

항우기 과탐이 알려주는 열역학 공부 비결

- 열역학 학습법 -

항공우주 및 기계공학부 14학번 조○○

○ 과목 소개 및 에세이 작성 동기

열역학은 4대 역학 중 하나로 제일 중요한 과목 중 하나입니다. 저에게는 군대 전역 후 처음 공부했던 전공과목이라 기억에 남습니다. 그리고 중간고사 때 시험을 가장 못 봤던 과목이라서 중간고사 이후 남은 시험에서 정말 최선을 다했기 때문에 의미가 깊습니다.

○ 학습법 세부 내용

1. 개념 학습

1) 노트 연상 학습법

열역학은 암기할 개념과 공식이 굉장히 많기 때문에 공부할 때 나만의 노트를 만들어서 정리하는 것을 추천합니다. 노트를 정리하면서 배운 내용 중에서 뭐가 중요하고 중요하지 않은지 판단하면서 꼭 알아야할 내용들을 추릴 수 있습니다. 또한 수업 후 쉬는 시간이나 공강 시간을 통해 반복적으로 스스로에게 질문하는 복습법을 추천합니다.

Steady 과정의 open system 에서 에너지 보존법칙은?	$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum_{in} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum_{out} \dot{m} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)$
Unsteady 과정의 open system 에서 에너지 보존법칙은?	$\left(\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \sum_{in} \dot{m} h \right) - \left(\dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \sum_{out} \dot{m} h \right) = (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{system}$
Kelvin-Planck Statement를 그림과 함께 설명하시오.	<p>It is impossible for any device that operates on a cycle to receive heat from a single reservoir and produce a net amount of work.</p>

<나만의 개념 노트>

★ 나만의 개념노트 만들기

노트에 1/3정도 되는 지점에 줄을 긋고 중요한 공식과 그림들을 오른쪽에 정리 합니다. 왼쪽의 내용은 복습할 때 활용합니다. 왼쪽에는 오른쪽의 내용을 연상시킬 수 있는 질문을 적습

니다. 복습할 때 왼쪽만 보고 스스로 설명할 수 있도록 반복해서 공부합니다. 이렇게 해서 좋은 점은 대중교통을 이용할 때나 수업 후 시간이 잠깐 났을 때 왼쪽의 질문만 보고 간단하게 상기시키는 용도로 효율적으로 복습할 수 있다는 것입니다. 또한 막히는 부분은 체크해놓고 다음번에 볼 때 그 부분을 집중적으로 보완해낼 수 있습니다.

2) 꼭 내 손으로 증명 해볼 것

교수님께서 수업시간에 증명은 넘어가셨을 지라도, 수업시간에 배운 증명은 복습할 때 꼭 직접 증명해봐야 합니다. 일단 공학에서는 여러 가지 가정(Assumption)들을 통해서 문제를 쉽게 풀 수 있도록 근사화(Approximation)하는 과정이 필요합니다. 증명에는 굉장히 많은 가정들이 사용되기 때문에, 가정을 직접 적용해 볼 수 있는 좋은 연습이 됩니다. 예를 들어 Steady-state라는 가정을 통해 시간에 대한 항이 사라지고 변수가 하나 줄게 되는데 이 가정은 비선형에서 선형으로 만들어주는 아주 중요한 과정입니다. 이런 것들을 직접 생각해보면서 능력을 기르게 되면, 나중에 고학년이 돼서 설계프로젝트를 할 때, 중요하지 않은 것들을 가정을 통해 생략하며 문제를 단순화시킬 수 있고 설계프로젝트를 쉽게 이끌어 나갈 수 있도록 도와줄 것입니다.

Assumptions 1 This is a steady-flow process since there is no change with time at any point and thus $\Delta m_{cv} = 0$ and $\Delta E_{cv} = 0$. 2 Air is an ideal gas since it is at a high temperature and low pressure relative to its critical-point values. 3 The kinetic and potential energy changes are zero, $\Delta ke = \Delta pe = 0$.

<문제나 증명 앞에 주어진 가정>

3) 토론식 개념학습법

최종적으로 친구에게 설명해봅니다. 이 때 갖고 있던 지식이 명확해집니다. 특히 잘 모르겠거나 헷갈리는 내용은 친구와 토론해보면서 확실하게 정리하면 큰 도움이 될 것입니다. 내 머릿속에서 내용이 확고할 때 시험장에 가서도 나의 정확한 논리를 펼치며 자신 있게 문제를 풀어나갈 수 있습니다. 같이 듣는 친구가 없어서 의논하기 어렵다면 교수님을 찾아가시는 것을 추천합니다. 대부분의 항우기 교수님들이 질문을 잘 받아주시기 때문에 용기내서 내가 헷갈리는 부분은 교수님에게 직접 설명해보면서 더 명확한 지식을 얻을 수 있게 될 것입니다.

2. 문제 풀이

1) 예제 풀기

수업을 들은 Chapter의 예제들은 모두 풀어보는 것이 좋습니다. 책에 있는 풀이는 나의 풀이가 아니기 때문에, 내 머릿속에서 나온 풀이만이 기억에 오래 남고, 이렇게 쌓인 나만의 풀이는 시험장에서 처음 보는 문제를 만났을 때 풀 수 있는 힘이 됩니다. 그래서 문제를 보자마자 처음부터 책에 있는 풀이를 보는 것은 절대 추천하지 않습니다. 또한 문제가 어려우면 풀이를 보고 싶기 때문에, 포스트잇을 붙여서 문제를 가려놓고 풀어보는 방법을 추천합니다.

★ 나만의 풀이노트 만들기

과제, 그리고 내가 생각하는 중요한 문제의 풀이는 꼭 노트에 정리해 놓는 것을 추천합니다. 분명히 저번 주에는 솔루션의 도움 없이 스스로 문제를 풀 수 있었는데, 일주일만 지나면

도대체 어떻게 그때 풀었는지 생각이 안날 때가 있습니다. 이럴 경우를 대비해 풀고 나서 풀이를 꼭 기록을 남겨놓고 다음에 문제를 풀 때 솔루션 대신 참고하면 도움이 됩니다. 또한, 시험 직전에도 풀이를 꼭 훑어보면서 기억을 되살릴 수 있어서 좋습니다.

개념정리 노트법과 마찬가지로 노트의 1/3정도 지점에 줄을 긋고 오른쪽에 풀이를 정리합니다. 왼쪽에는 이번에 문제를 풀면서 막혔던 곳, 무엇을 몰라서 못 풀었는지 등을 적습니다. 그래서 다음번에 문제를 풀 때도 이 부분에서 막힌다면, 이 부분을 집중적으로 학습하고, 시험 직전에 복습할 때는 내가 취약한 부분이 어딘지 의식하면서 실수를 예방할 수 있습니다.

문제 9-34

Mass balance 방정식(노란색 밑줄)이 생각이 안나서 문제를 못품!

Mass balance: $\dot{m}_in - \dot{m}_out = \frac{dm_{system}}{dt} \xrightarrow{0 \text{ (steady)}} = 0$
 $\dot{m}_in = \dot{m}_out \rightarrow \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$

Energy balance: $\dot{E}_in - \dot{E}_out = \frac{dE_{system}}{dt} \xrightarrow{0 \text{ (steady)}} = 0$
Rate of net energy transfer by heat, work, and mass
Rate of change in internal, kinetic, potential, etc., energies
 $\dot{E}_in = \dot{E}_out$

$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$ (since $\dot{Q} \approx 0, \dot{W} = 0, ke \approx pc \approx 0$)

Combining the mass and energy balances,
 $\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$

Dividing this equation by \dot{m}_2 yields
 $y h_1 + h_2 = (y + 1) h_3$

<나만의 풀이노트>

2) 연습문제 풀기

- 무엇이 필요한지 파악하기

Chapter 뒤에 나와 있는 연습문제를 푸는 것은 정말 중요합니다. 배운 개념을 적용시켜서 문제를 풀어보는 것은 추상적으로 머릿속에 있던 개념이 어떤 방식으로 쓰이는지 깨닫게 해줍니다. 특히 중요한 것은 지배방정식과 이 지배방정식을 풀기 위해 어떤 수치들이 필요한지 파악하는 것입니다. 먼저 머릿속에서 이를 알고 푸는 것과 모르고 푸는 것은 정말 큰 차이가 있습니다. 예를 들어, '이 문제에는 열린계에서의 열역학 제2법칙을 적용하고 최종 엔탈피를 구해야 하는구나. 그리고 이 엔탈피를 구하기 위해서 반응 전의 수증기의 온도와 압력을 가지고 Table을 보고 반응전 엔탈피가 필요하겠구나' 먼저 생각하는 것입니다.

- 한 문제를 풀더라도 제대로 풀자

다양한 문제를 푸는 것 보단 한 문제를 제대로 푸는 것을 추천합니다. 보통 교수님들이 과제로 주시는 문제 앞뒤로 2~3문제를 여러 번 풀어보는 것을 추천합니다. 저는 혼자 풀 수 있을 때 까지 최소 3번은 풀어야 한다고 생각합니다. 아마 풀어본 사람들은 아시겠지만 연습문제들이 처음부터 완벽하게 풀기가 어렵습니다. 그래서 최대한 풀려고 노력을 해보고, 그래도 안됐을 때 솔루션을 보는 것을 추천합니다. 그래야 다음번에 다시 문제를 풀 때, 그 때 고전했던 기억을 떠올리며 내 것으로 만들 수 있습니다.

- 그림이 있는 문제 + 글로만 이루어진 문제 모두 다 풀어보자

너무 그림이 있는 문제만 푸는 것은 지양합니다. 그림이 나와 있는 문제도 중요하지만, 열

역학은 글로만 나와 있는 문제를 읽고 스스로 도식적(schematic)으로 표현 할 수 능력을 요구합니다. 엄청나게 긴 문장을 간단하게 도식화해서 문제의 큰 흐름을 이해하고 여기에 필요한 지배방정식이 뭔지 판단하는 능력을 꼭 길러야합니다.

★ 만약에 시험 문제가 영어로 나오는 경우, 꼭 원서를 구하거나 원서 PDF를 구해서 아래에 있는 문제들처럼 영어로 된 문제로 연습하세요.

5-170 An adiabatic air compressor is to be powered by a direct-coupled adiabatic steam turbine that is also driving a generator. Steam enters the turbine at 12.5 MPa and 500°C at a rate of 25 kg/s and exits at 10 kPa and a quality of 0.92. Air enters the compressor at 98 kPa and 295 K at a rate of 10 kg/s and exits at 1 MPa and 620 K. Determine the net power delivered to the generator by the turbine.

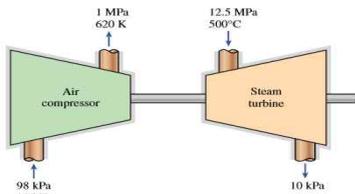


FIGURE P5-170

< 그림이 같이 있는 문제 >

5-173 Submarines change their depth by adding or removing air from rigid ballast tanks, thereby displacing seawater in the tanks. Consider a submarine that has a 700 m³ air-ballast tank originally partially filled with 100 m³ of air at 1500 kPa and 15°C. For the submarine to surface, air at 1500 kPa and 20°C is pumped into the ballast tank, until it is entirely filled with air. The tank is filled so quickly that the process is adiabatic and the seawater leaves the tank at 15°C. Determine the final temperature and mass of the air in the ballast tank.

< 글만 있는 문제 >

3. 기출문제 정복

1) 실제 시험 스타일 체험

교수님마다 다른 시험 스타일을 느껴보는 것은 매우 중요합니다. 미리 교수님의 문제 스타일을 파악하게 되면 시험장에 가서 생전 처음 보는 문제를 만나 당황하는 것을 방지할 수 있게 됩니다. 보통 교수님이 작년에 내셨던 기출문제를 올려주시는 경우도 있고, 아니면 학교 선배들에게 기출문제를 구할 수 있습니다.

2) 기출문제는 최소 일주일 전부터 풀어라

전날 기출문제를 달달 외우기보다는 최소 시험 일주일 전부터 여러 번 푸는 것이 좋습니다. 대부분 시험문제는 연습문제보다 훨씬 어려운 경우가 많기 때문에 처음엔 엄청 오래 걸리는 경우가 많습니다. 하지만 며칠 뒤 다시 풀게 되면 전보다 더 빨라진 문제풀이 속도를 느낄 것입니다. 시험을 위한 빠르고 정확한 문제풀이 연습은 시험장에 가서 문제를 검토할 시간을 더 많이 확보할 수 있을 것입니다.

4. 시험을 잘 보기 위해 꼭 해야 할 일

1) 내가 안다고 생각하는 것이 사실 틀릴 수도 있다

공부를 하다보면 나는 이렇게 이해했는데, 알고 보니 그게 아닌 경우가 종종 있습니다. 공부를 아무리 많이 했어도 시험에서 틀리는 경우는 보통 이 부분에서 나옵니다.

혼자 공부하게 되면 객관적으로 점검이 잘 안되기 때문에, 시험 직전에 기출문제를 풀거나 할 때 친구랑 같이 모여서 풀어보면서 많이 소통하면 내가 잘못 알고 있었던 부분을 깨닫게 될 것입니다.

2) TABLE 보는 연습하기

열역학 책 맨 뒤에 있는 TABLE보는 연습을 자주 해줘야 합니다. 연습문제 솔루션을 보면 보통 TABLE의 물성치가 나와 있는데, 뒤에 TABLE보기가 귀찮아서 그냥 이 값을 사용하지 말고 직접 TABLE을 펴서 값을 찾아서 문제에 대입해야 합니다. 이렇게 해야 시험장가서 당황하지 않고 빠르게 문제를 풀어서 시간을 절약할 수 있습니다. 제가 드리는 팁은 열역학 책 뒤에 있는 TABLE만 따로 떼놓는 것입니다. 이렇게 하면 문제풀이에 할 때 책의 맨 뒤를 왔다갔다 하는 번거로움도 없고 들고 다니기도 가벼워서 좋습니다.

3) 선형보간법

빠르게 계산할 수 있는 선형보간법을 익혀 놓으면 도움이 될 것입니다. 보통 문제에 주어진 온도나 압력은 TABLE에 없는 경우가 대부분이기 때문에 TABLE값의 선형보간법을 통해 물성치를 찾게 됩니다.

TABLE A-6				
Superheated water				
T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg·K
P = 0.01 MPa (45.81°C)*				
Sat.	14.670	2437.2	2583.9	8.1488
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857

<열역학 책 TABLE>

<빠르게 계산할 수 있는 선형 보간법>

예를 들어, 180도의 포화온도(Sat.)에서의 포화증기(superheated vapor)의 엔탈피(h)를 구하고 싶다면, 150도와 200도의 값을 가지고 선형보간 해야 합니다. 150도에서 h=2783.0, 200도에서 h=2879.6이므로,

$$h_{@180^{\circ}\text{C}} = \frac{180 - 150}{200 - 150} \times (2879.6 - 2783.0) + 2783.0 \text{ 식으로}$$

나타낼 수 있습니다. 150도를 기준으로 생각한다면 하나의 식으로 180도의 h를 찾을 수 있습니다 비례식을 세워서 하는 것보다 이 방법을 이용하면 시간을 절약할 수 있습니다.

그리고 이 수업을 들으신다면, 이중보간법도 꼭 연습하세요. 저는 시험에 이중보간법이 나왔었는데 연습 부족으로 아쉽게 틀리고 말았습니다. 어렵지만 연습하신 다면 충분히 실력을 늘릴 수 있습니다.

○ 학습방법을 통한 능력향상 정도 또는 기타 영향

열역학 중간고사 때 평균 등수였지만 2차 시험 때는 3등, 마지막 기말고사 때는 2등을 할 수 있었습니다. 중간고사 보기 전에 나름 공부를 많이 했다고 생각했었는데, 중간고사가 너무 어려워서 스스로 공부법을 점검해봤습니다. 그 동안 연습문제 풀 때 이 지배방정식이 왜 쓰이는지는 생각하지 않고 솔루션대로만 풀다 보니 막상 시험에서 스스로 문제를 풀 수가 없었습니다. 처음부터 끝까지 혼자 문제를 풀 수 있는 능력을 길러야 한다는 것을 깨닫고 집중적으로 학습했던 결과가 결국 최종적으로 A+를 받을 수 있게 만든 것 같습니다.

이런 공부 방법은 열역학뿐만 아니라 이후의 모든 전공과목들을 공부하는데 도움을 주었습니다. 다른 전공과목에도 똑같이 적용했고, 이러한 공부법이 습관이 되다보니, 군 전역 후 계속해서 4.5학점을 유지할 수 있었습니다. 또한 이번에 카이스트 대학원 면접 때에도 교수님의 전공과목 관련 질문에 자신 있게 대답할 수 있었습니다.

○ 추천 이유 및 소감 등

위에 언급한 내용의 큰 틀은 사실 모든 항공우주 및 기계공학부의 전공과목을 공부할 때 가장 기본이 되는 근본적인 내용입니다. 개념을 내가 다른 사람한테 설명할 수 있을 때 까지 공부하고 문제를 혼자 풀 수 있는 능력을 갖는 것 두 가지를 목표로 공부하면 성적향상 뿐만 아니라 배운 내용을 내 것으로 만들 수 있을 것입니다. 대학교 와서 배우는 전공과목은 양도 너무 많고 어렵지만 포기하지 않고 공부했으면 좋겠습니다. 처음에는 정말 많이 틀리고 내가 풀 수 있는 문제가 없을 지도 모릅니다. 그럴 때 다시 한 번 내가 무엇을 몰라서 못 풀었는지 점검해보면서 다시 차근차근 해결해나가길 바랍니다. 이 과정을 통해 힘들지만 고집스럽게 혼자 문제를 풀었을 때 느끼는 성취감은 어렵기만 했던 공부에 재미를 느낄 수 도 있을 것입니다.