

2020년 고교교육 기여대학 지원사업

**2021학년도**  
**연세대학교 논술전형 모의논술**  
**출제의도 및 해설**  
**- 자연 계열 (화학) -**



**연세대학교 입학처**

2021학년도 연세대학교 논술전형 모의논술 문제,  
출제의도 및 해설의 저작권은 연세대학교에 있습니다.

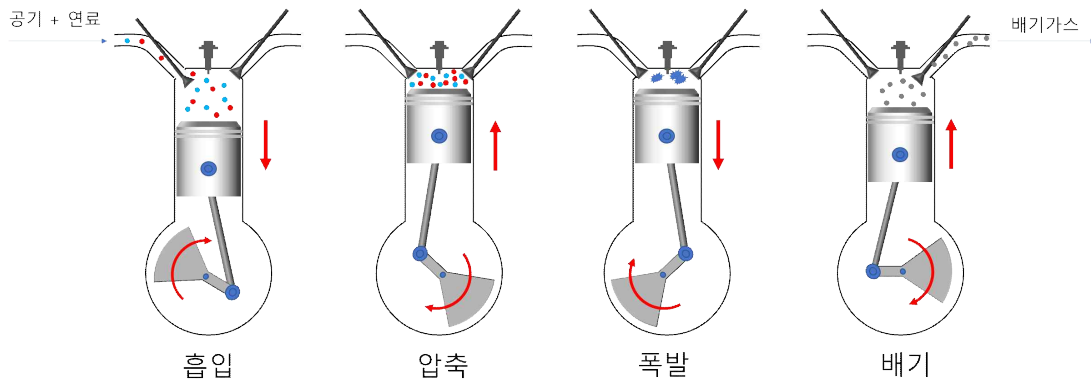
상업적인 사용을 금합니다.

# 2021학년도 연세대학교 논술전형 모의논술

## 자연계열 (화학) 문제

※다음 제시문을 읽고 아래 질문에 답하시오.

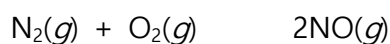
[가] 내연기관은 실린더 내에서 연료를 연소시키는 과정에서 얻는 에너지를 일로 변환하는 장치이다. [그림 1]은 자동차에 활용되는 내연기관의 구조와 구동 원리를 나타내고 있다. 이 내연기관의 구동 과정은 연료가 혼합된 공기를 실린더 안으로 주입하는 과정(흡입), 실린더 내에서 연료와 공기가 압축되는 과정(압축), 압축된 연료가 폭발되는 과정(폭발), 연소반응이 완료된 후에 기체가 배출되는 과정(배기)의 4단계로 구성되며 흡입-압축-폭발-배기의 과정을 순환하며 회전력을 얻게 된다.



[그림 1] 내연기관의 구조와 구동 원리

[나] 탄화수소 중 하나인 프로페인( $C_3H_8$ ) 가스를 연료로 사용하고 있는 내연기관이 있다. 이 내연기관에 주입되는 공기는 몰비 80%의 질소와 20%의 산소로 구성되어 있으며 프로페인과 공기는 300K에서 1:50의 몰비로 혼합되어 내연기관으로 공급된다. 내연기관의 열효율은 약 20% 정도로 1몰의 프로페인이 완전연소 되었을 때 2219.8 kJ의 열량이 발생하지만, 내연기관의 열효율을 고려할 때 약 444 kJ의 에너지만을 활용할 수 있게 된다.

[다] 내연기관의 실린더 내부는 연소과정에서 발생하는 열에 의해 뜨거워지며 2000K까지 온도가 상승하게 된다. 실린더 내에서는 프로페인의 연소반응뿐만 아니라 일산화질소(NO)가 형성되는 반응이 일어날 수 있으며 반응식은 다음과 같다.



NO를 생성하는 반응은 평형반응이며 평형상수  $K$ 는 300K에서  $1 \times 10^{-15}$ 이고, 2000K에서  $4 \times 10^{-6}$ 이다.

**[라]** NO는 대기 중의 산소와 반응하여 질소산화물을 형성하며 스모그를 일으키게 된다. 각종 유해물질이 포함된 스모그는 호흡기 질환을 일으키는 원인이 된다.

**[문제 1]** 제시문 **[가]**와 **[나]**를 참고하여 0.112 L의 프로페인 가스가 실린더 내로 흡입되고 완전 연소 되었다고 가정할 때, 프로페인의 연소반응에 대한 열화학 반응식을 완성하고 연소반응 후 배출되는 기체의 부피를 구하시오(단, 모든 기체에 대하여 이상기체로 흡입되는 기체의 온도는 300K이며 배출되는 기체는 2000K로 가정한다. 또한, 연소반응 후 실린더 내의 모든 기체는 완전히 배출되며, 흡입 또는 배출되는 기체의 압력은 1기압으로 가정한다). **[10점]**

**[문제 2]** 제시문 **[가]**, **[나]**, **[다]**를 참고하여 배출되는 기체 내에 포함된 NO의 농도를 질량기준 ppm 단위로 나타내시오(단, 내연기관 내에서의 압력의 변화는 무시하며 배출되는 기체의 온도는 2000K, 1기압으로 가정한다. O, N, C, H의 원자량은 각각 16, 14, 12, 1이다). **[10점]**

**[문제 3]** 제시문 **[다]**의 NO가 생성되는 반응에 대하여 온도에 따른 평형상수의 차이를 고려하여 반응 과정에서 일어나는 엔탈피 변화에 대해서 예측하고, 배출되는 기체가 대기 중으로 확산하였을 때 일어날 수 있는 변화를 화학평형의 관점에서 논하시오(단, 대기는 80%의 질소와 20%의 산소로 구성되어 있다고 가정한다). **[10점]**

**[문제 4]** 제시문 **[가]**, **[나]**, **[다]**, **[라]**를 참고하여, 내연기관이 가진 문제점에 대하여 환경의 관점에서 기술하고 친환경 에너지 관점에서 개선할 수 있는 방향에 대하여 논하시오. **[10점]**

# 2021학년도 연세대학교 논술전형 모의논술

## 자연계열 (화학) 출제의도 및 해설

### • 출제의도 •

고등학교 교과과정의 통합과학, 화학 I, 화학 II 전체 영역에서 문항을 출제하였으며 교육과정을 충실히 이행한 학생들이 좋은 점수를 받을 수 있도록 구성하였다. 구체적으로 화학 반응식과 양적 관계, 기체 법칙, 용액의 농도, 반응 엔탈피, 가역반응, 화학평형에서 나오는 원리를 바탕으로 출제하여, 제시된 조건을 정확히 이해하고 문제를 분석하고 귀납적으로 관찰 및 추론하여 창의적으로 문제를 해결할 수 있는 능력을 평가한다. 기초 개념의 정확한 이해를 바탕으로 주어진 문제를 학생들의 스스로의 힘으로 해결할 수 있는 지를 확인하는 문제를 출제하였다.

### • 문제 해설 •

[문제 1] 제시문 [가]와 [나]를 참고하여 0.112 L의 프로페인 가스가 실린더 내로 흡입되고 완전 연소 되었다고 가정할 때, 프로페인의 연소반응에 대한 열화학 반응식을 완성하고 연소반응 후 배출되는 기체의 부피를 구하시오(단, 모든 기체에 대하여 이상기체로 흡입되는 기체의 온도는 300K이며 배출되는 기체는 2000K로 가정한다. 또한, 연소반응 후 실린더 내의 모든 기체는 완전히 배출되며, 흡입 또는 배출되는 기체의 압력은 1기압으로 가정한다). [10점]

#### <출제의도>

화학반응식을 완성하고 이상기체임을 고려하여 반응 전후의 부피 변화를 알아내는 문제이다.

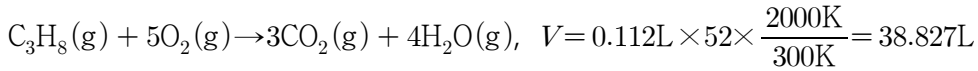
#### <채점기준>

제시문 [가]와 [나]를 참조하면 프로페인 연소의 열화학반응식은 다음과 같다. $\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 3\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ : 상태를 적지 않았을 때 -1점, 다른 부분점수는 없음	5점
흡입되는 프로페인 기체 0.112L에 해당하는 몰비는 공기 50과 프로페인 기체 1을 합한 51중 1로 $\frac{1}{51}$ 에 해당하며, 배출되는 기체의 전체 몰비는 반응한 프로페인 기체의 몰수만큼 증가하므로 $\frac{52}{51}$ 에 해당된다. 온도변화에 의한 부피변화를 고려해 배출가스의 부피를	5점

계산하면 아래와 같다.

$$V = 0.112\text{L} \times 52 \times \frac{2000\text{K}}{300\text{K}} = 38.827\text{L}$$

### <예시답안>



### <검토교사 의견>

제시문 [가]는 교육과정에서 다루고 있지 않은 개념이나 고교 교육과정을 이수한 학생이 해석하고 이해하기에는 무리가 없으며, 문제를 해결하기 위해서 압축 폭발 단계의 이해를 필요로 하지는 않는다. 내연기관과 기체의 압축, 폭발에서의 온도와 압력 변화 등에 관한 개념은 2009 물리Ⅱ 교육과정에서 다루고 있었으나 2015개정 과학과 교육과정에서는 다루지 않고 있다. 제시문[가]에서 압축과 폭발 과정이 문제 해결을 위한 정보 제공과 관련이 없다면 생략도 가능할 것 같다. 화학Ⅰ 단원에서 화학반응식을 나타내는 것을 배우므로 대부분의 학생이 화학반응식까지는 모두 기술할 수 있을 것으로 보인다. 하지만 배출가스의 부피는 남아있는 기체의 부피를 고려하지 않고 반응물 6몰이 생성물 7몰이 되는 반응으로 생각해 부피피를 단순  $\frac{7}{6}$ 로 계산하는 학생이 대다수일 것으로 예측된다.

[문제 1]은 화학Ⅰ의 화학 반응식과 화학Ⅱ의 기체 관련 법칙의 활용 여부를 묻는 문항으로 관련 성취기준은 아래와 같다.

[12화학Ⅰ01-04] 여러 가지 반응을 화학 반응식으로 나타내고 이를 이용해서 화학 반응에서의 양적 관계를 설명할 수 있다.

[12화학Ⅱ01-01] 기체의 온도, 압력, 부피, 몰수 사이의 관계를 설명할 수 있다.

출제의도, 채점기준, 예시답안은 모두 고등학교 교육과정을 준수하고 있으나 수학 능력 평가에서 보여지던 문항과는 상이한 면이 있다. 이에 기계적으로 문제 풀이에 익숙한 학생보다는 학교 교육과정을 충실히 이수하고 개념을 활용한 논리적 문제 해결력을 갖춘 학생은 답안을 작성하는데 어려움이 없을 것으로 보인다. 난이도는 '상'에 해당한다.

[문제 2] 제시문 [가], [나], [다]를 참고하여 배출되는 기체 내에 포함된 NO의 농도를 질량기준 ppm 단위로 나타내시오(단, 내연기관 내에서의 압력의 변화는 무시하며 배출되는 기체의 온도는 2000K, 1기압으로 가정한다. O, N, C, H의 원자량은 각각 16, 14, 12, 1이다). [10점]

**<출제의도>**

평형상수의 개념에 대해서 압력의 형태 나타낼 수 있고, 전체 압력은 부분압의 합으로 구성되며, 부분압력은 각 몰비로 표현을 할 수 있다. 또한, 질량 보존의 법칙을 이용하여 반응 전후의 질량이 변하지 않음을 이용하여 문제를 해결할 수 있다.

**<채점기준>**

<p>제시문 [다]에서 2000K에서 반응 <math>N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)</math>의 주어진 평형상수 <math>K</math>는 <math>4 \times 10^{-6}</math>이고, 이때의 NO의 몰비를 <math>x</math>라고 하면 평형상수 <math>K</math>는</p> $K = \frac{[P_{NO}]^2}{[P_{N_2}][P_{O_2}]} = \frac{\left(\frac{x}{V}\right)^2}{\frac{80}{V} \times \frac{20}{V}} = 4 \times 10^{-6}$ <p><math>\therefore x = 8 \times 10^{-2}</math></p>	5점
<p>질량 ppm농도 = <math>\frac{\text{용질의 질량}(g)}{\text{용액의 질량}(g)} \times 10^6</math></p> $= \frac{\text{배출되는 NO}(g)\text{의 질량비}}{\text{반응 전 용액의 질량비}} \times 10^6$ $= \frac{\text{배출되는 NO}(g)\text{의 질량비}}{N_2(g) + O_2(g) + C_3H_8(g)\text{의 질량비}} \times 10^6$ $= \frac{(80 \times 10^{-3}) \times 30}{80 \times 28 + 20 \times 32 + 2 \times 44} \times 10^6 \approx 809 \text{ ppm}$	5점

**<예시답안>**

$$K = \frac{[P_{NO}]^2}{[P_{N_2}][P_{O_2}]} = \frac{\left(\frac{x}{V}\right)^2}{\frac{80}{V} \times \frac{20}{V}} = 4 \times 10^{-6}, \therefore \text{몰비 } x = 80 \times 10^{-3},$$

$$\text{질량 ppm농도} = \frac{(80 \times 10^{-3}) \times 30}{80 \times 28 + 20 \times 32 + 2 \times 44} \times 10^6 \approx 809 \text{ ppm}$$

**<검토교사 의견>**

[문제 2]는 화학II에서 용액의 ppm농도와 화학 평형 단원에서 평형 상수를 이해하고 정량적으로 문제를 해결할 수 있는지를 묻는 문항으로 관련 성취기준은 아래와 같다.

[12화학 I 01-05] 용액의 농도를 몰 농도로 표현할 수 있다.

[12화학 II 02-03] 가역 반응에서 동적 평형을 이해하고, 평형 상수를 이용해서 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.

화학II 교육과정에서 혼합 기체 중 각각의 기체가 차지하는 부피는 같다고 배우고 있다. 질량 ppm농도 계산은 농도의 개념을 정확하게 숙지하고 평형상수 개념을 활용해 NO의 몰 농도를 계산할 수 있어야 하는데 이러한 일련의 과정이 쉽지 않기 때문에 정답률이 낮을 것으로 예상된다. 출제의도, 채점기준, 예시답안은 모두 고등학교 교육과정을 준수하고 있으며, 화학 평형

개념과 ppm개념을 단계적으로 문항에 적용하면 충분히 해결할 수 있을 것으로 보인다. 난이도는 '상'에 해당한다.

[문제 3] 제시문 [다]의 NO가 생성되는 반응에 대하여 온도에 따른 평형상수의 차이를 고려하여 반응 과정에서 일어나는 엔탈피 변화에 대해서 예측하고, 배출되는 기체가 대기중으로 확산하였을 때 일어날 수 있는 변화를 화학평형의 관점에서 논하시오(단, 대기는 80%의 질소와 20%의 산소로 구성되어 있다고 가정한다). [10점]

**<출제의도>**

평형상수와 온도의 연관성에 대해서 알고 있으며 엔탈피 변화와 흡열 및 발열반응을 연결 지을 수 있다. 또한, 르샤트리에 원리와 평형의 이동을 연관하여 설명할 수 있다.

**<채점기준>**

온도가 높아짐에 따라 평형상수는 300K에서 $1 \times 10^{-15}$ 이고, 2000K에서 $4 \times 10^{-6}$ 로 증가하므로 엔탈피 변화( $\Delta H$ )는 양수, 즉 흡열반응이다.	5점
배출되는 기체가 대기중으로 확산하면 대기 중의 산소가 많아지므로 르샤트리에 법칙이 작용하여 산소를 없애는 방향인 정반응 방향으로 평형이 이동하여 NO 농도가 증가될 수 있다. 하지만 온도가 상온으로 급격히 감소하므로 흡열반응인 NO 생성반응의 역반응으로 반응이 진행하여 NO농도가 감소한다. : 온도와 산소의 영향을 모두 서술해야함.	5점

**<예시답안>**

엔탈피 변화( $\Delta H$ )는 양수, 즉 흡열반응, 르샤트리에 법칙으로 인하여 산소를 없애는 방향인 정반응쪽으로 평형이 이동하여 NO 농도가 더욱 증가한다. 하지만 온도의 감소로 인하여 발열반응인 역반응으로 평형이 이동하여 NO농도가 감소할 수 있다.

**<검토교사 의견>**

[문제 3]은 화학II 화학 평형 단원에서 농도와 온도 변화에 따른 평형 이동을 이해할 수 있는 지를 묻는 문항으로 관련 성취기준은 아래와 같다.

[12화학II02-03] 가역 반응에서 동적 평형을 이해하고, 평형 상수를 이용해서 반응의 진행 방향을 예측할 수 있다.

[12화학II02-04] 농도, 압력, 온도 변화에 따른 화학 평형의 이동을 관찰하고 르샤트리에 원리로 설명할 수 있다.

$N_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2NO(g)$  반응은 화학 평형 단원에서 자주 언급되는 반응이며, 제시문 [다]에 해당하는 모든 개념과 용어는 교육과정에 충분히 부합하는 내용으로 구성되어 있다. 출제의도,



채점기준, 예시답안은 모두 고등학교 교육과정을 준수하고 있다. [문제 3]은 농도와 온도 변화에 따른 평형 이동을 이해하고 이를 화학 반응에 적용할 수 있는 학생은 답안을 작성하는데 어려움이 없었을 것으로 보인다. 단, 대기에서의 확산에 따른 산소의 농도 증가는 화학 I에서 배운 기체의 확산과 화학 II에서 배운 농도 변화에 따른 평형 이동 개념을 융합하여 해결해야 하는 문항으로 다소 어려움이 있었을 것으로 짐작이 된다. 난이도는 '중상' 정도이다.

**[문제 4] 제시문 [가], [나], [다], [라]를 참고하여, 내연기관이 가진 문제점에 대하여 환경의 관점에서 기술하고 친환경 에너지 관점에서 개선할 수 있는 방향에 대하여 논하시오. [10점]**

**<출제의도>**

화석연료 기반의 내연기관이 가진 문제점에 대해서 파악하고 환경적인 관점에서 오염원이 없는 친환경적인 방법을 제시한다.

**<채점기준>**

<p>제시문 [나]에서는 내연기관의 에너지 효율이 20% 정도이고 이는 효율이 매우 낮다는 것을 의미한다. 따라서 나머지 에너지는 열로 전환되며 에너지원으로 활용할 수 없다. 환경적으로는 배출되는 열로 인한 도시의 열섬 현상등과 관련이 있을 수 있다. 또한, 배출기체에 포함되어 있는 이산화탄소는 지구 온난화를 증가시킬 수 있다.</p>	<p>5점</p>
<p>연료 효율이 높은 친환경에너지 등은 연료전지나 전기를 이용한 자동차 등이 있다. 연료전지나 전기를 이용한 자동차는 에너지 효율이 높고 부산물이 물이거나 없으므로 내연기관의 배출기체에 포함된 이산화탄소나 일산화질소가 포함되어 있지 않아 내연기관을 대체할 수 있는 친환경 에너지로 활용이 가능하다.</p>	<p>5점</p>

**<예시답안>**

에너지가 사용되는 과정에서 열이 발생하며, 특히 화석 연료의 사용 과정에서 버려지는 열에너지로 인해 열에너지 이용의 효율이 낮아진다. 친환경 에너지 중의 하나인 연료 전지는 화학 에너지를 전기 에너지로 전환하는 장치임을 알고 이로 인해 에너지 효율이 높다.

**<검토교사 의견>**

[문제 4]는 통합과학에서 에너지 전환과 보존, 열효율, 화학 II에서 연료 전지의 활용 등에 대해 묻는 문항으로 관련 성취기준은 아래와 같다.

[10통과08-04] 에너지가 사용되는 과정에서 열이 발생하며, 특히 화석 연료의 사용 과정에서 버려지는 열에너지로 인해 열에너지 이용의 효율이 낮아진다는 것을 알고, 이 효율을 높이는 것이 사회적으로 어떤 의미가 있는지를 설명할 수 있다.

[10통과09-05] 인류 문명의 지속 가능한 발전을 위한 신재생 에너지 기술 개발의 필요성과 파

력 발전, 조력 발전, 연료 전지 등을 정성적으로 이해하고, 에너지 문제를 해결하기 위한 현대 과학의 노력과 산물을 예시할 수 있다.

[12화학Ⅱ04-03] 수소 연료 전지가 활용되는 예를 조사하여 설명할 수 있다.

출제의도, 채점기준, 예시답안은 모두 고등학교 교육과정을 준수하고 있으며 난이도는 '중' 수준에 해당하는 문항이나 수학능력평가에서는 자주 언급되지 않은 개념이다. 이에 문제 풀이에만 익숙한 학생은 문항을 해결하는데 어려움이 있었을 것으로 예상되나 학교 교육과정을 충실히 이수하고 교과서를 통해 기본 학습을 충실히 한 학생은 어렵지 않게 답안을 작성할 수 있을 것으로 보인다.