

# LabView를 이용한 자동유량제어 시스템의 개발

강태원<sup>†</sup>·김두섭·안승규  
국립 공주대학교 화학공학부

## Development of automatic flow control system based on LabView

Kang, Tae-Won<sup>†</sup>·Kim, Du-Seob·Ann, Sung-Gyu  
Department of Chemical Engineering, Kongju National University

### ABSTRACT

A flow control system was designed and fabricated to control the flow rate of liquid through the pipe. This control system was composed of hardwares and software, hardwares as controller, gate valve, orifice meter and data acquisition board and software as National instruments Labview program. Control of flow rate was executed by adjusting the pneumatic valve located at the center of pipe line based on the control signal generated by LabView PID control algorithm, which converts analog signal measured by pressure difference of orifice to digital signal to adjust pneumatic valve. For the controller setup Ziegler-Nichols tuning technique was applied and control performances were investigated for not only the disturbance but also the set point changes. Developed system showed good control performances in flow control enough to use as teaching tool of feedback control theory and practice in university, and also as industrial application.

**Keywords:** Flow control system, PID control, LabView, Ziegler-Nichols, Control performance

## I. 서 론

급속히 발전하는 산업은 그 규모와 복잡성을 매우 증대시켰고, 이에 따른 효과적인 제어가 절실하게 되었다. 특히 화학공장에서는 최소의 경비를 들여 최대의 이윤과 함께 원하는 규격의 제품을 만들기 위하여, 모든 변수들을 효과적으로 제어하고자 하였다.[1]

제어를 필요로 하는 변수는 다양하게 존재하지만 특히 유량은 전체 공정운전 변수의 측정 중 60 ~ 70%를 차지할 정도로 제어에 대한 중요성이 매우 크다. 그러나 유체는 관로에서의 여러 가지 현상과 유체적인 특성 때문에, 계측 및 제어 시에 많은 인자를 고려하여야한다는 문제점을 가지고 있기 때문에 유량을 제어하는 방법은 현장에서 매우 중요한 요소이다.[2]

본 연구는 프로그램 언어의 일종인 Lab View 프로그램을 이용하여 소프트웨어와 하드웨어 사이의 이론적, 장치적 관계를 통해 최적으로 유량을 제어할 수 있는 장치를 구성하고자 하였으며, Ziegler-Nichols tuning method를 사용하여 비례제어

(Proportional control, P control), 비례-적분제어(Proportional-Integral control, PI control) 그리고 비례-적분-미분제어(Proportional-Integral-Derivative control, PID control)의 제어 매개변수인 비례상수, 적분시간상수, 미분시간상수가 제어현상에 미치는 영향을 관찰할 수 있도록 하였고 설정값의 변경은 물론 외란의 도입도 가능케 함으로써 2가지 경우에 대한 제어변수의 변화를 관찰하고 제어하는 시스템을 구축하고자 하였다. 구성된 제어 시스템을 학부생들의 실습에 사용함으로써 학생들이 유량제어의 원리 및 제어장치들의 작동원리를 이해하고 운전 기술을 익히는데 목적을 두었다. 본 연구에서 확립된 유량제어 시스템은 산업체에 적용함은 물론 공주대학교 화학공학부 학생들의 실험 공간에 설치하여 공정제어의 이론과 실습을 위한 도구로써 사용될 것이다.

## II. 유량제어시스템 구성 및 운전

### 1. 하드웨어구성

유량제어 시스템의 하드웨어 구성은 Fig. 1에서 보듯이 다음의 장치들로 구성된다.

Received December 1, 2015; Revised March 3, 2016

Accepted March 8, 2016

<sup>†</sup> Corresponding Author: twkang@kongju.ac.kr

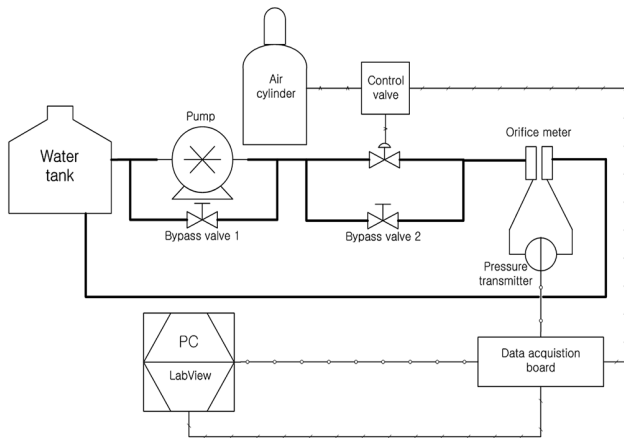


Fig. 1 Diagram of hardwares for flow control system

가. Pump

펌프는 (주)일로펌프에서 제작된 자흡식 펌프(self priming pump)인 PU-602M 제품이 사용되었다. 자흡식 펌프는 별도의 외부 장치 없이 흡입 배관을 통해 물을 끌어 올릴 수 있는 펌프로써 흡입관내의 공기를 펌핑을 통해 제거 할 수 있는 펌프의 일종이다. PU-602M가 공급할 수 있는 최대 양수량은 170 L/min이며 펌프가 빨아들일 수 있는 흡상높이는 8.5 m이며 펌프가 밀어내는 압상높이는 8 m이다. 펌프의 정격전압은 220 V를 사용하고 정격전류는 4.0 A이다. 유량을 공급하는 압력은 펌프 송출 부분의 유량계어 밸브, 바이패스밸브를 사용하여 압력을 조절하였다.

나. Valve

Fig. 2의 유량 제어 밸브는 에어 레귤레이터 역할을 하는 ControlAir사의 TYPE-300, (주)신우공업의 XE-151과 MSD-2로 구성되어 있다. 에어 필터 레귤레이터인 ControlAir사의 TYPE-300은 Air cylinder에서 받은 일정하지 않은 입구 압력(inlet pressure)을 일정한 출구압(outlet pressure)으로 유지 시켜주며 공기를 필터를 통해 공기를 정화시켜 주는 역할을 한다. 공기를 보내주는 다음 장치인 EX-151은 최대 허용압력이하로 일정한 압력을 유지시켜준다. TYPE-300의 최대 입구 허용 압력은 17 bar, 배출압력은 0~8 bar, 작동온도는 -17.8~76.7 °C 이다.

(주)신우공업의 XE-151은 LabView를 통해 받은 신호에 따라 TYPE-300에서 받은 공기의 압력을 통해 MSD-2의 밸브의 축을 이동시키는 역할을 한다. XE-151은 data acquisition board를 통한 입력전류를 4~20 mA 까지 받으며 TYPE-300 으로부터 1.4~7 bar까지 압력을 공급받을 수 있으며 최대 60 °C 까지 운영이 가능하다.

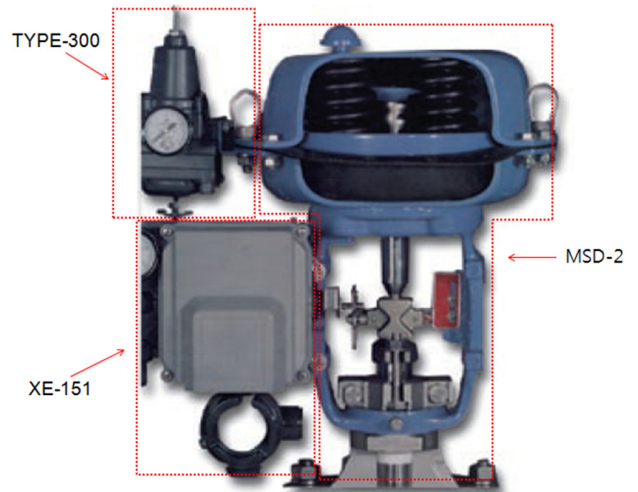


Fig. 2 The control valve for flow control

MSD-2는 공압식 밸브로써 다이어그램에 가해지는 압력과 밸브축의 변위는 비례하므로 유체가 지나는 밸브의 개도(開度)를 조작하는 밸브이다[3]. XE-151를 통해 받은 압력을 통하여 관을 지나는 유체의 양을 조절할 수 있다. 본 실험에서 MSD-2는 fail close(FC), 다른 말로 air to open 방식으로 설치되었으며 평소에는 밸브가 닫혀있으나 외부 신호가 들어오게 되면 밸브가 열리게 된다. 스톱크의 범위는 20 mm~130 mm 이며 0.2~1.0 bar의 압력 범위에서 밸브내의 스프링을 움직여 조작할 수 있다. 최대 허용 압력은 1.4 bar이고, -30~80 °C의 온도 범위에서 운영이 가능하다.

다. Orifice meter and Transmitter

유량을 측정하는 장치는 오리피스미터(orifice meter)와, pressure transmitter로 구분된다. 오리피스미터는 중앙에 원형구멍을 가진 얇은 판을 직관의 도중에 삽입된 유량측정기구이다. 유체가 얇은 판을 흐를 때 유속이 증가하여 압력이 저하되게 되는데 그 오리피스 판의 전·후의 압력차를 측정하여 유량을 구하게 된다. Pressure transmitter는 오리피스미터로부터의 압력신호를 컴퓨터를 위한 코드와 신호로 변환해주는 역할을 한다. 사용된 pressure transmitter는 Emerson사의 ROSEMOUNT 3051로 오리피스미터로 받은 압력신호를 4~20 mA의 전기적 신호로 바꾸어 주어 data acquisition board로 전달하여 준다.

라. Data acquisition board

Data acquisition board는 pressure transmitter로 부터 받은 전기신호를 실시간으로 전송하여주며 또한 컴퓨터에서 받은

신호를 다시 장치로 보내어주는 역할을 한다. Data acquisition board는 National instruments사의 cDAQ-9178제품으로서 입·출력에 사용될 Data acquisition card를 사용할 수 있는 슬롯의 개수는 8개이고 총 사용전력은 15 W이다. Data acquisition board로 부터 컴퓨터로 전달할 수 있는 전압의 범위는 9 ~ 30 V이며 운영시스템은 리얼타임이다. 본 실험에는 NI-9219, NI-9265의 두 가지 Data acquisition card를 사용하였다. NI9219는 장치에서 들어오는 신호를 컴퓨터로 전달하는 역할을 하는 카드로서 온도, 저항, 전압, 전류의 측정이 가능하며 4개의 채널수를 가지며 60 V의 전압까지 받을 수 있다. NI9265의 경우 컴퓨터에서 받은 신호를 장치로 전달하여주는 역할을 하는 카드로 4개의 채널수를 가지며 0 ~ 20 mA의 전류의 범위에서 XE-151로 전류를 보내 작동시킨다.

## 2. 소프트웨어구성

LabView는 National Instruments사에서 개발한 프로그래밍 언어로서 기존에 존재하던 텍스트 기반의 순차적인 프로그램과는 대조적으로 그래픽 기반의 비순차적인 프로그램이다. 이러한 LabView는 쉽게 말하면 가상의 장치(Virtual instrument, VI)라고 볼 수 있는데 크게 Front panel과 Block diagram으로 구별할 수 있다.

아래의 Fig. 3은 자동유량제어를 위한 시스템의 Front panel(automatic)의 모습이다. 그림의 우측 상단에는 manual, automatic, scale로 창이 나누어져 있다. manual 창은 마우스와 같은 입력장치를 이용하여 직접 밸브를 조정할 수 있도록 구성하였으며, automatic 창은 지정된 설정 값에 맞추어 비례상수, 적분시간상수, 미분시간상수에 따라서 자동으로 제어가 될 수 있도록 구성 하였다. scale 창은 밸브의 개폐 정도에 따라 흐르는 유량과 오리피스 미터에서 받는 전류의 관계를 나타내는 방정식의 기울기 a값과 y절편 b값을 나타내는데 사용하였다.

좌측의 상단과 하단에 보이는 2개의 그래프 중 상단의 경우는 시간에 따라 흐르고 있는 유량을 나타내며, 하단의 경우는 소프트웨어에서 하드웨어로 converter를 통해 시간에 따라 전달되는 전류의 양을 나타내는 것이다.

Font panel에서 확인 할 수 있는 정보들은 자동으로 저장되고 계산과 측정, 제어가 진행되는데 이를 위한 LabView 프로그램의 block diagram이 바로 Fig. 4이다. 좌측 상단부터 보게 되면 DAQ 어시스턴트는 하드웨어에서 데이터를 받아 input과 input 2로 들어가게 된다. 이 때 input 2는 전류를 input은 유량을 나타내는 것이며 밸브의 개폐 정도에 따라 흐르는 유량과 오리피스 미터에서 받는 전류로부터 구하여진 a값과 b값이

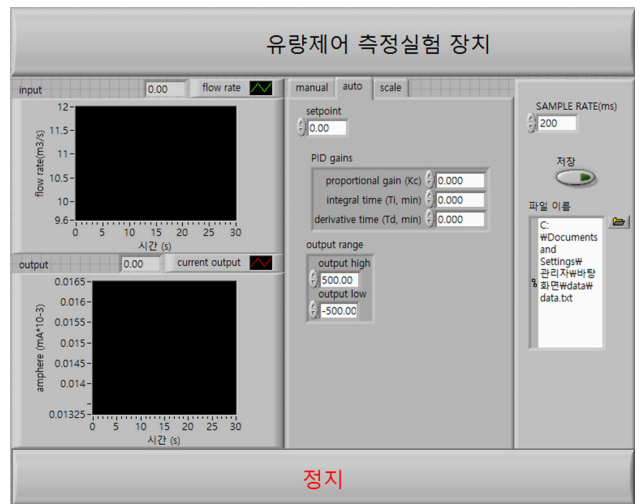


Fig. 3 Front panel on LabView for automatic control

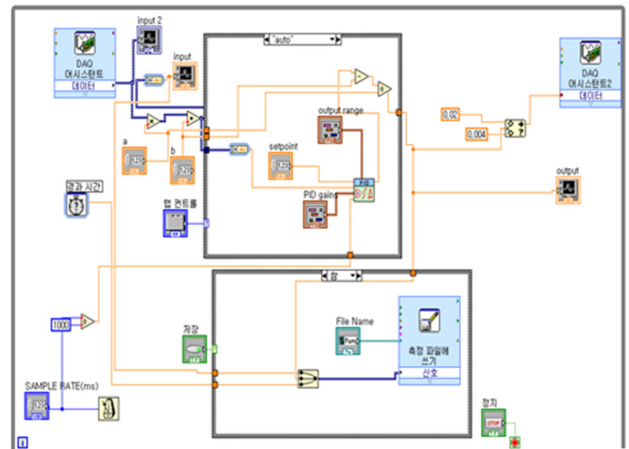


Fig 4. Block diagram of LabView program

연산되어 자동제어를 하게 되는 루프 속으로 유입된다. 이러한 루프 속에서 설정 값, PID 제어에 이용되는 변수(비례상수, 적분시간상수, 미분시간상수), 수식 구조, output range 등을 통하여 자동으로 제어에 필요한 값이 계산되며, converter를 통해 하드웨어로 전송되는 전류 output과 데이터들이 DAQ 어시스턴트 2로 들어간다. 그 외에 존재하는 것들은 시간 측정 및 데이터의 저장, 시스템의 정지 등을 의미한다.

## 3. 운전

- 1) Control valve의 좌우 valve와 bypass valve를 완전히 열어둔다.
- 2) 오리피스미터에 전원을 넣고, 차압 측정 라인의 bypass 밸브가 열려있는지 확인한다.

- 3) 펌프의 흡입, 토출 valve를 열고 bypass valve를 닫은 후 펌프에 전원을 넣는다.
- 4) 압축공기 실린더의 밸브를 열고 레귤레이터 출구 유량을 3.0 bar정도로 조절한다.
- 5) Control valve의 bypass valve를 조절하여 유량을 1 m<sup>3</sup>/hr에 맞춘다.
- 6) 컴퓨터의 LabView프로그램을 작동시킨다.
- 7) PID gains값인  $K_C$  값을 5,  $\tau_I$  값을 0,  $\tau_D$  값을 0으로 하고 set point를 1 m<sup>3</sup>/hr에 맞추어 준다.
- 8) Control valve의 bypass valve를 닫는다.
- 9) 먼저 비례제어동작만을 사용하여 닫혀진 피드백 루프에 set point 변화를 도입시키며, 계가 일정한 진폭을 유지하여 진동 할 때까지  $K_C$  값을 변화시킨다. 일정한 진폭으로 진동할 때의  $K_C$  값이 최종이득이며, 이때의 주파수가 교차주파수이다.
- 10) Ziegler-Nichols method를 이용하여  $K_C$ ,  $\tau_I$ ,  $\tau_D$  값을 조정하여 제어에 미치는 영향을 front panel 을 통해 관찰한다.
- 11) 실험이 종료된 후 control valve의 bypass valve를 열고 LabView 프로그램을 닫은 후 펌프를 끄고, 압축공기 공급밸브를 닫는다.

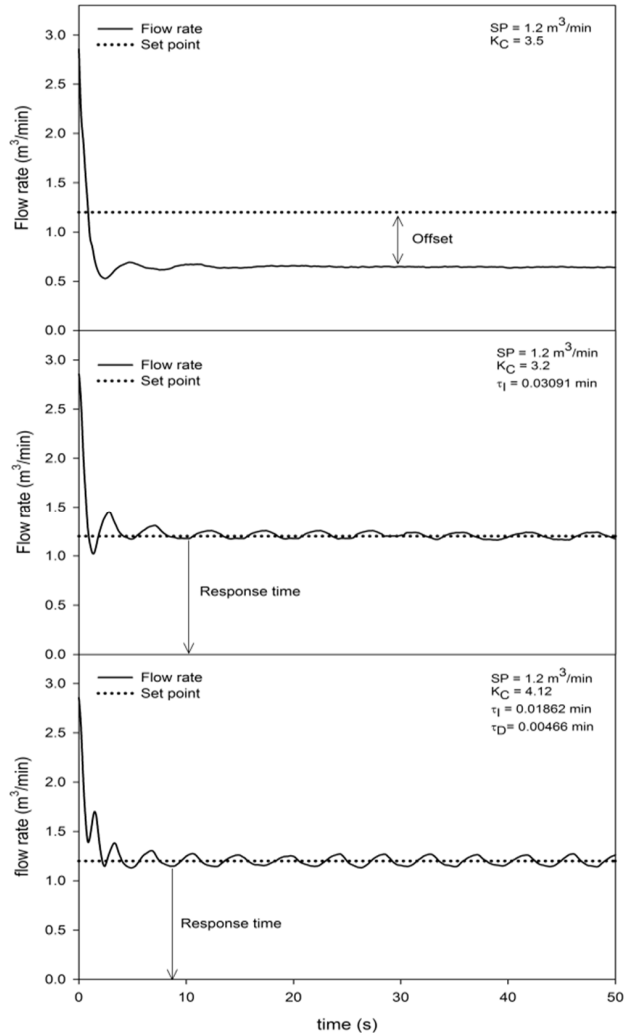
### III. 결과 및 토론

PID control에 사용되는 비례상수( $K_C$ ), 적분시간상수( $\tau_I$ ), 미분시간상수( $\tau_D$ )를 계산하기 위하여 비례상수를 점차 증가시키며 유량의 진동이 발산하지 않는 최대 비례상수인 최종이득과 그 때의 진동주기인 임계 진동주기를 통해 각각의 변수를 설정 하였고, 그 값은 아래 Table 1에 나타내었다.

Fig. 5는 P, PI, PID control의 운전 결과를 나타내었다. P control은 제어를 시작하였을 때 유량이 점점 적어지다가 한 값으로 수렴하는 것을 알 수 있었다. 하지만 set point와 output이 offset(잔류편차)을 보인다는 것을 알 수 있었다. PI control의 경우 offset이 제거되었음을 확인 할 수 있었으나 response time(응답시간)이 P control 보다 느린 것을 알 수 있었다.

**Table 1** Calculated constants with respect to Ziegler-Nichols tuning method .

Controller	$K_C$	$\tau_I$ (sec)	$\tau_D$ (sec)
P control	3.5000	-	-
PI control	3.1818	1.85	-
PID control	4.1176	1.12	0.28



**Fig. 5** Result of P, PI and PID control with respect to calculated parameters

미분시간상수,  $\tau_D$ , 를 포함한 PID control은 offset이 없는 응답을 보인 것은 물론 PI control 보다 약 14% 빠른 응답시간을 보였다.

Fig. 6은 set point 변화에 따른 PID control의 운전 결과이다. 그래프에서 보듯 set point 변화를 매우 잘 따라가고 있음을 알 수 있다. 또한 외란에 따른 PID control의 움직임을 다음 Fig. 7에 나타내었다. 외란은 bypass 밸브의 개폐정도를 이용하여 관내의 압력을 변화시켜 구현하였다. Set point를 고정시킨 상태에서 바이패스 밸브를 조정하여 관내의 압력을 0.15MPa 에서 0.1MPa(33% change)과 0.05MPa(66% change)로 변화 시켰을 때 일시적으로 set point를 벗어났으나 제어를 통해 다시 set point 값으로 회복됨을 확인할 수 있었다.

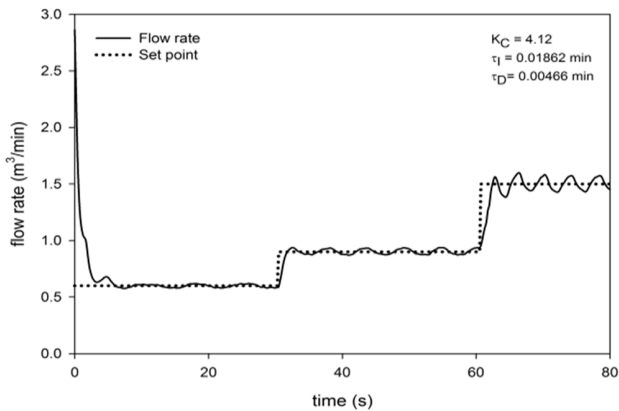


Fig. 6 Result of PID control with respect to set point changes

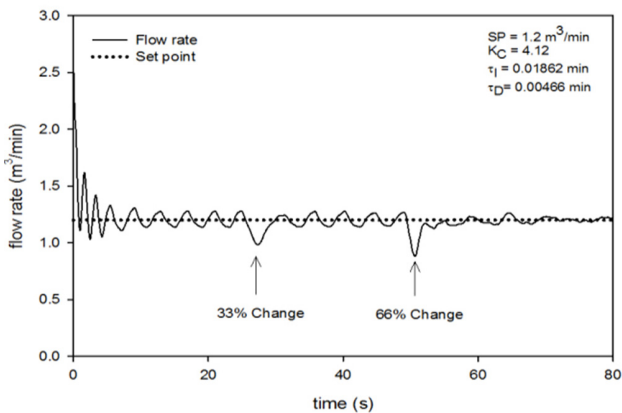


Fig. 7 Result of PID control when disturbances were introduced

그래프에서 유량이 set point 값으로 수렴한 이후에도 지속적인 진동을 볼 수 있는데 이는 펌프의 송출 압력이 일정하지 못한 것과 전기적인 노이즈 때문으로 생각된다.

#### IV. 결 론

하드웨어와 소프트웨어를 조합하여 유량을 자동 조절하는 시스템을 구성하였다. 구성된 시스템의 제어 성능 평가를 위하여 set point 값과 외란을 변화시키며 제어 변수 변화에 따른

응답을 살펴 본 결과 2 가지 경우에 대하여 모두 우수한 제어 성능을 보였다. 본 연구를 통하여 개발된 LabView 프로그램을 이용한 자동유량제어 시스템은 실제 공정에 적용될 수 있을 뿐만 아니라 대학에서 공정제어의 이론과 실습을 익히는 유용한 학습도구로 사용될 수 있을 것이라고 생각된다.

이 논문은 2014년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

#### 참고문헌

1. George stephanopoulos(1986). *Chemical Process Control. An Introduction to theory and practice* 1st edition.
2. 김동화·조일인(1997). 유량제어계통에 대한 지능형 제어 알고리즘 적용연구. 제어로봇시스템학회 국내학술대회 논문집, 2: 1792-1795
3. 정찬세·양순용(2013). 다이어프램형 밸브의 유량특성과 동적 성능에 관한 연구. 유공압건설기계학회지, 10(3): 27-33



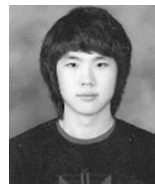
**강태원 (Kang, Tae-won)**

1982년: 한양대학교 학사  
1985년: 콜로라도 주립대학 석사  
1989년: 오클라호마 주립대학 박사  
E-mail: twkang@kongju.ac.kr



**김두섭 (Kim, Du-seob)**

2009년~현재: 공주대학교 화학공학부 재학  
관심분야: 공정제어, 공학인증  
E-mail: ikdu0526@naver.com



**안승규 (Ann, Sung-gyu)**

2010년~현재: 공주대학교 화학공학부 재학  
관심분야: 공정제어, 공학인증  
E-mail: tmdrb0415@naver.com