

기계공학기초실험2

유체공학실험1:

내부유동 유량측정(벤투리관 유동)



목차

1. 실험목적
2. 실험장치
3. 실험이론
 - 1) 베르누이방정식
 - 2) 연속방정식
 - 3) 유량측정과 유량계수
 - 4) 벤투리관 유동에 적용하기
4. 실험방법
5. 실험결과 및 고찰
6. 참고문헌
7. 보고서 작성방법
8. 기타 참고사항

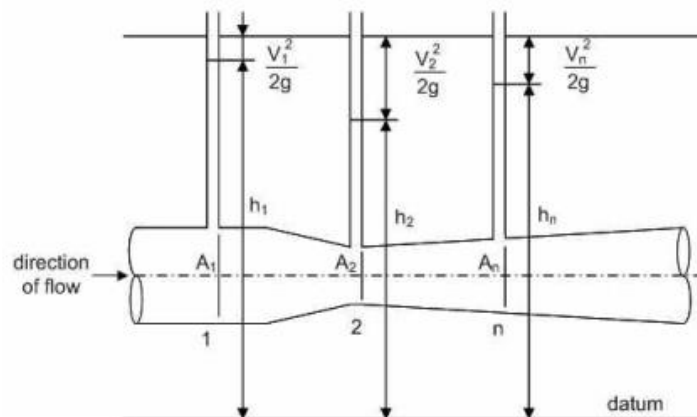
1. 실험 목적

- ❖ 유동이 벤투리관을 지날 때 그 내부에 설치한 액주계로 압력수두분포를 측정하여 벤투리관의 특성을 알아본다.
- ❖ 벤투리관을 통과하는 유량을 측정하여 이론값과 비교하고 벤투리관의 유량계수를 구한다.

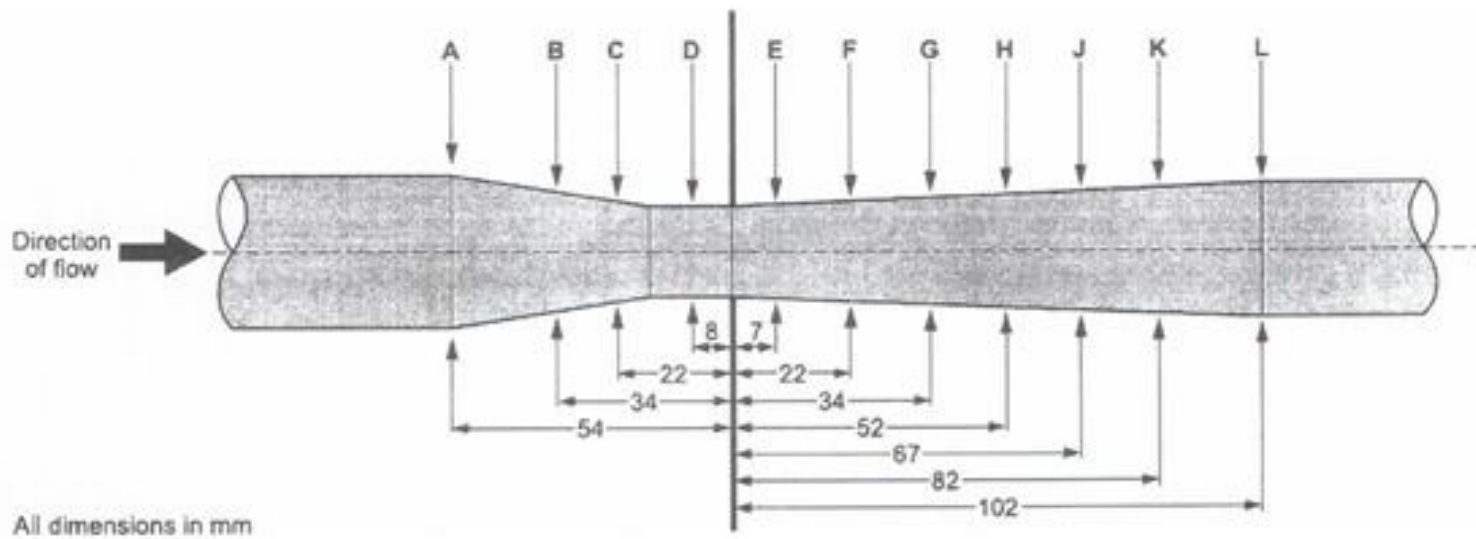
2. 실험 장치



실험장치 개략도



이상적인 조건에서의 벤투리관 유동

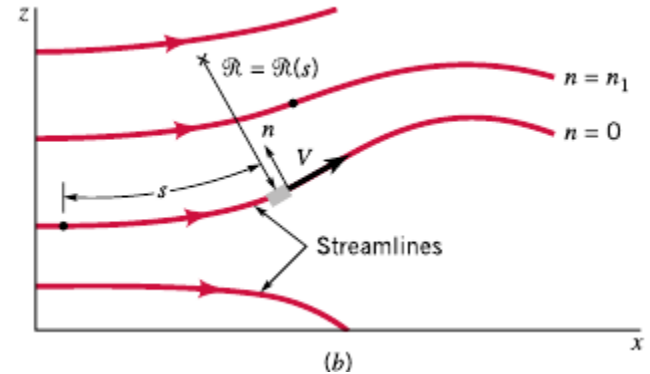


벤투리관의 치수와 액주계의 위치

3. 실험이론_1) 베르누이 방정식 (1)

❖ Newton의 운동 제2법칙:

- $\vec{F} = m\vec{a}$ 또는 $\vec{f} = \rho\vec{a}$ (단위체적당)
- $\vec{f} = \vec{f}_p + \vec{f}_g + \vec{f}_v$
- $\vec{f}_p = -\nabla p$ (압력힘의 방향은 압력이 감소하는 방향)
- $\vec{f}_g = -\gamma\vec{k} = -\gamma\nabla z$ ($\gamma = \rho g$, z 방향은 중력 반대방향)



❖ 유선:

- 전체 유동장에서 속도벡터에 접하는 선(접선방향이 속도와 평행한 선)
- 정상유동에서는 유적선과 일치하고, 시간에 따라 모양이 변하지 않음
- 유선좌표계: (s, n)
 - 유선방향 좌표 s 와 유선에 수직한 방향 좌표 n (곡률중심을 향해 n 이 증가)을 사용
 - $a_s = V \frac{\partial V}{\partial s} (= \frac{\partial V}{\partial s/V})$, $a_n = \frac{V^2}{R}$

❖ 비점성, 비압축성, 정상 유동의 경우

- $\vec{f}_v = \vec{0}$, $\vec{f}_g = -\nabla(\gamma z)$; $\vec{f}_p + \vec{f}_g = -\nabla(p + \gamma z)$
- $\vec{f}_p + \vec{f}_g = \rho\vec{a}$; $-\nabla(p + \gamma z) = \rho\vec{a}$
- s 방향: $-\frac{\partial}{\partial s}(p + \gamma z) = \rho V \frac{\partial V}{\partial s} = \frac{\partial}{\partial s}(\frac{\rho V^2}{2}) \rightarrow \frac{\partial}{\partial s}(p + \gamma z + \frac{\rho V^2}{2}) = 0$
- n 방향: $-\frac{\partial}{\partial n}(p + \gamma z) = \rho \frac{V^2}{R} = \frac{\partial}{\partial n}(\int \frac{\rho V^2}{R} dn) \rightarrow \frac{\partial}{\partial n}(p + \gamma z + \int \frac{\rho V^2}{R} dn) = 0$

3. 실험이론_1) 베르누이 방정식 (2)

❖ 베르누이 방정식 (BE): 비점성, 비압축성, 정상 유동에서

- $p + \gamma z + \frac{\rho V^2}{2} = \text{const}$ (유선을 따라서)
- $p + \gamma z + \int \frac{\rho V^2}{R} dn = \text{const}$ (유선에 수직인 방향으로)

❖ 유선방향 BE의 다른 형태 (수두로 표현)

- 비점성, 비압축성, 정상 유동에서
 - $\frac{p}{\gamma} + z + \frac{V^2}{2g} = \text{const}$ (유선을 따라서)
 - $\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$ (같은 유선 위의 두 점 1,2)

❖ 유선에 수직인 방향 BE의 적용

- 유선의 곡률반경 $R = \infty$ (유선이 직선)인 경우
 - $p + \gamma z = \text{const}$ (유선에 수직인 방향으로)
 - 유선에 수직인 방향으로 압력이 정수압 분포

❖ 정수압분포: 정지유체

- $\vec{f}_v = \vec{0}, \quad \vec{a} = \vec{0}; \quad \vec{f}_p + \vec{f}_g = -\nabla(p + \gamma z) = \vec{0}$
- $p + \gamma z = \text{const}$:
 - 수평방향으로 압력이 일정하고, 수직방향으로는 단위깊이당 γ 만큼 압력이 올라감

3. 실험이론_2) 연속방정식

❖ 질량보존법칙:

- 질량은 생성되거나 파괴되지 않는다.

❖ 검사체적 (cv)의 질량보존법칙 (보통 연속방정식이라고 함):

- $m_{in} = \Delta m_{cv} + m_{out}$

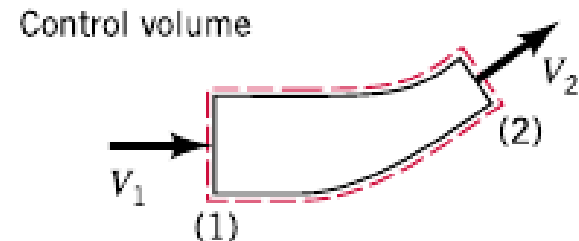
- $\dot{m}_{in} = \frac{dm_{cv}}{dt} + \dot{m}_{out}$ 또는 $\sum \rho_{in} V_{in} A_{in} = \frac{dm_{cv}}{dt} + \sum \rho_{out} V_{out} A_{out}$

- 정상유동인 경우: $\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out}$ 또는 $\sum \rho_{in} V_{in} A_{in} = \sum \rho_{out} V_{out} A_{out}$

- 단일흐름 정상유동: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$ 또는 $\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$

- 변형하지 않는 검사체적을 통과하는 (정상 및 비정상) 비압축성 유동:

- $Q_{in} = Q_{out}$ 또는 $\sum V_{in} A_{in} = \sum V_{out} A_{out}$



3. 실험이론_3) 유량측정과 유량계수

❖ 내부유동의 유량측정:

- 대표적인 유량계: 오리피스/노즐/벤투리 유량계

❖ 측정 원리

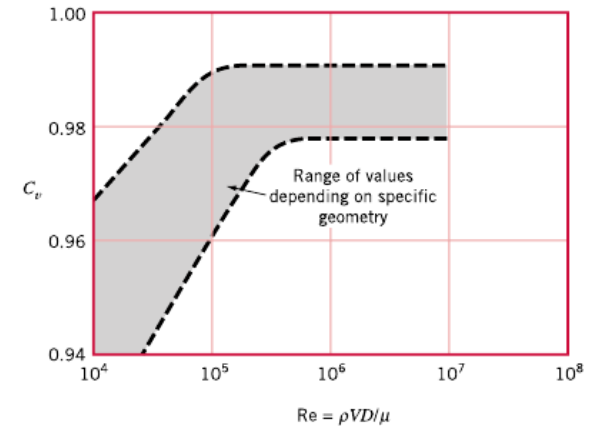
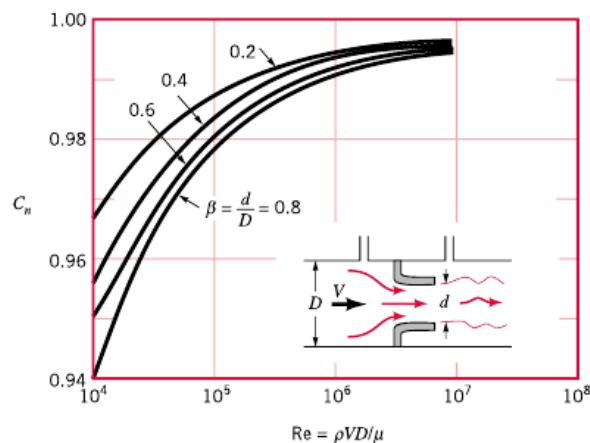
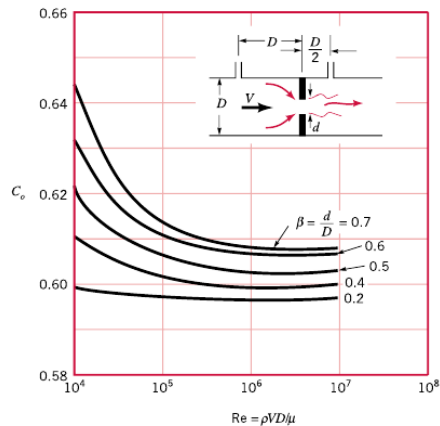
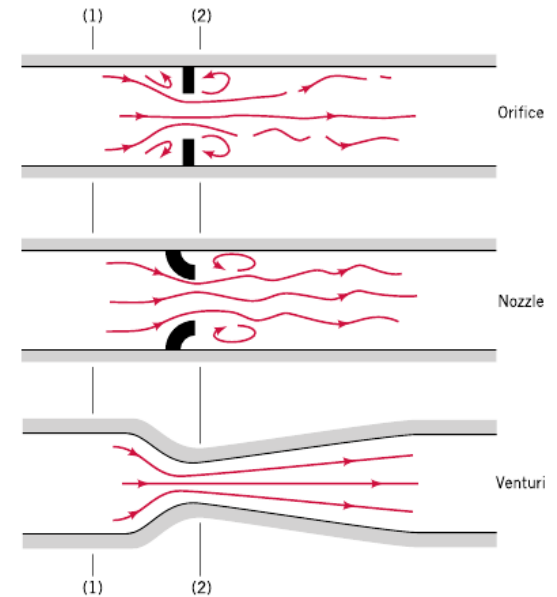
- 이상적인 경우의 유량(비점성, 비압축성, 정상 유동):

$$p_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho V_2^2}{2}, \quad A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q_{id}$$

$$Q_{id} = A_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)/\rho}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

❖ 유량계수:

- 실제유량과 이론유량의 비. $C_d = \frac{Q_{ac}}{Q_{id}}$
- 검정실험으로 유량계수가 정해지면 유량측정에 사용 가능



3. 실험이론_4) 벤투리관 유동에 적용하기

❖ BE와 액주계 압력식 (계기압력, 어떤 유선 상의 점 1, 2, n과 자유표면) 조합:

- $\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{p_n}{\gamma} + z_n + \frac{V_n^2}{2g}$
- $\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = 0 + h_1, \quad \frac{p_2}{\gamma} + z_2 = 0 + h_2, \quad \frac{p_n}{\gamma} + z_n = 0 + h_n$
- $h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = h_n + \frac{V_n^2}{2g}$

❖ CE: $A_1V_1 = A_2V_2 = A_nV_n = Q_{id}$

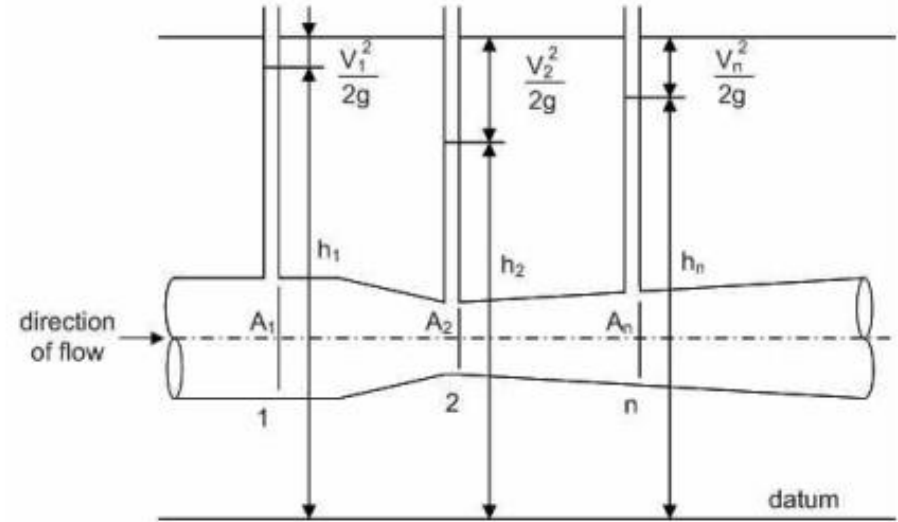
- 이론유량: $Q_{id} = A_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$

❖ 압력분포 (이상적인 압력수두분포, 1 지점 기준):

- $\frac{h_n - h_1}{V_2^2/2g} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \left(\frac{V_n}{V_2}\right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_2}{A_n}\right)^2$

❖ 실제유량과 유량계수:

- $Q_{ac} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$
- $C = \frac{Q_{ac}}{Q_{id}}$



4. 실험 방법

- 1) 액주계의 눈금을 수평으로 맞추고, 액주계 속에 기포가 없도록 한다.
- 2) 첫 번째 측정은 밸브를 조절하여 $(h_1 - h_2)$ 가 최고가 되게 하여 측정한다.
- 3) $(h_1 - h_2)$ 의 값을 줄여가면서 총 8회에 걸쳐 액주계의 높이와 유량(Δt 를 측정하여 $Q_{ac} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ 로 계산)을 측정한다. 액주계의 수위는 벤치밸브를 열면 올라가고, 제어밸브를 열면 내려간다.

5. 실험 결과 및 고찰_1

1) 이상적인 압력수두분포를 계산한다.

<표 1. 이상적인 압력수두분포>

액주계 번호	단면 지름 $d_n/[mm]$	$\frac{d_2}{d_n}$	$\left(\frac{A_2}{A_n}\right)^2$	$\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_2}{A_n}\right)^2$
A (1)	26.00	0.615	0.143	-0.0000
B	23.20	0.690	0.226	-0.0828
C	18.40	0.870	0.572	-0.4283
D (2)	16.00	1.000	1.000	-0.8566
E	16.80	0.952	0.823	-0.6793
F	18.47	0.866	0.563	-0.4197
G	20.16	0.794	0.397	-0.2533
H	21.84	0.733	0.288	-0.1446
J	23.53	0.680	0.214	-0.0704
K	25.24	0.634	0.161	-0.0181
L	26.00	0.615	0.143	-0.0000

5. 실험 결과 및 고찰_2

2) 유량을 측정하고 유량계수를 계산한다.

<표 2. 유량 및 유량계수>

횟수	$\frac{\Delta V}{[m^3]}$	$\frac{\Delta t}{[s]}$	$\frac{10^4 \times Q_{ac}}{[m^3/s]}$	$\frac{h_1}{[mm]}$	$\frac{h_2}{[mm]}$	$\frac{h_1 - h_2}{[m]}$	$\frac{10^4 \times Q_{id}}{[m^3/s]}$	C
1	0.015	28.14	5.33	370	36	0.334	5.56	0.959
2	0.015	28.86		360	56			
3	0.015	30.61		352	84			
4	0.015	32.19	4.66	350	110	0.240	4.71	0.989
5	0.005	12.29		342	134			
6	0.005	13.46		338	164			
7	0.005	15.28		330	192			
8	0.005	18.91		322	234			

※참고: $\frac{Q_{id}}{[m^3/s]} = \frac{\pi}{4}(0.016)^2 \sqrt{\frac{2 \times 9.81}{1 - 0.143}} \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{[m]}} = (9.62 \times 10^{-4}) \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{[m]}}$

3) 표 2의 결과에서 Q_{ac} 의 변화에 따른 벤투리관의 유량계수 C 의 변화를 그래프로 나타내고 결과를 고찰한다. Q_{ac} 는 실험 순서와 상관없이 8 개를 값이 증가하는 순서로, **C 축의 범위는 0~1로** 하여 그린다. $C > 1$ 이면 측정 오류가 생긴 경우에 해당하므로 주의한다.

<그래프 1. 유량과 유량계수의 그래프. 수평축: $\frac{10^4 \times Q_{ac}}{[m^3/s]}$, 수직축: C >

5. 실험 결과 및 고찰_3

4) 표 2의 1회 및 4회 유량에 대하여 액주계 수두 h_n 을 측정하고, $\frac{h_n - h_1}{V_2^2/2g}$ 값을 계산한다.

<표 3. 측정된 압력수두분포>

액주계 번호	$Q_{ac} = Q_{ac,1} = 0.000533 \text{ m}^3/\text{s}$			$Q_{ac} = Q_{ac,4} = 0.000466 \text{ m}^3/\text{s}$		
	$\frac{h_n}{[mm]}$	$\frac{h_n - h_1}{[mm]}$	$\frac{h_n - h_1}{V_2^2/2g}$	$\frac{h_n}{[mm]}$	$\frac{h_n - h_1}{[mm]}$	$\frac{h_n - h_1}{V_2^2/2g}$
A (1)	370	0	-0.000	350	0	-0.000
B	362	-8	-0.022	344	-6	-0.022
C	232	-138	-0.386	252	-98	-0.357
D (2)	36			110		
E	92			144		
F	180			210		
G	234			250		
H	270			276		
J	292			292		
K	306			304		
L	316			312		

※참고: $\frac{V_2}{[m/s]} = \frac{Q_{ac}}{[m^3/s]} / \frac{A_2}{[m^2]} = \frac{Q_{ac}}{[m^3/s]} / \frac{\pi d_2^2/4}{[m^2]} = \frac{Q_{ac}}{[m^3/s]} / \frac{\pi(0.016^2)}{4} \simeq 4974 \frac{Q_{ac}}{[m^3/s]}$

5) 벤투리관 내 위치의 함수로 이상적인 압력수두분포(표 1)와 측정된 압력수두분포(표 3의 두 개) 등 **충 세 데이터**를 **같은 그래프**에 나타내고 그 차이에 대하여 고찰한다.

<그래프 2. 위치에 따른 압력수두분포 비교. 수평축: 벤투리관 입구(축소시작점 1)로부터 거

리를 mm 로 나눈 값, 수직축: $\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 - \left(\frac{A_2}{A_n}\right)^2$ 와 $\frac{h_n - h_1}{V_2^2/2g}$ >

6. 참고문헌

- ❖ 기계공학실험, 제2판. 문운당, 2011.
- ❖ 쉽게 배우는 유체역학. 3,5,7,8장.

7. 보고서 작성방법

❖ 보고서에 포함할 내용

- 1) 실험 이론과 측정할 사항을 자기 관점에서 정리하여 기술하라(1쪽 이내).
- 2) 위에서 기술한 5의 내용을 포함하여 실험결과를 정리하고, 실험을 통하여 알게 된 것과 느낀 점, (오차의 원인 등) 문제점에 대하여 기술하라.
- 3) 검사체적에 대한 연속방정식 $\dot{m}_{in} = \frac{dm_{cv}}{dt} + \dot{m}_{out}$ 을 파이프 내 비압축성 유동에 적용하여 임의의 두 단면 1, 2에서의 평균속도 V_1, V_2 와 단면적 A_1, A_2 와 유량 Q 사이에 식 $A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q$ 이 성립함을 보이라(이 식은 비정상유동일 때도 성립하기 때문에 **정상유동이라는 가정을 사용하지 않는다**).

❖ 그래프는 Matlab 사용을 권장함

❖ 실험별 보고서는 12점 만점으로 평가에 반영함

❖ 총점은 보고서 12×6 + 출석 20 + 안전교육이수 8 = 100으로 평가함

8. 기타 참고사항

- 1) 이론 강의 내용을 토대로, 5에서 설명한 데이터와 양식(pdf 파일 참조)을 참조하여 실험보고서를 작성한다.
- 2) 보고서는 표, 그림, 그래프 이외는 모두 수기로 작성한다. 문서편집기로 작성한 경우 감점의 요인이 된다.
- 3) 보고서 표지에 실험 정보와 인적 사항을 적는다.
- 4) 데이터 및 실험보고서 관련하여 문의할 사항이 있으면 담당교수 메일(고형중, email : kohj@kumoh.ac.kr)이나 금오톡톡(학과 교수 검색)으로 연락한다.
- 5) 보고서 제출 기한 : 다음 실험의 이론 수업 시작 시간(100%)
- 6) 보고서 연장제출 기한 : 제출 기한 7일 후(80%)
- 7) 연장제출 기한 이후에는 보고서 제출이 불가능함