



내연기관 자동차에 사용되는 연료의 증류특성에 관한 실험적 연구

†염광욱 · 함성훈*

한양사이버대학교 기계자동차공학부 교수, *대림대학교 자동차공학과 교수
(2021년 10월 12일 접수, 2021년 10월 25일 수정, 2021년 10월 26일 채택)

An Experimental Study on the Distillation Characteristics of Fuel Used in an Internal Combustion Engine Vehicle

†Kwang-Wook Youm · Seong-Hun Ham*

Dept. of Mechanical and Automotive Engineering, Hanyang Cyber University, Seoul 04763, Korea

*Dept. of Automotive Engineering, Dealim University, Gyeonggi-do, 13916, Korea

(Received October 12, 2021; Revised October 25, 2021; Accepted October 26, 2021)

요약

친환경적인 환경과 자동차산업의 발달로 내연기관자동차에서 완전연소를 통해 열효율을 높이고 배기가스를 접감하기 위한 연구를 활발하게 진행하고 있다. 특히 휘발유의 휘발성과 연소특성에 대한 이해로 엔진의 부하와 출력을 높이기 위한 연구가 진행되고, 경유 연료의 증류 및 연소특성을 토대로 매연이나 유해가스 저감과 최적의 효율을 구현하기 위한 연구가 진행 중이다. 따라서 본 연구에서는 한국 산업규격의 석유제품 증류시험방법에 대한 KS MISO 3045의 내용을 토대로 국내에서 시판되고 사용되는 정유사 4사의 휘발유와 경유를 기반으로 증류실험을 진행하였다. 증류실험으로 증류량에 따른 증류온도와의 상관관계를 확인하고 증류된 연료의 비교를 통해 증류특성에 대한 분석을 실시하여 시험기준에 부합하는지에 대한 적합성을 확인하였다.

Abstract - With the development of an eco-friendly environment and the automobile industry, research is being actively conducted to increase thermal efficiency and reduce exhaust gas through complete combustion in internal combustion engine vehicles. In particular, research is underway to increase engine load and output by understanding the volatility and combustion characteristics of gasoline, and research is underway to reduce soot and harmful gases and realize optimal efficiency based on the distillation and combustion characteristics of diesel fuel. . Therefore, in this study, based on the contents of KS MISO 3045 on the distillation test method for petroleum products according to the Korean industrial standard, distillation experiments were conducted based on gasoline and diesel from 4 refineries marketed and used in Korea. The distillation experiment confirmed the correlation with the distillation temperature according to the amount of distillation, and the distillation characteristics were analyzed by comparing the distilled fuel to confirm the suitability of meeting the test standards.

Key words : distillation test, distillation characteristics, distillation temperature, fuel

I. 서론

친환경적인 자동차시장과 제한된 화석연료에 대 한 시대적 환경으로 내연기관 자동차에서는 완전 연소를 통한 연료절감 및 배기가스 절감을 위한 연

료의 중요성이 대두되고 있다.[1-4] 내연기관 자동차는 연료의 연소를 통해 생성된 폭발력을 동력으로 이용한다. 여기에 사용되는 연료의 휘발성이나 착화성이 중요한 요소이다. 연료의 상태나 연소특성에 의해 엔진의 출력저하 및 엔진의 보조 및 부하가 발생할 수 있다.[5-6] 가솔린의 경우 옥탄가가 낮으면 연소실에서 완전 연소되지 못하고 불완전 연소가 되면서 카본이 퇴적되거나 노킹이 발생하

†Corresponding author:youmkw@hycu.ac.kr
Copyright © 2021 by The Korean Institute of Gas

게 된다.[7-8] 디젤의 경우도 세탄가가 낮게 되면 매연 및 PM이 다량 발생되고 엔진 내부에 타르물질이 퇴적되어 엔진에 부하가 발생된다.[9-10] 이로 인해 연비가 저하되고 엔진의 출력이 저하되어 엔진에서 요구되는 효율을 기대하기 어렵게 된다. 연료는 엔진의 성능이나 유해물질을 결정하는 요소 중 하나이기 때문에 엔진의 효율을 높이기 위해서 연료에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.[11-12]

따라서 본 연구에서는 국내 정유회사의 가솔린과 디젤 연료를 한국산업규격의 석유제품 증류시험방법 KS M ISO 3405 기준에 따라 증류시험을 실시하여 연료의 증류상태에 따른 연료의 특성을 확인하였다. 또한 실험결과를 토대로 증류온도에 따른 연료량의 특성을 확인하고 증류된 연료의 분석을 통하여 연료의 증류특성을 분석하였다.

II. 실험방법

2.1. 실험장치 구조

시험장치의 구조는 KS M ISO 3405의 기준에 따라 Fig.1과 같이 구성하였다. 해당실험은 가솔린 또는 경유의 시료를 직접 가열하여 증류 후 특성을 파악한다. 따라서 시료를 열저항 유리 재질의 플라스크에 담고 시료를 가열하기 위한 열원으로 화력의 조절이 가능한장치를 적용하였다. 플라스크의 상단에는 500℃의 온도를 측정할 수 있는 수은온도계를 삽입하여 증류온도를 확인하였다. 그리고 열원을 외부의 요소로부터 보호하여 온도를 유지할 수 있도록 매쉬구조를 가지는 금속재질의 바람막이를 설치하였다. 열원에서 열에너지를 시료가 담긴 플라스크에 전달하게 되면 응축관으로 수증기



Fig. 1. Structure of distillation tester.

가 전달된다. 이때 응축관 주변에 냉각수를 보낼 수 있도록 관형태의 냉각관을 구비하여 수증기를 액화시켜 최종적으로 매스실린더로 모이게 되는 구조를 가지고 있다. 냉각수로는 약 10℃ 정도의 수돗물을 일정한 속도로 지속적으로 유입시키는 형태를 가지고 열이 전도된 냉각수는 상단부를 통해 배출하는 구조를 가지고 있다. 증류시키고 냉각을 통해 액화된 연료를 담은 용기는 1ml간격의 눈금을 가지는 총량 100ml의 매스실린더를 적용하였다.

2.2. 실험방법 및 기준

증류시험의 온도와 시간에 대한 조건은 Table 1과 같다. 시료는 국내에 시판·사용되는 A사, B사, C사, D사의 휘발유와 경유를 구매하여 KS M ISO 3045의 증류시험에 대한 연료기준을 충족하였다. 실험을 실시하기 위하여 증류 플라스크에 휘발유 또는 경유의 시료를 100ml를 주입하고 수은 온도계의 모세관과 증류플라스크 가지관 상단의 내벽 아래 부분이 수평이 되도록 설치한다. 그리고 열원에서 열에너지를 통해 시료를 가열시킨다. 가열 후 초류점이 지난 후 분당 4-5ml의 증류가 이루어지도록 열원의 화력을 조절하고 시료의 증류량이 90% 이상이 되면 열원을 Off한다. 온도가 낮아진 후에 매스실린더에 담긴 증류된 시료와 증류플라스크에 남은 시료, 증류실험을 하지 않은 상태의 시료를 각각 5ml씩 채취하여 상태에 따른 시료의 잔유물과 색상과 같은 시각적 특성을

Table 1. Test condition

Unit	Condition
응축기 온도	0-60℃
매스실린더 매질온도	주입온도±3℃
초류점까지 시간	5-15min
5ml 유출의 평균속도	4-5ml/min
종말점까지 시간	5min이하

Table 2. Standard of distillation test

Gasoline		Diesel	
Volume	Temp	Volume	Temp
10%	70℃ ↓	90%	360℃ ↓
50%	125℃ ↓		
90%	170℃ ↓		

비교한다. 증류시험에서 증류온도와 증류량에 대한 기준은 KS M ISO 3045에 따라 Table 2와 같다.

III. 가솔린 증류 특성

3.1. 증류온도 분석

증류실험을 실시해서 초류점의 온도가 4개 시료 모두 37-39℃ 사이에서 이루어 졌다. 이처럼 초류점의 온도가 낮은 것으로 연료의 휘발성 또는 착화성이 좋음을 알 수 있다. 이로인해 자동차에 사용된다면 저온시동성이 우수하여 냉간으로 인한 노킹 방지에 영향을 미칠 수 있다. Fig. 2와 같이 가열온도 약55℃ 부근에서 시료의 10% 증류가 진행 되었고 가열온도 78-80℃ 부근에서 시료의 50% 증류가 일어났다. 그 이후 가열온도 92℃ 부근에서 시료의 60% 증류가 진행되었고 104℃ 부근에서 70%증류, 120℃ 부근에서 80% 증류가 진행되었다. 시료의 증류량이 80%를 넘기면서 온도가 급격히 상승하여 147℃ 부근에서 시료의 90% 증류가 일어났다. 해당 시료의 증류량에 따른 증류온도는 기준을 상회하고 있다. 증류량이 90%일 때 증류온도가 147℃ 정도로 다른 증류량에서의 온도보다 상대적으로 높게 나타난 이유는 가솔린에 함유된 수분이 점차 증발되면서 최후 증류온도가 증대된 것으로 사료된다.

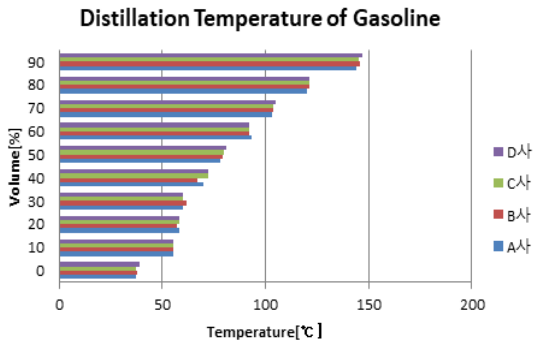


Fig. 2. Gasoline distillation characteristics according to temperature.

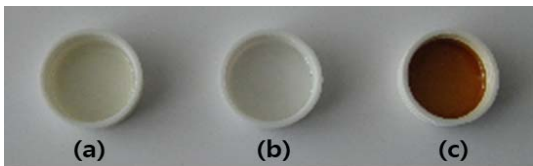


Fig. 3. Sample after gasoline distillation test.

3.2. 증류색상 분석

증류실험을 진행하고 증류온도와 양에 따른 시료의 색상을 Fig. 3.과 같이 비교분석하였다. (a)는 증류시험 전 채취한 상태의 시료, (b)는 90%증류 후 매스실린더에서 채취한 상태의 시료, (c)는 증류 실험 종료 후 플라스크에 잔존한 상태의 시료로 모두 액체상태이다. (b)시료의 상태를 보면 가열로 인해 휘발성 물질이 산화되고 증류된 상태로 (a)시료에 비하여 맑은 상태를 나타내고 있다. (c)시료는 잔류시료 상태로 비교적 엷은 황색을 나타내고 있다. 이는 휘발유에 포함된 액체상태의 불순물이 남아있는 상태이다. 종말점까지 실험을 진행하지 않고 90%까지 실험을 진행했기 때문에 잔유물의 응고가 나타나지 않아 고체상태의 잔유물은 생성되지 않았다.

IV. 디젤 증류 특성

4.1. 증류온도 분석

증류실험을 실시해서 초류점의 온도가 4개 시료 모두 159-161℃ 사이에서 이루어 졌다. 경유연료의 특성으로 인해 가솔린에 비해 낮은 휘발특성을 나타내기 때문에 상대적으로 초류점의 온도가 높게 형성되었다. Fig. 4와 같이 가열온도 약180℃ 부근에서 시료의 10% 증류가 진행 되었고 가열온도 257-259℃ 부근에서 시료의 50% 증류가 일어났다. 그 이후 가열온도 280℃ 부근에서 시료의 60% 증류가 진행되었고 298℃ 부근에서 70%증류, 315℃ 부근에서 80% 증류가 진행되었고 332℃ 부근에서 시료의 90% 증류가 일어났다. 가솔린 증류실험에서와 같이 80% 이상의 증류상태에서 급격한 온도상승은 발생하지 않았다. 이는 디젤은 자기착화온도가 높고 비교적

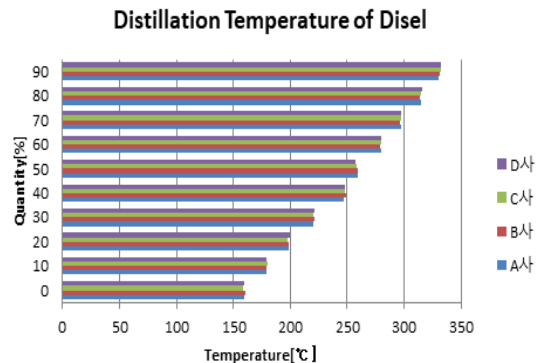


Fig. 4. Diesel distillation characteristics according to temperature.

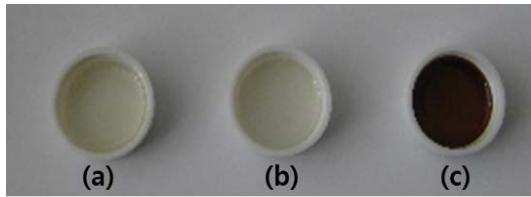


Fig. 5. Sample after diesel distillation test.

휘발성이 낮은 특성이 반영된 결과로 사료된다.

4.1. 증류색상 분석

증류실험을 진행하고 증류온도와 양에 따른 시료의 색상을 휘발유 증류실험과 동일하게 Fig. 5.과 같이 비교분석하였다. (a)는 증류시험 전 채취한 상태의 시료, (b)는 90%증류 후 매스실린더에서 채취한 상태의 시료, (c)는 증류실험 증류 후 플라스크에 잔존한 상태의 시료로 채취당시 모두 액체 상태이다. (b)시료의 상태를 보면 가열로 인해 휘발성 물질이 산화되고 증류된 상태로 휘발유와 동일하게 (a)시료에 비하여 맑은 상태를 나타내고 있다. (c)시료는 증류시험 후 잔류시료 상태로 짙은 검황색으로 휘발유의 (c)상태보다 진한색을 나타내고 있다. 그리고 채취 후 열이 식어 온도가 내려간 상태에서는 고체상태의 덩어리들이 확인되었다. 이는 휘발성이 사라지고 잔존물에 있는 불순물들이 고체화된 상태로 사료된다. 실제 디젤 기관에서 불완전 연소시에 고온의 연소실에서 나타나는 타르(Tar)의 형태와 유사하다.

V. 결론

본 연구에서는 연료의 증류실험을 통해 온도와 증류량에 따른 연료의 증류특성을 분석하기 위하여 KS M ISO 3045의 증류시험법을 근거로 국내에서 시판되는 휘발유와 경유의 증류실험을 진행하였다. 실험을 토대로 증류 온도와 증류량에 대한 상관관계를 파악하고 증류 후 잔존물의 색상 및 상태를 토대로 비교분석을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 휘발유의 증류실험 결과 $38\pm 1^{\circ}\text{C}$ 부근에서 초류점이 나타났고, 55°C 에서 10%증류, $79\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 50%증류, $146\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 90%증류가 발생되어 증류량에 대한 증류온도의 기준을 충족하였다.

2) 휘발유 증류실험 결과 80%이상의 증류가 진행된 상태에서는 휘발성 물질의 감소로 증류온도

의 급격한 상승이 발생하였다.

3) 휘발유 증류실험 결과 증류된 상태의 시료에서는 휘발성 물질의 산화로 가장 투명한 색을 나타내었고, 잔존한 시료에서는 휘발유에 잔존한 불순물들로 인하여 옅은 황색의 액체 잔존물이 생성되었다.

4) 경유 증류실험 결과 $160\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 초류점이 나타났고, 179°C 에서 10%증류, $258\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 50%증류, $331\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서 90%증류가 발생되어 증류량에 대한 증류온도의 기준을 충족하였다.

5) 경유 증류시험 결과 증류된 상태의 시료에서 휘발유물질의 산화로 가장 투명한 색을 나타내었고, 잔존한 시료에서는 경유에 포함된 불순물로 인해 짙은 검황색을 나타내었다.

6) 경유 증류시험 결과 잔존한 시료에서 온도가 낮아짐에 따라 액체상태의 물질에서 타르(Tar)와 같은 고체상태 물질들이 발견되었다.

향후 증류실험 후 발생된 잔존물에 대한 성분분석을 통하여 연료 내에 포함된 성분을 이해하고 엔진에서 완전연소를 위한추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] Son, Y. W., "The Status of Domestic and Overseas Eco-friendly Automotive Regulation and Supply Policy", *Auto journal*, 40(12), 55-58, (2018)
- [2] Jung, S. H., "A Recent Trend of Technology in Green Cars - Japan", *Auto journal*, 41(3), 16-19, (2019)
- [3] Park, S. M., Kim, S. D., Jung, C. S., Lee, C. W., Kim, J. W., and Jung, S. W., "Development of intelligent-controlled high voltage PTC for Eco-friendly EV", *KSME*, 144-147, 6, (2011)
- [4] Choi, J. H., and Choi, J. Y., "Research Status of Hydrogen Fuel Cell System Based on Hydrogen Electric Vehicle", *KSE*, 29(4), 26-34, (2020)
- [5] Cho, H. M., and Md. Iqbal Mahmud., "Benefit Analysis of CNG as an Automobile Fuel", *KSCT*, 15(1), 1-8, (2009)
- [6] Noh, K. H., Kim, S. W., Lee, J. C., and K. H. Kim., "Experimental Study On Effect of Automotive Part With Changing The Fuel Lubricity", *KSTLE*, 4, 156-157, (2018)
- [7] Lee, I. K., Lee, J. H., Lee, Y. S., Youm, K. W., Han, J. O., and Lim, H. Y., "Study of Failure Examples for Emission Gas Control System in Gasoline Engine", *KIGAS*, 20(6), 27-42, (2016)

- [8] Nam, C. W., Oh, S. D., Park, J. H., and Lee, M. Y., "Establishment a Strategy to control Gasoline Injector not to be getting clogged in the GDI-CNG Bi-fuel Engine circumstances", *KSME*, 4, 243, (2021)
- [9] Lee, Y. J., "PM NO_x Reduction Technologies and the Role of CEFV (Center for Environmentally Friendly Vehicle)", *Auto journal*, 39(8), 28-33, (2017)
- [10] Chun, S. M., "A Study on the Effect of Soot on Changes in Diesel Engine Oils Dielectric Constant", *KSTLE*, 26(2), 111-121, (2010)
- [11] Lee, I. L., and Lee, J. H., "Study of Failure Examples Involved in Turbocharger System of the Diesel Engine a Vehicle", *KIGAS*, 21(2), 26-31, (2017)
- [12] Song, J. G., and Cha, J. P., "Analysis of CO and NO_x Deviations Under On-road Driving Test of Gasoline Vehicle with Three-way Catalyst", *KSAE*, 29(9), 823-829, (2021)