

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3329)

Final Exam.

Hour: 2:00 ~ 4:00 pm

Date: 20 June 2002

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get just a point. Be careful with mathematics and units!

(15 pt) 1. Gasolines used for automotive fuels consist practically of a blending mixture of paraffins, olefins and aromatics in addition to a number of additives. Such blending compositions vary from company to company and with geographic location and season of year. Requirements of the unleaded gasoline fuel used for emissions certification in a country are specified below.

Item	Requirement
Octane, research (minimum)	93
Sensitivity (minimum)	7.5
Lead, organic (g/gal)	0.00–0.05
Distillation range	
Initial boiling pt.* (°F)	75–90*
10% point (°F)	120–135
50% point (°F)	200–230
90% point (°F)	300–325
End point (°F, max)	415
Sulfur (wt %, max)	0.01
Phosphorus (g/gal, max)	0.005
Reid vapor pressure (lb/in. ²)	8.7–9.2 ^{†,‡}
Hydrocarbon composition	
Olefins (% , max)	10
Aromatics (% , max)	35
Saturates	Remainder

* For testing at altitudes above 4000 ft the specified range is 75–105.

[†] For testing unrelated to evaporative emission control, the specified range is 8.0–9.2.

[‡] For testing at altitudes above 4000 ft the specified range is 7.9–9.2.

- (a) List at least four kinds of additives that are included in gasolines for a variety of specific purposes.
- (b) Explain why the contents for olefins and aromatics are regulated within 10 and 35 wt.%, respectively.
- (c) n-Octane is typically used to represent conventional gasolines, although many kinds of hydrocarbons and additives exist in them. Calculate an AFR value for gasoline, assuming its complete combustion and air consisting of 21% O₂ and 79% N₂.

(30 pt) 2. Answer the following questions.

- (a) Coal quality depends commonly on amounts of volatile organic matter, fixed-carbon existing as a benzenoid ring, oxygen, hydrogen and ash in the coal. Describe requirements that we name good quality coal.
- (b) Formulations of diesel fuels for typically light and heavy duty vehicles are closely related to emissions of air pollutants such as particulates, NO_x, CO and unburned and partially burned hydrocarbons. Describe a suitable formulation that can minimize their emissions to the atmosphere.
- (c) Bituminous coals contain larger amount of volatile organic materials compared to anthracite ones. Describe a coke-making process for removing the volatile matter in the bituminous coals.
- (d) Describe three distinctive mechanisms for NO formation during fuel combustion.
- (e) For premixed combustion systems, the major air pollutants to be essentially reduced using any ways are nitrogen oxides, carbon monoxide and unburned and partially-burned (oxygenated) hydrocarbons. What is the most frequently used technology for simultaneously removing all the pollutants from a SI engine? Explain why the emission of sulfur oxides from the engine is usually not of concern.

(13 pt) 3. There are combustion processes that produce predominantly thermal NO_x. Provide three kinds of variables that primarily affect the NO_x formation during combustion, and describe possible ways to significantly prevent its production in the processes, irrespective of combustion mode.

(42 pt) 4. A coal-fired power plant is burning a coal that has a chemical formula of CH_αN_βS_γO_δ based on a 1-mole C in it.

- (1) Write the combustion reaction of *one mole of the coal*, assuming lean combustion, no formation of thermal NO_x and the conversion of all the N and S atoms in the coal into the respective NO and SO₂ at a certain flame temperature. In doing this, use *x* and *y* as the respective oxygen coefficients for reactant and product streams
- (2) Express the dry and wet mole fractions for SO₂ and NO produced.

- (3) Obtain the ratio of the total number of moles in a wet mixture to those in a dry one.

$$(Ans.: 1 + \frac{\alpha}{4.762x - \frac{\alpha}{2} + \beta + \delta})$$

- (4) If the dry mole fraction of O₂ has been measured to be 12% and α , β , γ and δ are, respectively, 0.8083, 0.0013, 0.033 and 0.057, determine an x value as the oxygen coefficient for the reactant stream.

- (5) Determine numerical values for SO₂ and NO concentrations as a dry basis.

- (6) Calculate the theoretical and excess air amounts at the STP conditions.

(Hint: y is equal to zero when calculating a theoretical amount of air required for completely burning the one mole coal out.)

- (7) Considering your answer obtained at (f), whether this flue gas stream was diluted with air before reaching stack or not?

(This is just a bonus problem, thus you will get additionally 5 point if answered correctly.)

Good luck on all your works to answer the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3160)

Final Exam.

Hour: 11:00 ~ 1:00 pm

Date: 17 June 2003

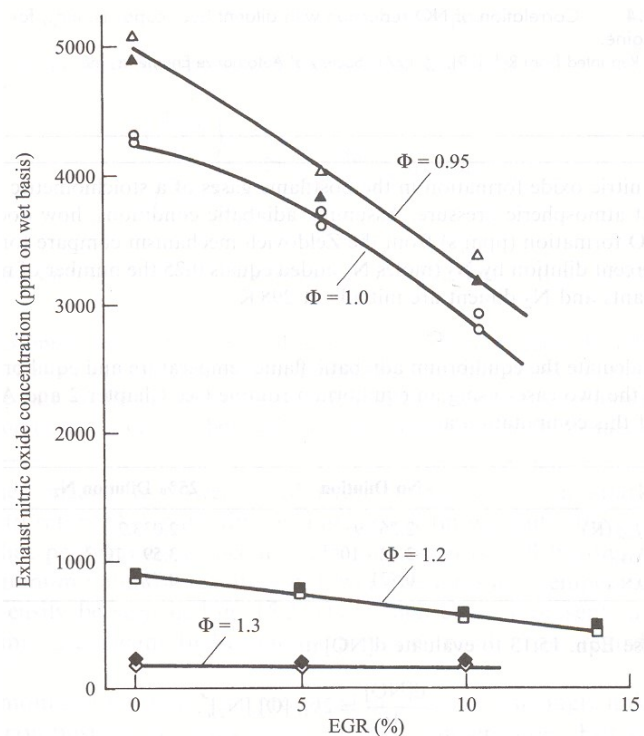
Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get just a point. Be careful with mathematics and units!

(20 pt) 1. 아래에 주어진 그림은 가솔린 엔진으로부터 배출되는 질소산화물 (Nitric Oxides, NO_x)의 생성을 억제하기 위한 하나의 방안으로 배기가스를 재순환하여 유입되는 연료나 공기와 혼합하는 배기가스 재순환 (Exhaust-Gas Recirculation, EGR) 기술의 효과를 등가비 (Equivalence Ratio, ER)의 함수로 보여주고 있다. 다음에 주어진 각 물음에 답하시오.



- (1) 가솔린 자동차의 연료를 성분분석으로 결정하였을 때, 그 연료의 조성은 C_7H_{13} 으로 가정할 수 있었다. 등가비가 0.95 인 경우에 과잉 산소가 공기와 함께 유입된 질소와 완전히 반응하여 NO 로 전환된다고 가정할 때, 그 NO 의 농도를 계산하시오.
- (2) 그림에서 알 수 있듯이, 등가비가 1.0 일 때, 배기가스를 순환시키지 않는 경우에 비하여 배기가스 중에 10%를 순환한다면 엔진 내에서 생성되는 NO_x 의 농도를 약 4,300 ppm 에서 2,800 ppm 이하로 저감시킬 수 있었는데, 그 이유를 간략히 서술하시오.

(30 pt) 2. 다음 각 항을 간략히 설명하거나 답을 쓰시오.

- (1) 삼원촉매전환장치 (Three-Way Catalytic Converter)의 역할
- (2) 고정원들에 대한 대기오염물질들의 배출허용기준에서 기준 산소농도를 정하는 이유
- (3) NO_x 배출 저감기술들 중에서 연소공정 개선의 예들 (5 가지 이상)

(10 pt) 3. 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 경유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

경유자동차연료 제조기준 (2002 년 1 월 1 일 부터)	
기준항목	
10% 잔류 탄소량 (%)	0.15
밀도 @ 15 °C (kg/m^3)	815 ~ 855
황 함량 (무게 %)	0.043
다고리 방향족 (부피 %)	
운활성 (μm)	

(1) 경유 제조기준으로 잔류탄소량을 명시하는 이유를 설명하시오.

(2) 위의 표에 주어진 2002 년 1 월 1 일부터 지금까지는 국내 경유 생산회사들이 0.043 %이하의 황함량을 갖는 경유를 제조 판매할 수 있었다. 그러나, 2003 년 6 월 26 일부터 시행될 개정 대기환경보전법에서는 0.0050 % 이하로 규정하고 있다. 이러한 기준을 만족시키기 위한 가장 효과적인 기술적 방법을 설명하시오.

(40 pt) 4. 국내의 어느 한 중유화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $CH_\alpha N_\beta S_\gamma O_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

(1) 이 중유의 연소반응식을 쓰시오. 여기서, x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소계수 (oxygen coefficient)로 사용하라. 단, 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다고 가정한다. 또한, 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다고 가정한다.

(2) 생성된 NO 와 SO_2 의 건조가스 물분율과 습윤가스 물분율을 각각 쓰시오.

(3) 습윤 배기가스의 총 물분율과 건조 배기가스의 총 물분율의 비를 얻으시오.

$$(Ans.: 1 + \frac{\alpha}{4.762x - \frac{\alpha}{2} + \beta + \delta})$$

(4) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 반응물에서의 산소계수인 x 값을 결정하시오.

(5) 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(6) 이론 공기량과 과잉 공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C 를 가정한다.

(7) (6)에서 얻어진 결과에 기초할 때, 이 발전소의 배기가스가 공기로 희석되었는지 여부를 결정하라.

(This is just a bonus problem, thus you will get additionally 5 point if answered correctly.)

Good luck on all your work to be answered to the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 2975)

Final Exam.

Hour: 1:00 ~ 3:00 pm

Date: 15 June 2004

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get even just a point. Be careful with mathematics and units!

(60 pt) 1. 국내의 어느 한 중유화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $\text{CH}_\alpha\text{N}_\beta\text{S}_\gamma\text{O}_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

- (1) 이 중유의 연소반응식을 쓰시오. 여기서, x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소계수 (oxygen coefficient)로 사용하라. 단, 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다고 가정한다. 또한, 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다고 가정한다.
- (2) 생성된 NO 와 SO_2 의 건조가스 물분율과 습윤가스 물분율을 각각 쓰시오. 다만, 열적 NO (thermal NO)는 고려하지 않는다.
- (3) 습윤 배기가스의 총 물분율과 건조 배기가스의 총 물분율의 비를 얻으시오.

$$(\text{Ans.: } 1 + \frac{\alpha}{4.762x - \frac{\alpha}{2} + \beta + \delta})$$

- (4) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, 0.8083, 0.0013, 0.033, 0.057 이라면, 반응물에서의 산소계수인 x 값을 결정하시오.
- (5) 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.
- (6) 이론 공기량과 과잉 공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C 를 가정한다.
- (7) (6)에서 얻어진 결과에 기초할 때, 이 발전소의 배기가스가 공기로 희석되었는지 여부를 결정하라.

(This is just a bonus problem, thus you will get additionally 10 point if answered correctly.)

(20 pt) 2. 2003 년 12 월 10 일 기준으로, 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목	적 용 기 간	
	2005 년 12 월 31 일까지	2006 년 1 월 1 일부터
방 향 족 화 합 물 함 량 (부피%)	35 (30) 이하	30 (27) 이하
벤 젠 함 량 (부피%)	1.5 이하	1.0 이하
납 함 량 (g/l)	0.013 이하	0.013 이하
인 함 량 (g/l)	0.0013 이하	0.0013 이하
산 소 함 량 (무게%)	1.0 이상 2.3 이하	1.0 이상 2.3 이하
올 레 핀 함 량 (부피%)	18 (23) 이하	18 (21) 이하
황 함 량 (ppm)	130 이하	50 이하
증 기 압 (kPa,37.8℃)	70 이하	65 이하
90% 유 출 온 도 (℃)	175 이하	175 이하

비고: 올레핀 (olefine)함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

- (1) 올레핀 함량이 높으면 연소효율이 증가함에도 불구하고 그 함량을 규제하는 이유를 간략히 기술하시오.
- (2) 방향족 화합물 함량을 2006 년 1 월 1 일부터 30% 이하로 규제하는 이유를 기술하시오.

(20 pt) 3. 2001 년 5 월 23 일 스톡홀름협약이 채택되어 2004 년 2 월 17 일 발효요건 (50 개 국가 이상이 비준서의향서 접수)을 충족하여 2004 년 5 월

17일부터 이 협약이 발효되었다. 우리나라는 2001년 10월 4일 이 협약에 서명하였으며, 현재 비준을 준비하고 있다. (미국, 중국, 러시아 등도 비준국은 아님) 이 협약의 목적은 잔류성 유기오염물질 (Persistent Organic Pollutants: POPs)의 생산, 사용 및 배출을 집중적으로 관리하고자 함에 있는데, 부속서 A에 9종, 부속서 B에 1종, 부속서 C에 4종 (부속서 A에 속한 HCB, PCBs를 포함하여 다이옥신류, 퓨란류)으로 총 12종의 유기오염물질을 그 대상으로 정하고 있다. 부속서 C에 속한 4종은 비의도적으로 생성 배출되는 경우를 말하는데, 그러한 배출공정의 대표적인 예를 하나만 들고, 그 배출저감 및 근절을 위한 적용기술 수준을 설명하시오.

Good luck on all your work to be answered to the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 2907)

Final Exam.

Hour: 1:00 ~ 3:00 pm

Date: 18 June 2005

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get even just a point. Be careful with mathematics and units!

(20 pt) 1. 다음 각 물음에 간략히 답하십시오.

- (1) 석탄의 재 용융온도가 가능한 높아야 하는 이유
- (2) 석탄의 품질을 결정하는 주요 기준들
- (3) 디젤연료에 분산제를 첨가하는 이유
- (4) 디젤 자동차 연료의 황 및 방향족 함량을 최대한 줄이는 이유

(50 pt) 2. 국내의 어느 한 중유화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $\text{CH}_\alpha\text{N}_\beta\text{S}_\gamma\text{O}_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 다음 각 물음에 답하십시오.

- (1) 이 중유의 연소반응식을 쓰시오. 여기서, x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수 (oxygen mole coefficient)로 사용하라. 단, 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다고 가정한다. 또한, 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다고 가정한다.

(힌트: 문제에서 주어진 바대로 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.)

(2) 생성된 NO 와 SO₂ 의 건조가스 물분율과 습윤가스 물분율을 각각 쓰시오.
다만, 열적 NO (thermal NO)는 고려하지 않는다.

(3) 습윤 배기가스의 총 물분율과 건조 배기가스의 총 물분율의 비를 얻으시오.

$$(Ans.: 1 + \frac{\alpha}{4.762x - \frac{\alpha}{2} + \beta + \delta})$$

(4) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 반응물에서의 산소계수인 x 값을 결정하시오.

(5) 건조가스 기준으로 SO₂ 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(30 pt) 3. 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목 \ 적 용 기 간	2005 년 12 월 31 일까지	2006 년 1 월 1 일부터
방 향 족 화 합 물 함 량 (부피%)	35 (30) 이하	30 (27) 이하
벤 젠 함 량 (부피%)	1.5 이하	1.0 이하
납 함 량 (g/l)	0.013 이하	0.013 이하
인 함 량 (g/l)	0.0013 이하	0.0013 이하
산 소 함 량 (무게%)	1.0 이상 2.3 이하	1.0 이상 2.3 이하
올 레 핀 함 량 (부피%)	18 (23) 이하	18 (21) 이하
황 함 량 (ppm)	130 이하	50 이하
증 기 압 (kPa, 37.8℃)	70 이하	65 이하
90% 유 출 온 도 (℃)	175 이하	175 이하

비고: 올레핀 (olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

(1) 휘발유의 황함량을 규제하는 이유 2 가지를 기술하시오.

(2) 2006 년부터 휘발유의 증기압 규제기준이 강화되는 이유를 기술하시오.

(3) 올레핀 함량을 18% 이하로 규제하는 이유를 설명하시오

Good luck on all your work to be answered to the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 2960)

Final Examination

Hour: 10:00 ~ 11:50 pm

Date: 15 June 2006

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get even just a point. Be careful with mathematics and units!

(30 pt) 1. 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목	품질기준
방 향 족 화 합 물 함 량 (부피%)	30 (27) 이하
벤 젠 함 량 (부피%)	1.0 이하
납 함 량 (g/l)	0.013 이하
인 함 량 (g/l)	0.0013 이하
산 소 함 량 (무게%)	0.5 이상 ~ 2.3 이하 (겨울용: 1.0 이상 ~ 2.3 이하)
올 레 핀 함 량 (부피%)	18 (21) 이하
황 함 량 (ppm)	50 이하
증 기 압 (kPa, 37.8℃)	65 이하
90% 유 출 온 도 (℃)	175 이하

비고: 올레핀 (olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

- (1) 휘발유의 황함량을 규제하는 이유 2 가지를 기술하시오.
- (2) 2006 년부터 휘발유의 증기압 규제기준이 강화되는 이유를 기술하시오.
- (3) 올레핀 함량을 18% 이하로 규제하는 이유를 설명하시오

(20 pt) 2. 다음 각 물음에 간략히 답하시오.

- (1) 어떤 대기오염물질 배출 정도를 배출지수로 표현할 때의 장점
- (2) 석탄의 등급을 좌우하는 3 가지 요소

(50 pt) 3. 국내의 어느 한 중유화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $\text{CH}_\alpha\text{N}_\beta\text{S}_\gamma\text{O}_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

- (1) 이 중유의 연소반응식을 쓰시오. 여기서, x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수 (oxygen mole coefficient)로 사용하라. 단, 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다고 가정한다. 또한, 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다고 가정한다.

(힌트: 문제에서 주어진 바대로 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.)

- (2) 생성된 NO 와 SO_2 의 건조가스 물분율과 습윤가스 물분율을 각각 쓰시오. 다만, 열적 NO (thermal NO)는 고려하지 않는다.
- (3) 습윤 배기가스의 총 물분율과 건조 배기가스의 총 물분율의 비를 얻으시오.

$$(Ans.: 1 + \frac{\frac{\alpha}{2}}{(4.762x - \frac{\alpha}{4} + \frac{\beta}{2} + \frac{\delta}{2})})$$

- (4) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 반응물에서의 산소계수인 x 값을 결정하시오.
- (5) 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

Good luck on all your work to be answered to the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 2959)

Final Examination

Hour: 2:00 ~ 3:50 pm

Date: 19 June 2007

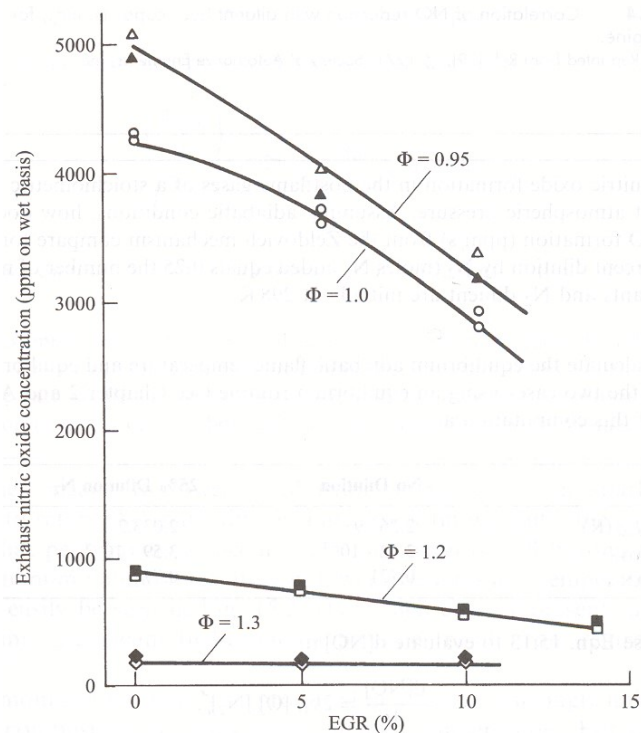
Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get even just a point. Be careful with mathematics and units!

(10 pt) 1. 아래에 주어진 그림은 가솔린 엔진으로부터 배출되는 질소산화물 (Nitric Oxides, NO_x)의 생성을 억제하기 위한 하나의 방안으로 배기가스를 재순환하여 유입되는 연료나 공기와 혼합하는 배기가스 재순환 (Exhaust-Gas Recirculation, EGR) 기술의 효과를 등가비 (Equivalence Ratio, ER)의 함수로 보여주고 있다. 다음에 주어진 각 물음에 답하시오.



그림에서 알 수 있듯이, 등가비가 1.0 일 때, 배기가스를 순환시키지 않는 경우에 비하여 배기가스 중에 10%를 순환한다면 엔진 내에서 생성되는 NO_x 의 농도를 약 4,300 ppm 에서 2,800 ppm 이하로 저감시킬 수 있었는데, 그 이유를 간략히 서술하시오.

(10 pt) 2. 아래 주어진 표는 2010 년 1 월 1 일부터 해당 사업장에 적용될 수은 화합물 배출허용기준이다. Hg 로서의 배출허용기준에 더하여 괄호 내에 주어진 숫자는 무엇을 의미하며, 이와 같이 하는 이유를 설명하시오.

수은화합물 (Hg 로서) (mg/S m ³)	(1) 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설(소각보일러를 포함한다) 및 생활폐기물 고형연료제품(RDF) 또는 폐플라스틱 고형연료제품(RPF) 전용시설	0.1(12) 이하
	(2) 발전시설(고체연료 사용시설)	0.1(6) 이하
	(3) 제 1 차 금속제조시설 중 소결로	0.1(15) 이하
	(4) 시멘트·석회·플라스터 및 그 제품 제조시설 중 시멘트 소성시설	0.1(13) 이하
	(5) 그 밖의 배출시설	5 이하

(50 pt) 3. 국내의 어느 한 중유화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $\text{CH}_\alpha\text{N}_\beta\text{S}_\gamma\text{O}_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

- (1) 이 중유의 연소반응식을 쓰시오. 여기서, x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수 (oxygen mole coefficient)로 사용하라. 단, 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다고 가정한다. 또한, 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다고 가정한다.

(힌트: 문제에서 주어진 바대로 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.)

- (2) 생성된 NO 와 SO_2 의 건조가스 물분율과 습윤가스 물분율을 각각 쓰시오. 다만, 열적 NO (thermal NO)는 고려하지 않는다.

- (3) 습윤 배기가스의 총 물분율과 건조 배기가스의 총 물분율의 비를 얻으시오.

$$(Ans.: 1 + \frac{\frac{\alpha}{2}}{(4.762x - \frac{\alpha}{4} + \frac{\beta}{2} + \frac{\delta}{2})})$$

(4) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 반응물에서의 산소계수인 x 값을 결정하시오.

(5) 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(30 pt) 4. 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목	품질기준	
	2008 년 12 월 31 일까지	2009 년 1 월 1 일부터
방 향 족 화 합 물 함 량 (부피%)	30 (27) 이하	24 (21) 이하
벤 젠 함 량 (부피%)	1.0 이하	0.7 이하
납 함 량 (g/l)	0.013 이하	0.013 이하
인 함 량 (g/l)	0.0013 이하	0.0013 이하
산 소 함 량 (무게%)	1.0 이상 2.3 이하 (4 월 1 일부터 10 월 31 일까지 출고되는 제품: 0.5 이상 2.3 이하)	1.0 이상 2.3 이하 (4 월 1 일부터 10 월 31 일까지 출고되는 제품: 0.5 이상 2.3 이하)
올 레 핀 함 량 (부피%)	18 (21) 이하	16 (19) 이하
황 함 량 (ppm)	50 이하	10 이하
증 기 압 (kPa, 37.8℃)	65 이하	60 이하 (2010 년 1 월 1 일부터 적용)
90% 유 출 온 도 (℃)	175 이하	170 이하

비고: 올레핀 (olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

(1) 휘발유의 황함량을 규제하는 이유 2 가지를 기술하시오.

(2) 2010 년부터 휘발유의 증기압 규제기준이 강화되는 이유를 기술하시오.

(3) 2009 년부터는 올레핀 함량을 16% 이하로 규제기준을 더욱 강화하는 이유를 설명하시오

Good luck on all your work to be answered to the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3408)

Final Exam.

Hour: 11:00 ~ 12:50 pm

Date: 19 June 2008

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get even just a point. Be careful with mathematics and units!

(40 pt) 1. 아래에 주어진 각 설명이 옳으면 “ T ” 로, 틀리면 “ F ” 를 쓰시오.

- (1) 석탄의 등급을 결정하는 데 있어서 가장 중요하게 고려하는 3 가지 요소로는 재 (ash) 함량, 재 용융온도, 황함량이다. ()
- (2) 대기오염물질들을 배출하는 사업장에 적용되는 배출허용기준 (일반적으로 ppm 이나 mg/m^3)의 경우에, 사업장에서 희석 등에 의한 방법으로 정해진 기준을 충족시키는 것을 방지할 목적으로 그 기준값 옆에 괄호로 대기산소농도를 명시한다. ()
- (3) 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준에서 휘발유 내에 함유되는 올레핀 (불포화탄화수소)의 함량을 18 또는 21% 이하로 규제하는 이유는 올레핀이 파라핀 (포화탄화수소)보다 휘발성이 높기 때문이다. ()
- (4) 자동차용 디젤 연료에는 생성된 검댕 (soot) 등을 분해하고 연료필터의 수명을 연장하기 위해 분산제 등이 첨가된다. ()
- (5) 어떤 대기오염물질의 배출량을 배출지수로 나타내면 쉽게 희석 여부를 판별할 수 있다. ()
- (6) 질소산화물 (NO_x)의 생성과 관련한 메커니즘으로 볼 때, NO_x 에는 고온에서 연료 연소용으로 공급된 공기 속에 함유된 N_2 와 O_2 간의 반응에 의해 생성되는 “ Thermal NO_x ”, CN 이나 HCN 이 반응하여 생성되는 “ Prompt NO_x ”, 연료 그 자체에 함유된 N 성분으로부터 기인하는 “ Fuel NO_x ” 가 있다. ()

(7) 천연가스 복합화력발전이라 함은 천연가스를 고온에서 연소시켜 발생하는 고압의 연소 배기가스로 가스터빈을 구동해 발전을 한 다음, 고온의 연소 배기가스를 그대로 버리지 않고 물을 가열하여 그 온수를 발전현장이나 주변 상업/주거시설에 공급하는 경우를 말한다. ()

(8) 무연탄과 비교해 볼 때, 일반적으로 유연탄은 고정탄소 함량이 적고 휘발성 성분이 더 높은 것이 특징이다. ()

(60 pt) 2. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $CH_\alpha N_\beta S_\gamma O_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

(1) 이 중유의 연소반응식을 쓰시오. 여기서, x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수 (oxygen mole coefficient)로 사용하라. 단, 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다고 가정한다. 또한, 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다고 가정한다.

(힌트: 문제에서 주어진 바대로 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.)

(2) 생성된 NO 와 SO_2 의 건조가스 물분율과 습윤가스 물분율을 각각 쓰시오. 다만, 열적 NO (thermal NO)는 고려하지 않는다.

(3) 습윤 배기가스의 총 물분율과 건조 배기가스의 총 물분율의 비를 얻으시오.

$$(Ans.: 1 + \frac{\frac{\alpha}{2}}{(4.762x - \frac{\alpha}{4} + \frac{\beta}{2} + \frac{\delta}{2})})$$

(4) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 반응물에서의 산소계수인 x 값을 결정하시오.

(5) 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(6) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C 를 가정한다.

Good luck on all your work.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 4818)

Final Exam.

Hour: 11:00 ~ 12:50 pm

Date: 17 June 2009

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get just a point. Be careful with mathematics and units!

(20 pt) 1. 다음 각 물음에 간략히 답하시오.

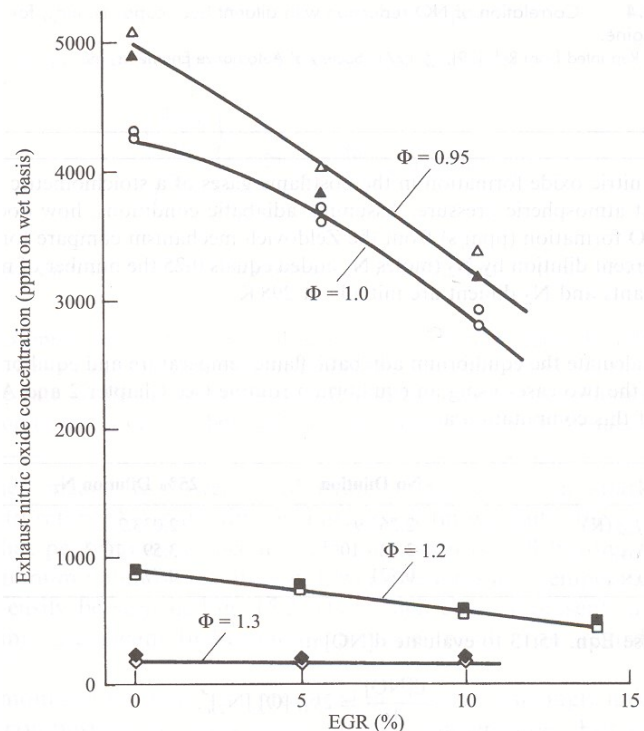
(1) 삼원촉매전환장치 (Three-Way Catalytic Converter)의 역할

(2) 연소과정에서 생성되는 NO_x의 종류

(10 pt) 2. 아래 주어진 표는 2010년 1월 1일부터 해당 사업장에 적용될 수은 화합물 배출허용기준이다. Hg로서의 배출허용기준에 더하여 괄호 내에 주어진 숫자는 무엇을 의미하며, 이와 같이 하는 이유를 설명하시오.

수은화합물 (Hg로서) (mg/S m ³)	(1) 폐수·폐기물·폐가스 소각처리시설(소각보일러를 포함한다) 및 생활폐기물 고형연료제품(RDF) 또는 폐플라스틱 고형연료제품(RPF) 전용시설	0.1(12) 이하
	(2) 발전시설(고체연료 사용시설)	0.1(6) 이하
	(3) 제 1 차 금속제조시설 중 소결로	0.1(15) 이하
	(4) 시멘트·석회·플라스터 및 그 제품 제조시설 중 시멘트 소성시설	0.1(13) 이하
	(5) 그 밖의 배출시설	5 이하

(10 pt) 3. 아래에 주어진 그림은 가솔린 엔진으로부터 배출되는 질소산화물 (Nitric Oxides, NO_x)의 생성을 억제하기 위한 하나의 방안으로 배기가스를 재순환하여 유입되는 연료나 공기와 혼합하는 배기가스 재순환 (Exhaust-Gas Recirculation, EGR) 기술의 효과를 등가비 (Equivalence Ratio, ER)의 함수로 보여주고 있다. 다음에 주어진 각 물음에 답하시오.



그림에서 알 수 있듯이, 등가비가 1.0 일 때, 배기가스를 순환시키지 않는 경우에 비하여 배기가스 중에 10%를 순환한다면 엔진 내에서 생성되는 NO_x 의 농도를 약 4,300 ppm 에서 2,800 ppm 이하로 저감시킬 수 있었는데, 그 이유를 간략히 서술하시오.

(20 pt) 4. 아래에 주어진 각 설명이 옳으면 “ T ” 로, 틀리면 “ F ” 를 쓰시오.

- (1) 석탄의 등급을 결정하는 데 있어서 가장 중요하게 고려하는 3 가지 요소로는 재 (ash) 함량, 재 용융온도, 황함량이다. ()
- (2) 자동차용 디젤 엔진에는 생성된 검댕 (soot) 등을 분해하고 연료필터의 수명을 연장하기 위해 분산제 등이 첨가된다. ()
- (3) 석탄의 비산재 (fly ash) 용융온도가 가능한 한 높아야 하는 이유는 연소 후에 비산재가 배가스 덕트 (duct)에 침적하여 관의 막힘 등을 야기하고 탈질/탈황설비에 영향을 주기 때문이다. ()
- (4) 석탄 IGCC 는 석탄을 고온에서 직접 연소시켜 발생하는 고온의 열을 이용해 물을 가열하여 증기터빈으로 전기를 생산하는 경우를 말한다. ()

(20 pt) 5. 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목	품질기준	
	2008 년 12 월 31 일까지	2009 년 1 월 1 일부터
방 향 족 화 합 물 함 량 (부피%)	30 (27) 이하	24 (21) 이하
벤 젠 함 량 (부피%)	1.0 이하	0.7 이하
납 함 량 (g/l)	0.013 이하	0.013 이하
인 함 량 (g/l)	0.0013 이하	0.0013 이하
산 소 함 량 (무게%)	1.0 이상 2.3 이하 (4 월 1 일부터 10 월 31 일까지 출고되는 제품: 0.5 이상 2.3 이하)	1.0 이상 2.3 이하 (4 월 1 일부터 10 월 31 일까지 출고되는 제품: 0.5 이상 2.3 이하)
올 레 핀 함 량 (부피%)	18 (21) 이하	16 (19) 이하
황 함 량 (ppm)	50 이하	10 이하
증 기 압 (kPa,37.8℃)	65 이하	60 이하 (2010 년 1 월 1 일부터 적용)
90% 유 출 온 도 (℃)	175 이하	170 이하

비고: 올레핀 (olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

- (1) 2010 년부터 휘발유의 증기압 규제기준이 강화되는 이유를 기술하시오.
- (2) 2009 년부터는 올레핀 함량을 16% 이하로 규제기준을 더욱 강화하는 이유를 설명하시오

(20 pt) 6. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $\text{CH}_\alpha\text{N}_\beta\text{S}_\gamma\text{O}_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 아래에 주어진 가정 하에서 다음 물음에 답하시오.

- 가정: ❶ 이 중유의 연소반응식에서 x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수 (oxygen mole coefficient)로 사용한다.
- ❷ 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다.
- ❸ 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다.
- ❹ 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.

- (1) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.
- (2) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C 를 가정한다.

Good luck on all your work.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3698)

Final Exam.

Hour: 1:00 ~ 2:50 pm

Date: 21 June 2010

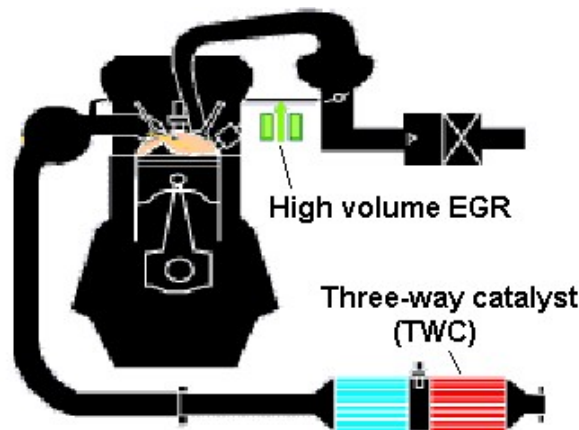
Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*—put something you learned during this class if you do want to get just a point. Be careful with mathematics and units!

(20 pt) 1. 아래의 그림은 현재 가솔린 엔진 자동차에 적용되고 있는 배가스 재순환 (Exhaust gas recirculation, EGR) 기술의 예와 삼원촉매장치 (Three-way catalyst, TWC)의 부착 위치를 보여주고 있다. 다음에 주어진 각 물음에 답하시오.



- (1) 위의 그림과 같이 EGR이 가능한 가솔린 엔진을 자동차에 적용하는 가장 중요한 목적을 기술하시오. (10 pt)
- (2) EGR되는 배가스 비율의 함수로 NO_x, CO 및 HCs 각각의 농도변화를
 - (2-a) 그래프로 표현하고, (3 pt)
 - (2-b) (1)의 목적을 달성하기 위한 최선의 방안을 설명하시오. (2 pt)
- (3) 위의 그림에 주어진 TWC에서 오염물질 제거에 결정적인 역할을 하는 주요 금속 성분(들)을 쓰시오. (5 pt)

(20 pt) 2. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O 와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O 가 C, H 와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $CH_\alpha N_\beta S_\gamma O_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 아래에 주어진 가정 하에서 다음 물음에 답하시오.

- 가정: ❶ 이 중유의 연소반응식에서 x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수 (oxygen mole coefficient)로 사용한다.
 ❷ 이 중유는 희박조건 (lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다.
 ❸ 중유 내에 존재하는 N 과 S 는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다.
 ❹ 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.

(1) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(2) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C 를 가정한다.

(20 pt) 3. 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목	규제기준
방향족 화합물 함량 (부피 %)	24 (21) 이하
벤젠 함량 (부피%)	0.7 이하
납 함량 (g/l)	0.013 이하
인 함량 (g/l)	0.0013 이하
산소 함량 (무게 %)	1.0 이상 2.3 이하 (4 월 1 일부터 10 월 31 일까지 출고되는 제품: 0.5 이상 2.3 이하)
올레핀 함량 (부피 %)	16 (19) 이하
황 함량 (ppm)	10 이하
증기압 (kPa, 37.8℃)	60 이하
90% 유출온도 (℃)	170 이하

비고: 올레핀 (olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

(1) 휘발유의 증기압을 규제하는 이유를 기술하시오.

(2) 올레핀 함량을 규제하는 이유를 설명하시오

(30 pt) 4. 아래에 주어진 각 설명이 옳으면 “ T ” 로, 틀리면 “ F ” 를 쓰시오.

- (1) 연소공정으로부터 생성되는 NOx의 종류는 열적 NOx (thermal NOx), 배가스 NOx (flue gas NOx), 연료 NOx (fuel NOx)로 구분된다. ()
- (2) 석탄의 순위를 결정하는 데 있어서 가장 중요하게 고려하는 3가지 요소로는 재 (ash) 함량, 재 용융온도, 황함량이다. ()
- (3) 대기오염물질들을 배출하는 사업장에 적용되는 배출허용기준 (일반적으로 ppm이나 mg/m³)의 경우에, 사업장에서 희석 등에 의한 방법으로 정해진 기준을 충족시키는 것을 방지할 목적으로 배출허용기준값 옆 괄호 안에 기준산소농도를 명시한다. ()
- (4) 연소공정에서 NOx의 생성을 억제하기 위해 최고화염온도 (peak flame temperature), 최고화염온도에서의 체류시간 (residence time), 화염구역에서 강한 난류 (turbulence)에 의한 산소공급의 용이성을 최소화하는 연소제어법이 우선적으로 고려된다. ()
- (5) 일반적으로 유연탄은 가정이나 재배시설의 난방용으로 적합하고, 황 함량이 상대적으로 낮은 무연탄은 산업용 보일러에 널리 사용된다. ()
- (6) 승용자동차와 같은 이동원에 대한 배출허용기준을 정하거나 오염물질 배출량을 산정하는 경우에, 보통 운행거리당 배출되는 오염물질의 질량으로 나타낸다. ()

(10 pt) 5. 아래의 표는 가솔린 품질을 평가하는 여러 기준들 중에 하나를 보여주고 있다.

Specification	Importance
Volatility	• Cool weather drivability • Carburetor icing • Hot start and driveaway • Vapor lock • Carburetor evaporation losses • Deposits in crankcase and combustion chambers, and on spark plugs

증발성 (Volatility)이 너무 높을 경우에 발생할 수 있는 현상들을 주어진 표를 기준으로 설명하시오.

Good luck on all your work.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3398)

Final Exam.

Hour: 10:00 ~ 11:50 am

Date: 16 JUNE 2011

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. ***Show all your work!*** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*. Be careful with mathematics and units!

(20 pt) 1. 이소옥탄($i\text{-C}_8\text{H}_{18}$)을 연소시키는 어떤 엔진으로부터 배출되는 배기가스를 가스분석기로 측정하였을 때, 아래와 같은 건조기준 조성을 얻었다.

$\text{CO}_2 = 8.44\%$

$\text{O}_2 = 8.79\%$

$\text{NO}_x = 76 \text{ ppm}$

$\text{CO} = 44 \text{ ppm}$

$\text{HCs} = 15 \text{ ppm}$

(1) NO_x 에 대한 배출허용기준이 80 ppm(3% O_2)일 경우, 실제로 배출되는 NO_x 의 농도를 계산하시오.

(2) NO_x 의 배출지수(emission index)를 g/kg 단위로 계산하시오.

(10 pt) 2. 연소공정에서 발생하는 NO_x 는 일반적으로 아래에 주어진 3 종류의 메카니즘들에 의해 생성된다.

❶ Zeldovich 메카니즘

❷ Fenimore 메카니즘

❸ 연료질소 메카니즘

상기의 각 메커니즘의 구성원리를 설명하시오. (각각 30자 이내)

(30 pt) 3. 아래에 주어진 각 설명이 옳으면 “ T ” , 틀리면 “ F ” 를 쓰시오.

- (1) 석탄의 순위를 결정하는 데 있어서 가장 중요하게 고려하는 3가지 요소로는 재 (ash) 함량, 재 용융온도, 황함량이다. ()
- (2) NO_x 의 생성을 억제하기 위해 최고화염온도(peak flame Temperature), 최고화염온도에서의 체류시간(residence Time), 화염구역에서 강한 난류(Turbulence)에 의한 산소공급의 용이성을 최소화하는, 이른바 3T 연소제어법이 우선적으로 고려된다. ()
- (3) 석탄에 함유된 수분, 휘발성 가연물질, 고정탄소 및 재 함량을 결정하는 데는 원소분석법이 적합하다. ()
- (4) 가솔린 자동차의 배기계통에 센서를 설치하는 주목적은 최적의 공연비를 제어하고, 삼원촉매장치(TWC)를 보호하기 위함이다. ()
- (5) 자동차용 디젤유에는 연료 인젝터의 수명을 증가시키고, 연료의 침적을 방지하기 위하여 금속비활성제를 첨가한다. ()
- (6) 최근에 주목받고 있는 RDF의 원소조성은 저급 석탄에 해당하는 리그나이트(lignite)의 조성과 유사하다. ()

(20 pt) 4. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O가 C, H와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $\text{CH}_\alpha\text{N}_\beta\text{S}_\gamma\text{O}_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 아래에 주어진 가정 하에서 다음 물음에 답하시오.

가정: ❶ 이 중유의 연소반응식에서 x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수(oxygen mole coefficient)로 사용한다.

❷ 이 중유는 희박조건(lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다.

❸ 중유 내에 존재하는 N과 S는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다.

❹ 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.

(1) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(2) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C를 가정한다.

(20 pt) 5. 아래에 주어진 표는 우리나라 대기환경보전법 제 103 조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준을 보여주고 있다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목	규제기준
방향족 화합물 함량 (부피 %)	24 (21) 이하
벤젠 함량 (부피%)	0.7 이하
납 함량 (g/l)	0.013 이하
인 함량 (g/l)	0.0013 이하
산소 함량 (무게 %)	1.0 이상 2.3 이하 (4 월 1 일부터 10 월 31 일까지 출고되는 제품: 0.5 이상 2.3 이하)
올레핀 함량 (부피 %)	16 (19) 이하
황 함량 (ppm)	10 이하
증기압 (kPa, 37.8℃)	60 이하
90% 유출온도 (℃)	170 이하

비고: 올레핀 (olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

(1) 휘발유의 증기압을 규제하는 이유를 기술하시오.

(2) 올레핀 함량을 규제하는 이유를 설명하시오.

Good luck on all your work to answer the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3615)

Final examination

Hour: 3:00 ~ 4:50 pm

Date: 18 JUNE 2012

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*. Be careful with mathematics and units!

(20 pt) 1. 우리나라 대기환경보전법 제103조 관련 자동차연료 제조기준 중에서 휘발유의 제조기준은 아래와 같다. 다음 각 물음에 답하시오.

기 준 항 목	규제기준
방향족 화합물 함량 (부피 %)	24 (21) 이하
벤젠 함량 (부피%)	0.7 이하
납 함량 (g/l)	0.013 이하
인 함량 (g/l)	0.0013 이하
산소 함량 (무게 %)	1.0 이상 2.3 이하 (4월 1일부터 10월 31일까지 출고되는 제품: 0.5 이상 2.3 이하)
올레핀 함량 (부피 %)	16 (19) 이하
황 함량 (ppm)	10 이하
증기압 (kPa, 37.8℃)	60 이하
90% 유출온도 (℃)	170 이하

비고: 올레핀 (olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물함량을 () 안의 기준으로 적용한다.

- (1) 위 표에서 볼 때, 휘발유 단위 부피기준으로 방향족 화합물이 24%, 올레핀이 16%인데, 나머지 60%에 해당하는 탄화수소는 무엇인지 쓰고, 그 탄화수소의 화학적 특성을 설명하시오. (반드시 30자 이내)

- (2) 휘발유에 혼입되는 방향족 화합물은 일반적으로 대기오염물질의 배출을 증가시키는 단점이 있음에도 불구하고, 위 표에서와 같이 24%까지 휘발유에 넣어주는 이유를 기술하시오. (반드시 50자 이내)

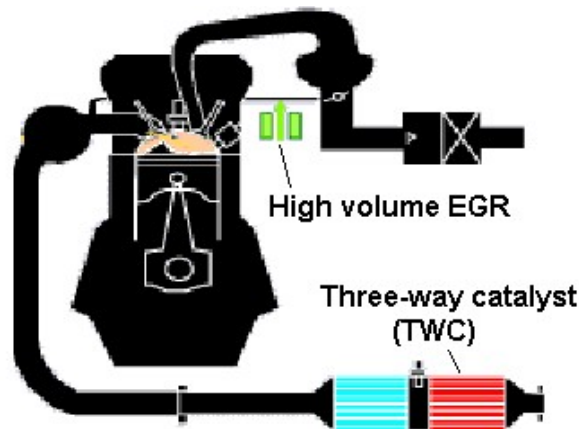
(20 pt) 2. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O가 C, H와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $CH_{\alpha}N_{\beta}S_{\gamma}O_{\delta}$ 로 나타낼 수 있다. 아래에 주어진 가정 하에서 다음 물음에 답하시오.

- 가정: ❶ 이 중유의 연소반응식에서 x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수(oxygen mole coefficient)로 사용한다.
 ❷ 이 중유는 희박조건(lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다.
 ❸ 중유 내에 존재하는 N과 S는 NO 와 SO_2 로 완전히 전환된다.
 ❹ 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y 를 사용한다.

(1) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(2) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C를 가정한다.

(20 pt) 3. 가솔린 엔진 자동차에 적용되고 있는 배가스 재순환 (Exhaust gas recirculation, EGR) 기술과 삼원촉매장치 (Three-way catalytic converter, TWC)의 예를 아래 그림에서 보여주고 있다. 다음에 주어진 각 물음에 답하시오.



- (1) 위의 그림과 같이 EGR 기술을 적용하였을 때, NO_x의 배출농도를 현저히 감소시킬 수 있는데, 그 이유를 설명하시오. (반드시 50자 이내)
- (2) 위의 그림에 주어진 TWC에서 어떤 대기오염물질들이 최종적으로 어떤 상태로 제거되는지를 설명하시오. (반드시 80자 이내)

(20 pt) 4. 다음 각 물음에 간략히 답하시오.

- (1) 열적 NO_x 생성 메커니즘 (반드시 50자 이내)
- (2) 디젤 연료첨가제의 예 (5가지 열거)
- (3) 어떤 대기오염물질의 배출농도를 배출지수로 나타낼 때의 장점 (반드시 50자 이내)
- (4) NO_x의 생성을 최소화시킬 수 있는 연소제어(통제) 방법 (반드시 80자 이내)

(20 pt) 5. 아래 표에는 다섯 종류의 석탄에 대한 고정탄소량과 고위발열량 데이터가 주어져 있다. 다음 물음에 답하시오.

석탄 종류	고정탄소 함량 (%)	고위발열량 (Btu/lb _m)
A	27	5,700
B	63	10,900
C	99	19,500
D	41	9,200
E	87	17,700

- (1) 주어진 다섯 종류의 석탄을 순위법(rank)에 의해 분류하여 표를 작성하고, 상위 순위부터 다섯 종류의 석탄을 나열하시오.
- (2) 고정탄소함량으로 볼 때, 석탄 E는 최상위의 유연탄으로 볼 수 있다. 이 유연탄의 대표적인 산업적 용도를 설명하시오.

Good luck on all your work to answer the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3526)

Final exam.

Hour: 3:00 ~ 4:50 pm

Date: 19 June 2013

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*. Be careful with mathematics and units!

(20 pt) 1. 다음 각 물음에 간략히 답하시오.

- (1) NO_x 생성 메커니즘 (반드시 100자 이내)
- (2) 대기환경보전법 제103조 관련 자동차연료 제조기준에서 올레핀 함량을 16% 이하로 규제하는 이유
- (3) 어떤 대기오염물질의 배출농도를 배출지수로 나타낼 때의 장점 (반드시 50자 이내)
- (4) NO_x의 생성을 최소화시킬 수 있는 연소기술의 종류 (Hint: 예혼합 및 비예혼합 연소 구분없이 연소기술 열거 ※HW 내용을 상기하여 기재함)

(20 pt) 2. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O가 C, H와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 CH_αN_βS_γO_δ로 나타낼 수 있다. 아래에 주어진 가정 하에서 다음 물음에 답하시오.

- 가정: ❶ 이 중유의 연소반응식에서 x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수(oxygen mole coefficient)로 사용한다.
- ❷ 이 중유는 희박조건(lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x(thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다.

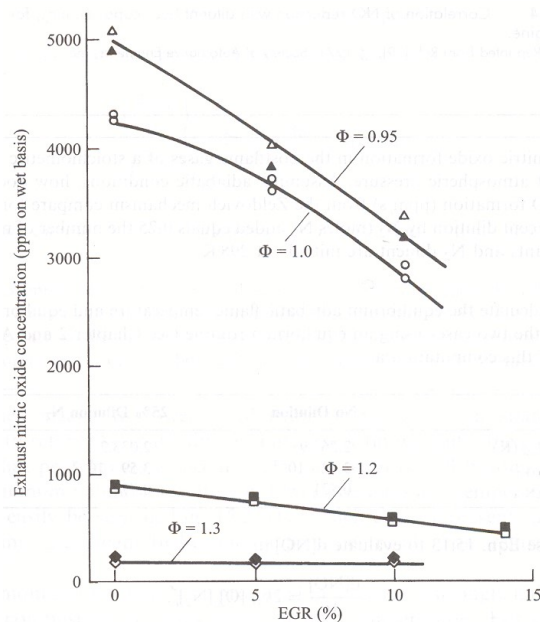
③ 중유 내에 존재하는 N과 S는 NO와 SO₂로 완전히 전환된다.

④ 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O₂에 관계없이 생성물의 산소 몰 계수는 y를 사용한다.

(3) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 건조가스 기준으로 SO₂와 NO의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(4) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm³ 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C를 가정한다.

(20 pt) 3. 아래에 주어진 그림은 가솔린 엔진으로부터 배출되는 질소산화물 (Nitric Oxides, NO_x)의 생성을 억제하기 위한 하나의 방안으로 배기가스를 재순환하여 유입되는 연료나 공기와 혼합하는 배기가스 재순환 (Exhaust-Gas Recirculation, EGR) 기술의 효과를 등가비 (Equivalence Ratio, ER)의 함수로 보여주고 있다. 다음에 주어진 각 물음에 답하시오.



(3) 가솔린 자동차의 연료를 성분분석으로 결정하였을 때, 그 연료의 조성은 C₇H₁₃으로 가정할 수 있었다. 등가비가 0.95 인 경우에 과잉 산소가 공기와 함께 유입된 질소와 완전히 반응하여 NO 로 전환된다고 가정할 때, 그 NO 의 농도를 계산하시오.

(4) 그림에서 알 수 있듯이, 등가비가 1.0 일 때, 배기가스를 순환시키지 않는 경우에 비하여 배기가스 중에 10%를 순환한다면 엔진 내에서 생성되는 NO_x 의 농도를 약 4,300 ppm 에서 2,800 ppm 이하로 저감시킬 수 있었는데, 그 이유를 간략히 서술하시오.

(20 pt) 4. 아래의 각 문항에서 빈 칸에 가장 알맞은 표현을 쓰시오.

- (5) 가솔린 자동차 배기가스 정화용으로 장착되는 ()는 연소 중에 배출되는 (), () 및 ()를 무해한 가스상 물질로 전환하기 위함이다.
- (6) 석탄의 품질을 구분하는 방법은 ()과 ()이 있고, ()은 석탄이 갖는 고위발열량과 ()에 기초한다.
- (7) 예혼합 연소를 적용하는 내연기관으로부터 배출되는 대기오염물질들의 농도를 공연비의 함수로 나타낼 때, ()의 배출농도는 이론공연비 부근에서 최대가 되고, ()의 배출농도는 ()보다 약간 높을 때 최소가 된다.
- (8) 디젤연료의 품질을 나타낼 때, 동일한 기준 ()에서 cSt 단위로 표시된 값이 클수록 () 연소에 적합하다.

(20 pt) 5. 이소옥탄($i\text{-C}_8\text{H}_{18}$)을 연소시키는 어떤 엔진으로부터 배출되는 배기가스를 가스분석기로 측정하였을 때, 아래와 같은 건조기준 조성을 얻었다.

$\text{CO}_2 = 8.44\%$
 $\text{O}_2 = 8.79\%$
 $\text{NO}_x = 76 \text{ ppm}$
 $\text{CO} = 44 \text{ ppm}$
 $\text{HCs} = 15 \text{ ppm}$

- (3) NO_x 에 대한 배출허용기준이 80 ppm(3% O_2)일 경우, 실제로 배출되는 NO_x 의 농도를 계산하시오.
- (4) NO_x 의 배출지수(emission index)를 g/kg 단위로 계산하시오.

Good luck on all your work to answer the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3573)

Final exam.

Hour: 10:00 ~ 11:50 am

Date: 18 June 2014

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. ***Show all your work!*** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*. Be careful with mathematics and units!

(30 pt) 1. 다음 각 물음에 대하여 간략히 설명하시오.

- (1) 이동원(자동차)로부터의 대기오염물질 배출량을 나타내는 방법
(반드시 100자 이내로 기술)
- (2) Prompt NO_x 생성 메커니즘 (반드시 100자 이내로 기술)
- (3) 어떤 사업장 연돌에 적용된 미세먼지 배출허용기준이 '300(6)'와 같이 기재되어 있을 때,
 - (a) 통상적으로 "300"과 "6"의 단위
 - (b) 괄호 안에 기재된 "6"이라는 숫자의 의미
 - (c) 위의 (b)와 같이 그 숫자를 명시하는 이유 (반드시 50자 이내로 기술)

(10 pt) 2. 연소공정에서 배출되는 질소산화물(NO_x = NO + NO₂)의 생성을 최소화하기 위한 주요 기술들 중에서, (HW에서 출제)

- (1) 대표적인 기술로 3가지 정도를 예로 들고,
- (2) 각 기술의 원리를 간략히 설명하시오. (반드시 100자 이내로 기술)

(20 pt) 3. 대기환경보전법 시행령 규칙 제115조(자동차 연료·첨가제 또는 촉매제의 제조기준 등) 별표 33(2016. 3. 29일 시행)에 따르면, 휘발유의 제조기준은 다음과 같은데 이를 바탕으로 다음 각 물음에 답하시오.

기준항목	규제기준
방향족화합물 함량 (부피%)	24(21) 이하
벤젠 함량 (부피%)	0.7 이하
납 함량 (g/l)	0.013 이하
인 함량 (g/l)	0.0013 이하
산소 함량 (무게%)	2.3 이하
올레핀 함량 (부피%)	16(19) 이하 ¹⁾
황 함량 (ppm)	10 이하
증기압 (kPa, 37.8°C)	60 이하
90% 유출온도 (°C)	170 이하

- 1) 올레핀(olefine) 함량에 대하여 () 안의 기준을 적용할 수 있다. 이 경우 방향족화합물 함량에 대하여도 () 안의 기준을 적용한다.
- 2) 증기압 기준은 매년 6 월 1 일부터 8 월 31 일까지 제조시설에서 출고되는 제품에 대하여 적용한다.

(1) 위와 같이 휘발유 제조기준에서 방향족 화합물과 올레핀의 최고함량을 규제하는 이유를 각각 기술하시오. (반드시 100자 이내)

(2) 휘발유 내에 존재하는 방향족 화합물의 함량이 지나치게 낮을 경우 발생할 수 있는 문제점들을 설명하시오. (반드시 100자 이내)

(20 pt) 4. 이소옥탄($i\text{-C}_8\text{H}_{18}$)을 연소시키는 어떤 엔진으로부터 배출되는 배기가스를 가스분석기로 측정하였을 때, 아래와 같은 건조기준 조성을 얻었다.

CO₂ = 8.44%
O₂ = 8.79%
NO_x = 76 ppm
CO = 44 ppm
HCs = 15 ppm

- (1) NO_x에 대한 배출허용기준이 80 ppm(3% O₂)일 경우, 실제로 배출되는 NO_x의 농도를 계산하시오.

(2) NO_x 의 배출지수(emission index)를 g/kg 단위로 계산하시오.

(20 pt) 5. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O가 C, H와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 $\text{CH}_\alpha\text{N}_\beta\text{S}_\gamma\text{O}_\delta$ 로 나타낼 수 있다. 아래에 주어진 가정 하에서 다음 물음에 답하시오.

가정: ❶ 이 중유의 연소반응식에서 x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수(oxygen mole coefficient)로 사용한다.

❷ 이 중유는 희박조건(lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x (thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다.

❸ 중유 내에 존재하는 N과 S는 NO와 SO_2 로 완전히 전환된다.

❹ 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰계수는 y 를 사용한다.

(1) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(2) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C를 가정한다.

Good luck on all your work to answer the questions.

Environmentally-Friendly Combustion Technology

(Class #: 3607)

Final exam.

Hour: 5:00 ~ 6:50 pm

Date: 16 June 2016

Student Name: _____

Student's SIGNATURE: _____

Student I.D. Number: _____

Directions: Please enter your name on this page. Then sign the examination and enter your student identification number above. Time allowed for this examination is 2 hours. Answer all questions on a separate paper provided. Be precise, logical, and ordered in your responses. **Show all your work!** I can not do give *any* credit if you do not write *anything*. Be careful with mathematics and units!

(40 pt) 1. 다음의 각 문항을 설명하시오. (각 문항에 대해 반드시 70 자 이내로 기술)

- (1) NO_x 배출 저감기술들 중에서 연소공정 개선의 예들 (5 가지 나열)
- (2) 석탄의 순위결정법
- (3) 연돌마다 정해진 배출허용기준 준수 여부를 판단할 수 있는 방법
- (4) 열적(thermal) NO_x 생성 메커니즘

(20 pt) 2. 화력발전소에서 사용하고 있는 중유를 분석하였을 때, 그 중유는 C, H, N, S, O와 약간의 무기물 성분들로 이루어져 있었다. N, S, O가 C, H와 화학적으로 결합되어 있다고 가정한다면, 무기 성분들을 제외한 이 중유의 화학식은 CH_αN_βS_γO_δ로 나타낼 수 있다. 아래에 주어진 가정 하에서 다음 물음에 답하시오.

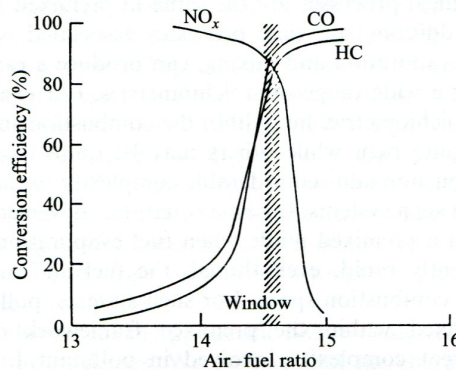
- 가정: ❶ 이 중유의 연소반응식에서 x 와 y 를 각각 반응물과 생성물에서의 산소 몰 계수(oxygen mole coefficient)로 사용한다.
- ❷ 이 중유는 희박조건(lean condition)에서 연소되어지고, 열적 NO_x(thermal NO_x)의 생성을 고려하지 않는다.
- ❸ 중유 내에 존재하는 N과 S는 NO와 SO₂로 완전히 전환된다.

④ 중유에 포함된 $\frac{1}{2}\delta$ 몰의 O_2 에 관계없이 생성물의 산소 몰계수는 y 를 사용한다.

(1) 산소의 건조 물분율이 12%로 측정되었고, $\alpha = 0.8083$, $\beta = 0.0013$, $\gamma = 0.033$, $\delta = 0.057$ 이라면, 건조가스 기준으로 SO_2 와 NO 의 농도를 각각 ppm 단위로 결정하시오.

(2) 이론공기량과 과잉공기량을 각각 Nm^3 단위로 결정하시오. 단, 표준조건으로 1 atm, 0 °C를 가정한다.

(20 pt) 3. 다음 그림은 가솔린 엔진의 공연비(air-to-fuel ratio, AFR)에 따른 삼원촉매장치(three-way catalytic convertor, TWC)의 대기오염물질들(NO_x , CO, HCs)의 제거효율을 보여주고 있다. 다음 물음에 간략히 답하시오. (각각 50 자 이내로 기술)



(1) 그림에서 볼 수 있듯이, "window"를 벗어나면 세 종류의 대기오염물질 모두 그 제거효율이 급격하게 낮아지므로 해당 범위로 AFR를 제어하는 것이 가장 중요하다. 이처럼 좁은 영역으로 AFR를 제어할 수 있는 방법을 설명하시오.

(2) 주어진 window 보다 높은 AFR 에서 NO_x 제거율이 심하게 감소하는 이유를 설명하시오..

(20 pt) 4. 이소옥탄($i-C_8H_{18}$)을 연소시키는 어떤 엔진으로부터 배출되는 배기가스를 가스분석기로 측정하였을 때, 아래와 같은 건조기준 조성을 얻었다.

$$CO_2 = 8.44\%$$

$$O_2 = 8.79\%$$

$\text{NO}_x = 76 \text{ ppm}$

$\text{CO} = 44 \text{ ppm}$

$\text{HCs} = 15 \text{ ppm}$

(1) NO_x 에 대한 배출허용기준이 $80 \text{ ppm}(3\% \text{ O}_2)$ 일 경우, 실제로 배출되는 NO_x 의 농도를 계산하시오.

(2) NO_x 의 배출지수(emission index)를 g/kg 단위로 계산하시오.

Good luck on all your work to answer the questions.