 있게 되면, 납땜하거나 PCB 기판으로 만들어서 모터 포커서를 완성한다. 완성된 모터포커서가 잘 작동하는지 실제 천체망원경을 이용하여 실험하여본다.

2.2 자동초점조절 알고리즘 구현

자동초점조절 알고리즘은 모터포커서를 이용할 때, 모터포커서 뿐만이 아니라 모터포커서를 이용하여 초점이 움직인 사진을 카메라로 분석하여 초점이 잘 맞았는지 확인한 뒤에 피드백 작용으로 초점이 맞을 때까지 스스로 초점을 조절하는 장치이다. 이 알고리즘에서 가장 중요한 것들은 카메라로 찍은 사진을 초점이 더 잘 맞았는지 분석할 수 있어야 하며, 초점을 조절할 때 맞는 초점을 넘어가 버려서 끝없이 초점이 가운데에서 왔다 갔다 하는 일이 없도록 해야 한다는 점이다.

결국, 자동초점조절 알고리즘은

1. 원래 사진을 찍는다.
2. 입력된 사진을 이용하여 실험으로 IN 또는 OUT을 실행시킨다.
3. 2에서 초점이 잘 맞았는지 잘 안 맞았는지 판단하고, 모터를 돌려야 할 방향을 설정한다.
4. 모터를 돌려 초점을 맞춘다.
5. 초점이 잘 맞았는지 확인한다.

의 순서로 진행될 수 있도록 설계되어야 할 것이다.

III. 결과 및 토의

3.1 천체망원경 모터 포커서 컨트롤러 구동 시스템 개발

3.1.1 온습도 센서를 이용한 온도 및 습도의 측정

이 연구를 진행하는 데 아두이노를 사용하는 것이 가장 기본이라고 판단하였기 때문에 아두이노로 실행할 수 있는 것들 중 쉬운 축이라고 생각되는 온습도 센서(dht22)를 활용하여 온습도를 측정하는 일이었다. 그림6과 같이 기판을 짜고 코드를 입력하면 serial 모니터에 온도와 습도가 delay만큼의 간격을 두고 계속 출력된다. 이를 응용하여 그림 7처럼 oled(oled1306)에 온도와 습도를 실시간으로 출력하는 프로그램을 만들 수도 있다.

3.1.2 스테핑모터의 회전

스테핑 모터의 종류는 2가지가 있다. 하나는 전선이 6개가 연결된 것과 전선이 4개가 연결되어 있는 것이다. 우리가 찾은 코드는 전선이 4개만 연결하는 것에 대한 ▲그림 8. DRV8825의 구조 코드였기 때문에, 구멍인 6개인 것을 4개인 것에 대응시켰다. 전선이 6개인 것의 1번, 3번, 4번, 6번을 연결하면 구멍이 4개인 것과 같은 효과를 낼 수 있다. (순서가 반대로 된다면 모터의 회전 방향이 반대가 될 것이다) 또한, 모터의 회전 방향을 제어하기 위해서는 아두이노에 모터드라이버를 사용하여야 한다. 모터드라이버는 drv8825를 사용한다. 스테핑 모터에 있어서 이 모터드라이버가 있으면 움직임을 더욱 정밀하게 설정할 수 있는데, 아두이노의 초기 설정에서 M0, M1, M2(MODE)의 값이 1이냐 0이냐에 따라 풀스텝(1.8)에서부터 1/32스텝까지 한번 실행할 때마다 회전시킬 수 있다. (delay에 따라회전 속도를 조절할 수 있다.)(표1 참조)

3.2 자동초점조절

자동초점조절 알고리즘은 모터포커서를 다 제작한 뒤에 구현하여도 문제가 없을 것으로 판단하여 자동초점조절 알고리즘 구현은 모터포커서를 다 제작할 뒤에 연구하도록 할 것이다.

IV. 결론

4.1 아두이노를 이용한 스텝모터의 회전

그림 9-1과 그림 9-2를 참조하면, 12V의 전원과 100uF의 콘덴서를 이용하면 delay만큼의 간격을 두고 일정한 각도로 회전하는 스텝모터를 관측할 수 있었다. 이를 기본으로 하여 스위치와 oled를 적절히 조합하기만 하면 우리가 원할 때 움직이는 모커포커서를 구현할 수 있을 것으로 보인다.

4.2 자동초점조절 알고리즘 구현

자동초점조절 알고리즘은 먼저 모커포커서가 만들어져 있어야지 구현을 할 수 있다. 모터포커서를 이용하여 초점을 맞추는 과정을 거칠 수 있기 때문이다. 모터포커서를 완성한 뒤에 자동초점 알고리즘에 대해 더 연구해 볼 것이다.

V. Introduction

아래의 글은 경기과학고 물리 전문교원이신 목진욱 박사님께서 작성하신 글이다. 원래는 졸업논문 작성 가이드이기 때문에 R&E 보고서 가이드처럼 사용하기에는 벅찰 수 있지만 첨부한다. 이 글과 더불어 경기과학고 \TeX 사용자협회¹의 입문서 ver2.0(beamer)를 함께 읽어보면 좋을 것이다.

서론은 연구를 진행하게 된 배경을 기술하는 곳으로 보통 다음과 같은 순서로 쓰는 편이다.

- 연구 주제의 전반적 관심을 조명.
- 연구 분야의 스페셜 이슈를 조명.
- 해당 이슈를 해결하기 위한 다양한 선행 연구들을 서술.
- 선행 연구들의 한계점을 기술.
- 한계를 극복하기 위한 본 연구의 목적을 밝힘.
- 논문의 구성을 서술 (optional).

서론은 과거부터 현재까지 해당 분야의 연구 진행을 기술하기 때문에 선행 연구 논문들을 레퍼런스로 도입하는 경우가 빈번하게 나타난다. \LaTeX 에서 참고문헌을 표기하는 방법을 알아보자. 먼저 이 문서의 후반부에 위치한 레퍼런스 부분을 찾아간다. 이 문서를 컴파일했을 때 생성된 PDF 파일에는 **References**라고 나와 있지만 여기서는 `\begin{thebibliography}{99}`로 시작에서 `\end{thebibliography}`로 종료되는 그 사이에 참고문헌을 작성하면 된다. 여기서 숫자 99는 참고문헌이 100개 넘는 논문을 작성하는 것이 아니라면 그대로 놔둔다. 참고문헌 작성 예시는 다음과 같다.

`\bibitem{Mok06}`C. Mok, C.-M. Ryu, P. H. Yoon, and A. T. Y. Lui, “Global two-fluid stability of bifurcated current sheets”, J. Geophys. Res., **{\bf 111}**, A03203 (2006).

`\bibitem` 다음의 { } 안에는 자신이 그 논문을 기억하기 쉬운 규칙을 정하여 작성하면 된다. 보통 논문 저자의 last name과 논문 출판 년도를 사용하여 표기한다. 그리고 저자들, 논문 제목, 저널 이름, 권,

¹구글 검색 : ‘경기과학고 \TeX 사용자협회’. 전체 파일 목록 - An-Introduction-to-LaTeX - An Introduction to LaTeX-ver2.0_beamer - Day1,2 와 같이 2개가 있다.

호, 페이지, 출판년도 순으로 입력한다. 저자는 3인 이하일 경우에는 모두 적도록 하고 4인 이상일 때는 주저자만 작성하고 그 외는 et al.이란 표기로 대체한다. 논문 제목은 큰 따옴표로 묶어준다. \LaTeX 에서 시작하는 따옴표는 키보드에서 숫자 1 왼쪽 버튼, 마치는 따옴표는 키보드 엔터키 왼쪽 버튼을 사용함에 유의하라. 저널 이름은 경우에 따라 약어를 사용할 수 있다. 약어를 사용할 때는 정식으로 정해진 약어임을 확인한 후 사용한다. Volume(권)은 굵은 글자 처리한다. 위의 예시처럼 $\backslash bf$ 를 사용하면 된다. Number(호)는 경우에 따라 없는 저널도 있다. 위의 예시에는 ‘호’를 넣지 않았다. 만약 ‘호’를 넣고자 할 때는 둥근 괄호로 묶어준다. 마지막으로 페이지와 출판년도를 작성한다. 출판년도는 둥근 괄호로 묶어준다.

이제 서론에서 해당 논문을 인용할 준비 작업은 끝났다. 서론에서 필요한 부분에 이 논문을 인용 표기할 경우 $\backslash cite$ 라고 입력한 후 { } 안에 해당 논문을 표시하면 된다. 표시하는 방법은 바로 레퍼런스에서 $\backslash bibitem$ 이후 { } 안에 적었던 것을 넣어주면 된다. 논문 인용 표시가 문장 마지막에 등장할 때는 마침표의 위치는 인용 표시 다음이다. 아래 문장은 논문 인용 표시의 예로 C. Mok의 2010년 논문에서 인용하였다 [?].

Various plasma instabilities have been proposed as playing important roles during the substorm onset process. These include the tearing $\backslash cite{\text{Schindler74, Sitnov97, Zelenyi08}}$, ballooning $\backslash cite{\text{Cheng98, Bhattacharjee98, Dobias04, Zhu03, Saito08, Friedrich01}}$, lower hybrid drift $\backslash cite{\text{Shinohara98, Yoon02, Mok06}}$, Kelvin–Helmholtz $\backslash cite{\text{Rostoker84, Dobias06}}$, and the ion Weibel $\backslash cite{\text{Yoon93, Sadovskii01}}$ instabilities.

위와 같이 입력한 후 컴파일하면 pdf 파일에는 다음과 같이 나타날 것이다.

Various plasma instabilities have been proposed as playing important roles during the substorm onset process. These include the tearing [?, ?, ?], ballooning [?, ?, ?, ?, ?], lower hybrid drift [?, ?, ?], Kelvin–Helmholtz [?, ?], and the ion Weibel [?, ?] instabilities.

이 때 참고문헌이 번호 순서대로 나오도록 한다. 또한 세 개 이상의 문헌이 연속된 번호로 이어진 경우 자동으로 첫 번호와 마지막 번호가 hyphen으로 연결된 형태로 등장함을 확인할 수 있다.

참고문헌은 다음의 조건들을 만족해야 한다.

- 저자가 명시되어야 한다.
- 검증이 된 내용이어야 한다.
- 이미 출판되어 수정이 불가능해야 한다.

전문 논문 저널에 수록된 논문들은 위 조건들을 만족하므로 되도록 논문을 참고문헌으로 삼도록 한다. 웹사이트는 위 조건들을 만족하지 못하므로 참고문헌으로 부적절하다. 또한 누구라도 책을 출판할 수 있으므로 전문 서적을 참고문헌으로 사용하는 경우에는 널리 받아들여지고 인정받는 서적만 사용해야 한다. 사실 전공 서적의 저자는 여러 연구 논문들을 참고로 하여 책을 집필하기 때문에 전공서적에도 참고 문헌(논문)이 명시되어 있다. 이 경우 전공 서적 대신에 책에서 지시하는 논문을 참고문헌으로 삼도록 한다.

VI. Equations, Figures, and Tables

연구 본문은 하위 절(subsection, subsection, ...)등이 등장하는 경우가 있다. 이 때는 `\subsection{section name}`, `\subsubsection{subsubsection name}`을 사용하여 하위 절을 구성하면 된다. 여기서는 수식 작성법, 그림 넣는 법, 표 만드는 법에 대해 살펴본다.

6.1 Equations

먼저 문장 속에서 수식을 사용하는 경우에는 $(수식)$ 과 같이 처리하면 된다. 다음과 같이 작성한 후 컴파일을 하면

운동 에너지는 $(1/2)mv^2$ 으로 표현된다. 여기서 m 은 물체의 질량, v 는 물체의 속력이다.

pdf 파일에는 다음과 같이 나타난다.

운동 에너지는 $(1/2)mv^2$ 으로 표현된다. 여기서 m 은 물체의 질량, v 는 물체의 속력이다.

위의 예시에서 보듯이 문장 속에서 수식을 사용할 때는 한 줄로 입력한다. 즉 분수 형태의 수식은 슬래쉬 '/'로 대체하여 표현한다. 줄 간격을 일정하게 유지하기 위함이다.

다음은 수식이 문장 밖으로 나와 한 줄을 통째로 차지하는 경우이다. 수식을 작성하는 명령어는 다양하지만, 여기서는 `equation`, `align`에 대해서만 다룬다. 먼저 `equation`의 사용법을 예를 통해 확인해보자. 만약 다음과 같이 입력을 하고

```
\begin{equation}
\int_V \nabla \cdot \mathbf{F} dV = \oint_S \mathbf{F} \cdot d\mathbf{A}.
\label{eq001}
\end{equation}
```

컴파일을 하면 다음과 같은 식이 pdf파일에 나타나는 것을 확인할 수 있다.

$$\int_V \nabla \cdot \mathbf{F} dV = \oint_S \mathbf{F} \cdot d\mathbf{A}. \quad (1)$$

문장 속에서 수식의 번호(라벨)을 호출하는 경우가 종종 있다. 이 때는 `\ref{eq001}`을 사용하면 된다. 여기서 `eq001`은 수식에서 `label` 명령어 다음에 작성된 문구이다. 수식마다 각기 다른 라벨을 작성해야 하며 논문 저자가 기억하기 편한 것을 사용하면 된다. 서로 다른 수식에 중복된 라벨을 사용하면, 나중에 작성된 라벨의 수식 번호만 호출됨에 유의하라. 사용 예는 다음과 같다.

(작성 예) Divergence 이론은 임의의 벡터 필드 \mathbf{F} 가 임의의 폐곡면 외부를 향하는 플럭스의 총량은 $\nabla \cdot \mathbf{F}$ 를 폐곡면 내부 부피에 대하여 적분한 것과 같다는 것으로 이를 식으로 표현하면 식 (`\ref{eq001}`) 과 같다.

(컴파일 결과) Divergence 이론은 임의의 벡터 필드 \mathbf{F} 가 임의의 폐곡면 외부를 향하는 플럭스의 총량은 $\nabla \cdot \mathbf{F}$ 를 폐곡면 내부 부피에 대하여 적분한 것과 같다는 것으로 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

그런데 수식에 번호를 붙일 필요가 없는 경우도 있다. 이 경우에는 수식이 끝나고 `equation` 명령어를 닫기 전 `\nonumber`라고 입력하면 된다.

```
\begin{equation}
\pi=3.14159265358979... \nonumber
\end{equation}
```

$$\pi = 3.14159265358979...$$

지금까지 `equation` 명령어에 대해 살펴보았는데, `equation`은 한 줄로 표현 가능한 수식에 사용된다. 그런데 수식 중에는 한 줄로 표현하기 너무 길어서 줄바꿈을 해야 할 필요가 있는 경우, 또는 여러 줄에 걸쳐서 계산 과정을 보여줄 필요가 있는 경우가 있다. 이 때 사용되는 대표적인 명령어가 `align`이다.

```
\begin{align}
\frac{dE}{dt} &= \frac{\partial E}{\partial t} + \sum_i \dot{q}_i \frac{\partial E}{\partial q_i} + \sum_i \ddot{q}_i \frac{\partial E}{\partial \dot{q}_i} \notag \\
&= \sum_j \dot{q}_j \sum_k \left( A_{jk} q_k + M_{jk} \ddot{q}_k \right) . \label{eq002}
\end{align}
```

TeX 파일에 위와 같이 입력하고 컴파일을 해보면 다음과 같은 식을 얻는다.

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= \frac{\partial E}{\partial t} + \sum_i \dot{q}_i \frac{\partial E}{\partial q_i} + \sum_i \ddot{q}_i \frac{\partial E}{\partial \dot{q}_i} \\ &= \sum_j \dot{q}_j \sum_k (A_{jk} \dot{q}_k + M_{jk} \ddot{q}_k).\end{aligned}\quad (2)$$

TeX 파일에 입력된 등호 앞의 & 기호는 줄 맞춤 표시이다. 즉, 첫 번째 줄의 &와 두 번째 줄의 &가 같은 수직선상에 위치한다는 의미이다. 첫 번째 줄에서는 수식 번호를 넣고 싶지 않아서 \notag라는 명령어를 사용하였다. equation 명령어에서 사용된 \nonumber와 같은 기능을 한다. 줄을 넘길 때는 \\를 사용한다. 이번에는 줄이 너무 길어서 여러 줄에 나누어 표현하는 식의 예를 살펴보자. (P. H. Yoon의 2006 논문에서 참고하였음 [?])

```
\begin{align}
\delta P_{ij}^a &= \frac{i}{B_0} \frac{\Omega_a}{\omega_a - \omega_k} \mathbf{v}_a \cdot \mathbf{v}_k \\
&\left( m_a n \epsilon_{ikl} v_k^a B_1 \delta v_j^a + m_a n \epsilon_{jkl} v_k^a B_1 \right. \\
&\delta v_i^a \left. \right) \text{. \nonumber \\
&\& \left. + \epsilon_{ikl} \delta B_1 P_{jk}^a + \epsilon_{jkl} \delta B_1 P_{ik}^a + \epsilon_{ikl} \right. \\
&B_1 \delta P_{jk}^a + \epsilon_{jkl} B_1 \delta P_{ik}^a \left. \right) \text{. \label{eq003}}
\end{align}
```

위와 같이 작성한 후 컴파일하면 pdf 파일에 다음과 같은 식이 등장한다.

보는 바와 같이 괄호 내부가 너무 길어서 줄바꿈을 했더니 첫 줄에서 괄호가 열리고 다음 줄에서 괄호가 닫힌다. TeX에서는 괄호를 연 뒤, 닫지 않고 줄바꿈을 하면 에러가 발생한다. 따라서 첫 줄에서 ‘\left(’로 괄호를 연 뒤, ‘\right.’으로 괄호를 닫았다. 이 표시는 실제로 pdf 파일에는 등장하지 않지만 에러 방지를 위해 넣어준 것이다. 두 번째 줄에서도 마찬가지로 ‘\left.’으로 (pdf 파일에는 보이지 않는) 괄호를 연 뒤 ‘\right)’으로 괄호를 닫아주었다.

$$\begin{aligned} \delta P_{ij}^a = & \frac{i}{B_0} \frac{\Omega_a}{\omega - \mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_a} \left(m_a n \varepsilon_{ikl} v_k^a B_l \delta v_j^a + m_a n \varepsilon_{jkl} v_k^a B_l \delta v_i^a \right. \\ & \left. + \varepsilon_{ikl} \delta B_l P_{jk}^a + \varepsilon_{jkl} \delta B_l P_{ik}^a + \varepsilon_{ikl} B_l \delta P_{jk}^a + \varepsilon_{jkl} B_l \delta P_{ik}^a \right). \end{aligned} \quad (3)$$

`align` 명령어는 각 줄마다 수식 번호가 작성 가능하다. 그래서 식 (3)과 같이 하나의 식을 두 줄에 나누어 표현할 때 (첫 번째 줄에는 `notag` 명령어를 넣어 수식 번호를 제거하고) 두 번째 줄에 수식 번호가 등장하도록 하였다. 그런데 이처럼 하나의 식을 여러 줄에 걸쳐 표현할 때는 수식 번호의 상하 위치가 수식 전체의 중앙에 등장하는 편이 더 보기 좋다. 이 경우에는 `equation` 명령어 내부에 다시 `split` 명령어를 사용하면 된다. 다음 식 (4)는 이 방법을 사용한 것으로서, 자세한 사용법을 알고 싶으면 `TeX` 파일에 어떤 식으로 작성되었는지 살펴보기 바란다.

$$\begin{aligned} \mathcal{D}_{m'm}^{(1/2)}(\alpha, \beta, \gamma) = & \left\langle j = \frac{1}{2}, m' \left| \exp \left(\frac{-i J_z \alpha}{\hbar} \right) \right. \right. \\ & \left. \times \exp \left(\frac{-i J_y \beta}{\hbar} \right) \exp \left(\frac{-i J_z \gamma}{\hbar} \right) \right| j = \frac{1}{2}, m \rangle. \end{aligned} \quad (4)$$

`TeX`에서 입력되는 수식은 기호와 명령어의 명칭 및 사용법을 알아야 작성할 수 있다. 사용법이 잘 정리된 문서들을 인터넷에서 쉽게 구할 수 있으므로 스스로 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

6.2 Figures

논문에 들어가는 그림은 크게 사진과 그래프로 나눌 수 있다. 먼저 사진파일(확장자 `jpg`, `png`)을 넣는 방법은 다음과 같다.

```
\begin{figure}[t]
\begin{center}
\includegraphics[width=6cm]{Figure File}
\caption{This is caption}
\label{Figure label}
\end{center}
```

Figure 2. A linearly damped beat wave.

`\end{figure}`

`\begin{figure}` 옆의 [t]라는 옵션은 그림을 페이지의 맨 위에 넣는다는 것이다. 옵션의 종류는 t, b, h, p가 있다. 각각의 의미는, t(그림을 페이지 맨 위에 위치), b(그림을 페이지 맨 아래에 위치), h(그림을 본문에 작성한 위치에 넣기. 단 충분한 공간이 없는 경우에는 다음 페이지에 들어감), p(한 페이지에 그림만 등장함). 논문에 등장하는 그림들은 되도록 페이지 위에 위치할 수 있도록 하자. 즉 [t] 옵션을 설정한다. 단, section title이 맨 위에 위치하는 경우에는 [b] 옵션을 사용하여 그림을 페이지 바닥에 위치시킨다.

`includegraphics`다음의 [] 안에는 크기를 지정할 수 있는 옵션을 넣어주고 { } 안에는 파일이름(확장자 포함)을 넣어준다. 이때 그림 파일은 \LaTeX 파일과 같은 폴더에 들어 있어야 한다. 다음의 `caption`에는 그림 설명을 넣어준다. 마지막으로 `label`에는 수식에서와 마찬가지로 이 그림의 라벨을 지정하여 본문 속에서 `ref` 명령어를 사용하여 그림을 언급하기 편하도록 한다.

이번에는 그래프를 넣는 방법을 알아보자. 그래프는 사진과 약간 차이가 있는데 그것은—엑셀 등 그래프 작성 툴에서 그래프를 그린 후 그래프를 그림파일로 저장할 때, 확장자 pdf, eps 등 postscript 벡터 이미지로 저장을 해야 한다는 것이다. 그 외에는 사진 이미지 삽입과 동일하다. 그림 2은 엑셀에서 작성한 그래프를 pdf로 저장한 것과 png로 저장한 것을 비교하기 위한 예이다. 위쪽 그림은 png 확장자, 아래 그림은 pdf 확장자의 파일을 삽입한 것이다. 컴파일 후 생성된 논문 pdf파일을 확대한 상태로 그래프를 살펴보면 그 차이를 알 수 있다.

논문에 그림을 넣을 때 주의사항은 다음과 같다.

- 논문에 반드시 필요한 그림인가.
- 남들이 이해하는데 있어서 가장 알맞은 형태로 표현되었는가.
- 캡션과 본문에서의 설명은 충분한가.

많은 학생들이 연구 과정에서 만들어진 사진들과 그래프들을 선별 과정 없이, 있는대로 다 넣으려는 경향을 보였다. 실험에서 사용한 장치들 사진이나 실험실 사진들을 넣는 경우도 있고, 연구 결과에서 텍스트 없이 그래프들만 나열시킨 경우도 있다. 따라서 십여장 남짓한 본문에서 텍스트가 차지하는 줄 수와

그림이 차지하는 줄 수를 비교하면, 그림의 점유 비율이 월등히 높은 논문들이 많았다. 원칙이 있는 건 아니지만, 글과 그림의 페이지 점유 정도를 비교할 때 글이 차지하는 비중을 높게 하도록 한다. 본인이 작성한 논문에서 그림의 양이 너무 많다면 그림의 양을 줄이고 글의 양을 늘려보자.

먼저 실험 장치 사진을 넣는 경우를 보자. 논문에서 실험 장치 사진을 넣는 것은 i) 장치 개발 자체가 연구 목적인 경우나 ii) 연구실에서 독자적으로 개발한 장치로 연구를 수행하기에 독자들이 연구 장치에 호기심을 가질 것으로 판단되는 경우에만 필요한 것으로 굳이 필요한 상황이 아니라면 넣지 않도록 한다. 다만 연구 대상이 되는 물체의 상태 변화를 이해하기 쉽도록 그림으로 나타내는 과정에서 장치의 모식도가 함께 그려지는 경우는 종종 있다.

실험 결과를 충분한 텍스트 없이 그림만 나열하는 경우도 있다. 이 때는 그림들이 반드시 모두 들어가야 하는지 생각해본다. 각각의 그림들에 대해서 그림이 차지하는 공간 이상으로 글로 설명해야 할 내용이 있는지 생각해본다. 만약 여러 그림 중 하나만 대표가 선정되어 설명하게 된다면 나머지 그림들은 논문에서 불필요한 그림들이다. 그러나 모든 그림들을 종합하여 볼 필요가 있으며, 종합된 내용을 글로 설명해야 한다면 그림의 표현 방식이 잘못된 것이다. 이 때는 독자들에게 내용 전달에 있어서 효과적인 그림의 표현 방식이 어떤 것일지 고민을 해야 한다.

6.3 Tables

\LaTeX 에서 표를 넣는 방법은 i)엑셀 등 외부 프로그램에서 작성된 표를 pdf 그림파일로 변환하여 그림처럼 `includegraphics` 명령어로 넣는 방법 (물론 이 경우 `\begin{figure}` 대신 `\begin{table}`를 사용해야 함), ii) \LaTeX 에서 표를 직접 제작하는 방법의 두 가지가 있다. \LaTeX 에서는 명령어에 의해 표의 구획과 정렬, 선의 종류를 표현하므로 초보자에게는 다소 어려운 작업이 될 수 있다. 아마도 \LaTeX 를 사용함에 있어서 가장 불편한 점은 표 제작 작업일 것이다. 다행히 인터넷에 ‘latex’, ‘table’ 등의 조합으로 검색하면 마우스로 제작한 표를 \LaTeX 로 변환해주는 웹사이트들을 찾을 수 있다.

다음은 간단한 표의 예이다. 다음과 같이 입력을 하고 컴파일을 하면,

```
\begin{table}[t]
\caption{Physical parameters.}
\label{table01}
```

Table 1. Physical parameters.

	symbol	value
Earth's mass	M_E	$6.0 \times 10^{24} \text{kg}$
Earth's radius	R_E	$6.4 \times 10^6 \text{m}$
Gravitational constant	G	$6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$

```

\begin{center}

\begin{tabular}{c | c | c}

\hline

& symbol & value \\ \hline

Earth's mass &  $M_E$  &  $6.0 \times 10^{24} \text{kg}$  \\

Earth's radius &  $R_E$  &  $6.4 \times 10^6 \text{m}$  \\

Gravitational constant &  $G$  &  $6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$  \\

\hline

\end{tabular}

\end{center}

\end{table}

```

Table 1과 같은 표를 얻게 된다.

위와 같이 ‘`\rm`’ 을 사용하여 단위를 나타낼 수도 있지만, ‘`\SI`’ 와 ‘`\si`’ 명령어를 사용해도 편리하다. 간단한 사용법과 결과는 다음과 같다. `mathmode`(달러 안쪽) 에서도 사용이 가능하다.

```
$ G=\SI{6.67e-11}{\newton\square\meter\per\square\kilogram} $
```

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$$

원래는 ‘`\per`’을 사용하면 그 뒤의 차원들은 음수 차원으로 나타내어지고 보통 우리가 말하는 ‘`per`’ 은 나타나지 않는데, 위와 같이 사용하려면 다음 명령어를 ‘`\begin{document}`’ 이전에 삽입하면 된다. 이 보고서 양식에서는 이미 `cls` 파일에 지정되어 있다.

```
\sisetup{inter-unit-product =\cdot$}
```

VII. 결론

글이라는 것은 개인의 개성이 담겨 있기 때문에 모든 사람들이 동일한 방식으로 표현하는 것은 아니다. 그러나 고대로부터 개인의 연구 내용을 글로써 타인에게 전달할 때, 효율적인 방법이라고 공감대를 형성하며 다듬어져 온 것이 지금의 논문 형태이다. 그러므로 처음 논문을 작성하는 학생들은 이 문서에서 지시하는 논문 작성 방식을 따르는 것을 권한다. 하지만 여기서는 다양한 논문들에 대해 일일이 사례를 들어 올바른 논문 작성법을 설명하기에는 한계가 있기에 간략하게만 소개를 했다. 여기서 설명되지 않은 부분들은 다른 사람들의 논문을 참고하자. 이미 서론을 작성하면서 많은 선행 연구 논문들을 읽어 봤을 것이다. 그 논문들에서는 데이터를 어떤 방식으로 표현하는지, 서론은 어떤 흐름으로 구성하는지 등을 살펴보자. 논문을 잘 쓰는 비결의 첫 번째는 논문을 많이 읽어 보는 것이다.

VIII. 여담

(당신이 v1.1 이상의 gshs-report.cls 를 사용하고 있다면 이 글을 읽을 필요는 없다.)

보통 우리가 tex으로 보고서를 사용할 때에는(경기과학고 텍사용자 협회 내에서는) section-subsection-subsubsection 체제를 사용하며, 책(book 클래스 사용)을 집필하는 것이 아니라면 chapter 를 쓸 일이 없다. 이것은 보통 우리가 report 클래스를 사용하기 때문일 것이다. 그에 반해, v0.12 이전의 gshs-report.cls 에서는 표 2와 같이 한 칸씩 앞당겨 사용하도록 설정되어 있어 여러 문제점들을 불러왔다.

Table 2. 보통의 tex 문서 명령어와 gshs-report.cls을 사용하는 문서의 명령어 대응관계.

보통의 tex 문서에서의 명령어	gshs-report.cls 문서에서의 명령어
<code>\section</code>	<code>\chapter</code>
<code>\subsection</code>	<code>\section</code>
<code>\subsubsection</code>	<code>\subsection</code>
<code>\paragraph</code>	<code>\subsubsection</code>
<code>\subparagraph</code>	<code>\paragraph</code>

8.1 이러한 설정이 갖는 문제점들

이로부터 발생하는 문제점들은 다음과 같다.

- 처음 L^AT_EX을 사용하는 사람의 경우 혼동을 유발함
- chapter가 새로 넘어갈 때마다 그림/표의 numbering이 초기화됨
이것은 `\usepackage{chngcntr}, \counterwithout{figure}{chapter}` 을 통해 임시로 해결되었었다.
- Theorem numbering이 이상하게 됨.(1.0.1, 1.0.2, ...)
<https://github.com/gshslatexintro/gshslatexintro/issues/7> 참조.
- 보고서 tex 파일을 다른 곳에 사용해야 할 경우 호환성이 떨어진다. (ex. 휴먼테크논문대회 양식, 우수R&E 공동발표회 양식) 즉, chapter를 section으로, section을 subsection으로, subsection을 subsubsection으로 각각 바꾸어 주어야 한다. 물론 이는 Ctrl+H를 통해 쉽게 할 수 있지만... 번거로우니까.

8.2 왜 이런 설정을 하셨을까?

가능한 이유들은 다음과 같다.

- 아마도 만드신 선생님께서 새로운 장(보통의 section)을 시작할 때마다 페이지 넘김을 하기 위해서 자동으로 페이지 넘김이 되는 chapter를 section에 대응시키고, 순차적으로 한칸씩 앞당겨 대응시킨 것 같다.
- 기존의 report 클래스가 chapter-section-subsection-subsubsection 체제를 사용하기 때문

8.3 v1.1 이후로는 제대로 된다.

Theorem labeling이 이상하게 되던 문제:

정의 1. *Lorem Ipsum*

section 이 넘어가도 definition counter는 잘 유지된다. 정의 2를 참조바람.

IX. Test Section

Title : LARGE, Bold face

9.1 Test Subsection

Title : Large, Bold face

정의 2. *Content.*

‘정의’ 명령어의 번호 매기기가 잘 수행된다. 정의 2와 같이.

9.1.1 Test Subsubsection

Title : large, Bold face

앞서 언급하였듯이 subsubsection, paragraph 와 같은 하위 절은 사용을 자제하는 것이 좋다.

Test Paragraph

Title : 12pt, italic style. No numbering.

References

- [1] 한인구, & 김형국 (2009). 자동 개인 사진 분류장치. *정보 및 제어 논문집*, 105–106.