

ノート

キャピラリーガスクロマトグラフィーによる 特定石油製品の分析

水 城 勝 美, 越 膳 昭, 佐 藤 里 子*

Quantitative Analysis of Aromatic Hydrocarbons in Motor Gasolines by Capillary Gas Chromatography

Katsumi MIZUKI, Akira ECHIZEN, Satoko SATO*

*Yokohama Customs Laboratory,

1-1, Kaigandori, Naka-ku, Yokohama-shi, 231 Japan

A capillary gas chromatographic method for aromatic hydrocarbons in mixed thinner, naphthas, regular motor gasolines and alkylate was described.

The analysis were carried out by nitrogen and carrier gas was used at a inlet pressure of 1.5kg/cm² (capillary column flow 0.91 ml/min) and with a split injection mode with a split ratio 80 : 1 (average linear rate 20 cm/sec).

The capillary column used were Shimadzu Hicap-CBP-1 (equivalent to OV-101).

The relative retention value was used to characterize peak position of aromatic hydrocarbons in the gas chromatograms.

It was found that motor gasoline was a blend of several components, each giving one or more important properties to the finished fuel.

These blending components were mixed thinner, cracked distillate, reformed distillate, alkylate, etc.

1 緒 言

「特定石油製品輸入暫定措置法」に係る特定石油製品の中で、特に自動車燃料用揮発油として輸入される自動車用ガソリンは、改質ガソリン、分解ガソリン、ナフサ、ミックスドシンナー、レギュラー・ガソリン、アルキレートなどがあり、芳香族成分を相当含有しているものが多い。自動車用ガソリンは排気ガス対策の

ために、1975 年からプレミアム・ガソリンを除いて無鉛化され、その代用として各種の方法でオクタン価の高いものが製造されている。

ガソリン類は関税率表上において、芳香族成分が全量の 50%を超えるか否かによって、分類が異なることから、芳香族成分の定量分析が重要となってくる。

ガソリン類のキャピラリーガスクロマトグラフィーによる定性、定量分析は²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾、近年数多く報告され

*横浜税関輸入部分析室 〒231 横浜市中区海岸通 1 の 1

ているが、ガソリン中の成分が多く複雑なことや、分析条件によってピークが変化することから、税関分析でも詳細に検討しているところである。

ここでは、ガソリン中の芳香族成分を定量するために、窒素をキャリアガスとして、OV 系のキャピラリーカラムを用いた時の定性、定量分析について、最適条件を求め輸入ガソリンに応用したので報告する。

2 実 験

2.1 試薬及び試料

各種芳香族炭化水素 (試薬)
輸入ガソリン

2.2 装置及び測定条件

装置及び測定条件を Table 1 に示す。

Table 1 Operational conditions

Instrument : Shimadzu GC-9A gas chromatograph,
equipped with an SPL-G9, split/splitless sample
injection and chromatopac C-R3A
Capillary column : Shimadzu HiCap-CBP-1 (equivalent
to OV-101), 0.2mm ID × 50 m, 0.25 μm in
thick-ness
Capillary temperature : 40°C (4min)-210°C at 4°C/min
Flow rate in split flow line : 25-132 ml/min
Carrier gas: N₂
Inlet Pressure of carrier gas : 1.0-2.0kg/cm²
Injection port temperature : 230°C
Detector : FID, Range : 10¹
Split ratio: 50:1~100 : 1, H₂ : 0.6kg/cm²
Air : 0.5kg/cm²

2.3 実 験

2.3.1 スプリット比の設定

スプリット比は、石けん膜流量計を用いて気化室に入った流量とキャピラリーカラムの流量の比を測定し、それぞれ、50 : 1, 80 : 1, 100 : 1 に設定した。

2.3.2 キャリヤーガス平均線速度の測定

ビニール袋に採取した都市ガスを注入し、そのメタンガスの溶出時間を測定する。カラムのキャリアガス平均線速度は次の式により算出される。

$$u = \frac{L}{tM}$$

u = キャリヤーガス平均線速度

tM = メタンガスの保持時間 (Sec)

L = カラムの長さ (m)

2.3.3 定性分析

ピークの同定は、標準品との比較及び相対保持値によった。

2.3.4 定量分析

関税中央分析所参考分析法 No. 23 ガソリン中の芳香族成分の定量分析法に準じた。

3 結果及び考察

3.1 スプリット比とキャリアーガス平均線速度

窒素ガスをキャリアーガスとして用いた時に、分析時間、分離能及び定量性に影響を及ぼすスプリット比とキャリアーガス平均線速度について検討した結果を、Table 2 に示した。

Table 2 The relationship of flow rate in split flow line and flow rate in capillary column

Inlet pressure (N ₂) (kg/cm ²)	Average linear rate (cm/sec)	Capillary column flow (ml/min)	Split flow line (ml/min)	Split ratio
1.0	13	0.51	25	50:1
1.0	13	0.52	41	80:1
1.0	13	0.52	52	100:1
1.5	20	0.90	44	50:1
1.5	20	0.91	72	80:1
1.5	20	0.91	90	100:1
2.0	27	1.32	65	50:1
2.0	27	1.33	106	80:1
2.0	27	1.33	132	100:1

Column oven at 40 °C

キャリアーガスを一定の圧力に設定し、スプリット比を変化させると、キャリアーガス平均線速度とキャピラリーカラム内の流量は変化しないが、スプリット流量はスプリット比に正比例する。したがって、スプリット比が小さいほどキャピラリーカラム内に試料が多くはいり、ピーク面積は大きくなる。逆にスプリット比が大きいとピーク面積は小さくなる。これらのことからピークの総面積値を考慮してスプリット比は、80 : 1 付近が適当であると考えられる。

スプリット比を 80 : 1 に設定し、キャリアーガスの流量を、1.0~2.0kg/cm² に変化させた時の各芳香族成分のクロマトグラムを Fig. 1 に示した。

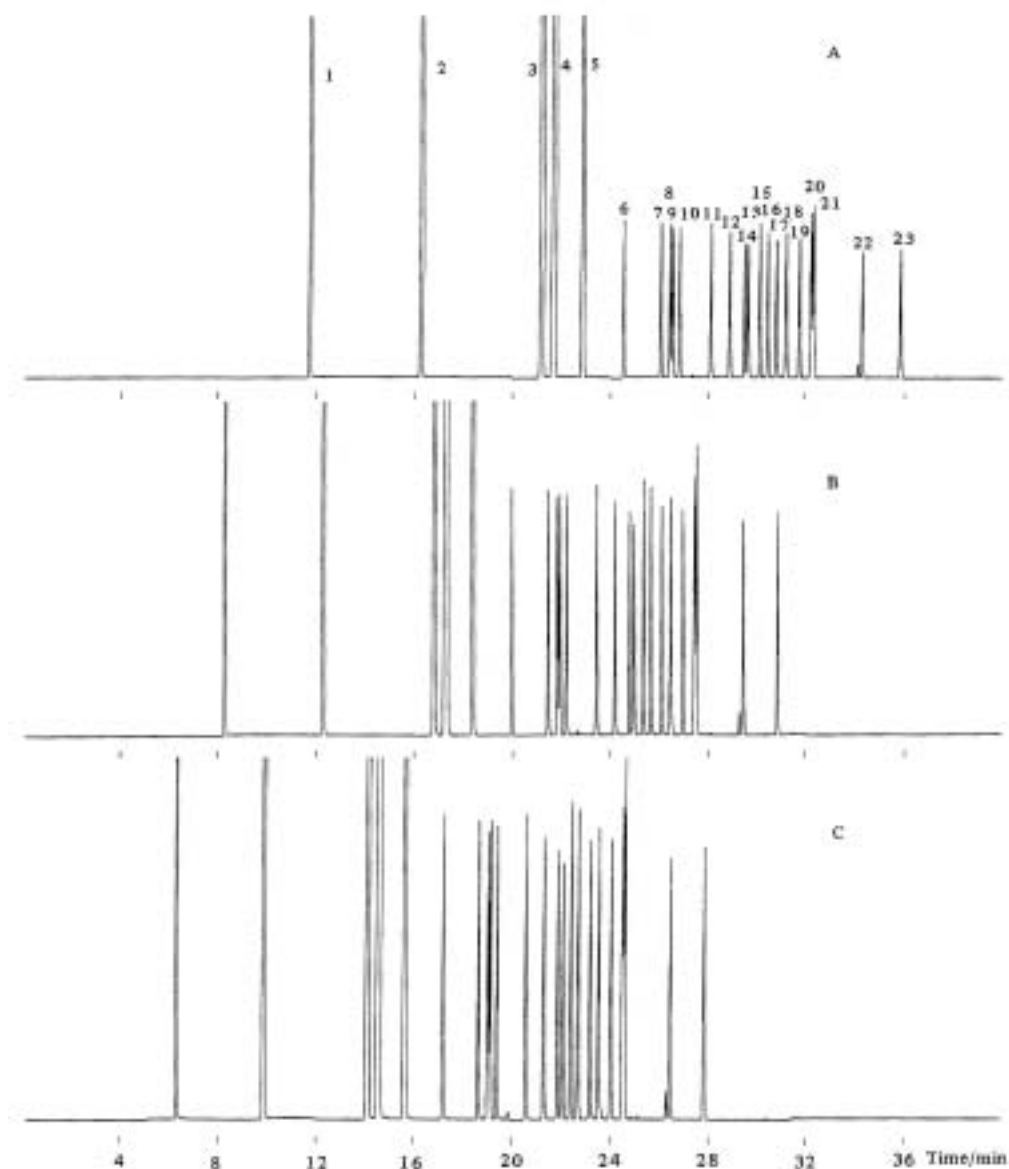


Fig. 1 Gas chromatograms of standard aromatic hydrocarbon mixture separated capillary column.

A : 1.0kg/cm, B : 1.5kg/cm, C : 2.0kg/cm(split ratio 80 : 1)

1. benzene ; 2. toluene ; 3. ethyl benzene ; 4. m-, p-xylene ; 5. o-xylene
6. iso-propyl benzene ; 7. n-propyl benzene ; 8. 1-methyl-3-ethyl benzene ;
9. 1-methyl-4-ethyl benzene ; 10. 1,3,-trimethyl benzene ; 11. 1,2,4-trimethyl benzene ;
12. isobutyl benzene ; 13. 1-methyl-3-isopropyl benzene ;
14. 1,2,3-trimethyl benzene ; 15. indene ; 16. 1,3-diethyl benzene ;
17. n-butyl benzene ; 18. indane ; 19. 1-methyl-2-n-propyl benzene ;
20. 1,3-dimethyl-5-ethyl benzene ; 21. 1,4-dimethyl-2-ethyl benzene ;
22. 1,2,3,5-tetramethyl benzene ; 23. 1,2,3,4-tetramethyl benzene ;

キャリアガスを $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ に設定すると、平均線速度は $13\text{cm}/\text{sec}$ で各芳香族成分の分離能は非常に良好であるが、高沸点成分の溶出が遅くなり、分析時間が長くなる。一方、キャリアガスを $2.0\text{kg}/\text{cm}^2$ に設定すると、平均線速度は $27\text{cm}/\text{sec}$ となり、分析時間は短縮できるが各芳香族成分間の分離は悪くなる。

したがって、実用面からみて、キャリアガスを $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ に設定すると、平均線速度は $20\text{cm}/\text{sec}$ で、各芳香族成分の分離もよく、また、分析時間も短いことから、この条件が最適線速度と考えられる。

3. 2 保持時間と相対保持値

上記の実験結果の保持時間と相対保持値を、Table 3

Table 3 Qualitative data calculated from retention times of aromatic hydrocarbons

Pressure	1.0 kg/cm ²	1.5 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²
Aromatic carbons (split ratio)	(80:1) (min)	(80:1) (min)	(80:1) (min)
1. Benzene	11.71	8.26	6.43
2. Toluene	16.29	12.25	10.00
3. Ethyl benzene	21.20	16.78	14.28
4. m, p-Xylene	21.71	17.27	14.76
5. O-Xylene	22.86	18.34	15.77
6. iso-Propyl benzene	24.50	19.91	18.28
7. n-Propyl benzene	26.04	21.39	18.72
8. 1-Methyl-3-ethyl benzene	26.42	21.77	19.09
9. 1-Methyl-4-ethyl benzene	26.53	21.87	19.19
10. 1,3,5-Trimethyl benzene	26.82	22.15	19.47
11. 1,2,4-Trimethyl benzene	28.11	23.38	20.65
12. iso-Butyl benzene	28.89	24.13	21.38
13. 1-Methyl-3-isopropyl benzene	29.54	24.73	21.95
14. 1,2,3-Trimethyl benzene	29.68	24.92	22.17
15. Indene	30.16	25.30	22.49
16. 1,3-Diethyl benzene	30.48	25.60	22.78
17. n-Butyl benzene	30.84	26.04	23.27
18. Indane	31.23	26.40	23.62
19. 1-Methyl-2-n-propyl benzene	31.77	26.91	24.11
20. 1,3-Dimethyl-5-ethyl benzene	32.24	27.39	24.59
21. 1,4-Dimethyl-2-ethyl benzene	32.34	27.48	24.66
22. 1,2,3,5-Tetramethyl benzene	34.35	29.40	26.54
23. 1,2,3,4-Tetramethyl benzene	35.85	30.83	27.93

及び 4 に示した。各芳香族成分の定性分析を行う場合には、保持時間と標準データを比較する方法が一般的に行なわれている。

Table 4 Qualitative data calculated from relative retention value of aromatic hydrocarbons

Pressure	1.0 kg/cm ²	1.5 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²
Aromatic carbons (split ratio)	(80:1) (min)	(80:1) (min)	(80:1) (min)
1. Benzene	0.479	0.415	0.372
2. Toluene	0.665	0.615	0.579
3. Ethyl benzene	0.866	0.843	0.826
4. m, p-Xylene	0.886	0.868	0.854
5. O-Xylene	0.933	0.921	0.913
6. iso-Propyl benzene	1.000	1.000	1.000
7. n-Propyl benzene	1.063	1.074	1.083
8. 1-Methyl-3-ethyl benzene	1.078	1.093	1.105
9. 1-Methyl-4-ethyl benzene	1.083	1.099	1.111
10. 1,2,3-Trimethyl benzene	1.095	1.112	1.126
11. 1,3,5-Trimethyl benzene	1.148	1.174	1.195
12. iso-Butyl benzene	1.179	1.212	1.237
13. 1-Methyl-3-isopropyl benzene	1.206	1.242	1.270
14. 1,2,3-Trimethyl benzene	1.213	1.252	1.283
15. Indene	1.232	1.271	1.302
16. 1,3-Diethyl benzene	1.245	1.286	1.318
17. n-Butyl benzene	1.259	1.308	1.347
18. Indane	1.275	1.326	1.368
19. 1-Methyl-2-n-propyl benzene	1.297	1.352	1.395
20. 1,3-Dimethyl-5-ethyl benzene	1.316	1.376	1.432
21. 1,4-Dimethyl-2-ethyl benzene	1.320	1.380	1.428
22. 1,2,3,5-Tetramethyl benzene	1.402	1.477	1.453
23. 1,2,3,4-Tetramethyl benzene	1.463	1.548	1.616

しかし、Table 3 に掲げたように、同一カラムでも、分離条件や操作条件によって保持時間が大きく変わるという問題がある。特に、ガソリン類中の芳香族成分は、多種多様であり、操作条件を一定に保つことはむずかしく、また、再現性のある結果を得ることは困難である。これに対して、相対保持値は芳香族成分の定量に用いる内部標準物質のイソプロピルベンゼンを基準にすることで、再現性のよいデータが得られた。この方法は、個人誤差もなく、また、他の実験条件の影響も少ないので比較的正確に未知試料の芳香族成分を

同定することができた。

3.3 芳香族成分の定量分析

窒素をキャリアガスとして用いた時の各種芳香族成分の分析条件は、上記の実験から、キャリアガスは $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 、スプリット比は 80 : 1、平均線速度は $20\text{cm}/\text{sec}$ にセットした。また、定量分析は関税中央分析所参考分析法 No. 23 に準じた。この定量分析は各種芳香族成分の再現性もよく、良好な結果が得られた。

特定石油製品のうち、ガソリンとして輸入される各種の物品は、製造方法や調合によって芳香族成分の含有量が異なっており、次のように大別される。

3.3.1 ミックスドシンナー

ミックスドシンナーとして輸入されるガソリンのクロマトグラムを Fig. 2 に、芳香族成分の値を Table 5 に示した。

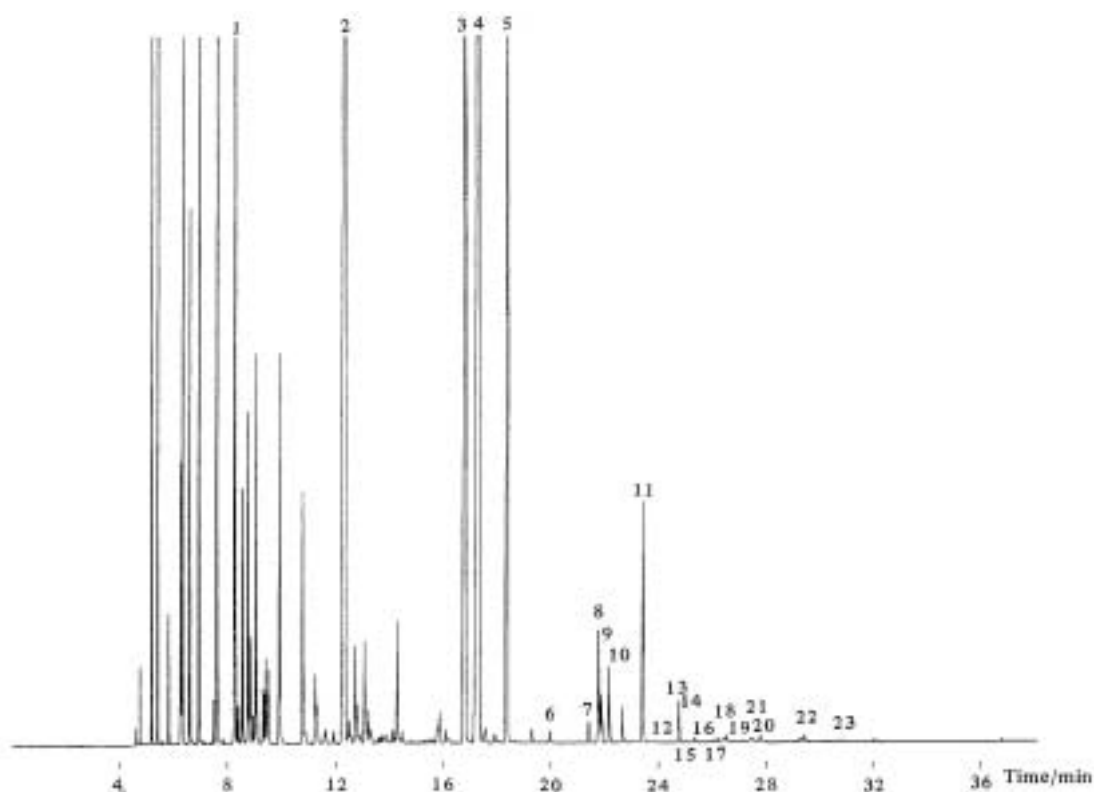


Fig. 2 Gas chromatogram of mixed thinner : ($1.5\text{kg}/\text{cm}^2$, split ratio 80 : 1)

1. benzene ; 2. toluene ; 3. ethyl benzene ; 4. m-, p-xylene ; 5. o-xylene ;
6. iso-propyl benzene ; 7. n-propyl benzene ; 8. 1-methyl-3-ethyl benzene ;
9. 1-methyl-4-ethyl benzene ; 10. 1, 3, 5-trimethyl benzene ; 11. 1, 2, 4-trimethyl benzene ;
12. isobutyl benzene ; 13. 1-methyl-3-isopropyl benzene ;
14. 1, 2, 3-trimethyl benzene ; 15. indene ; 16. 1, 3-diethyl benzene ;
17. n-butyl benzene ; 18. indane ; 19. 1-methyl-2-n-propyl benzene ;
20. 1, 3-dimethyl-5-ethyl benzene ; 21. 1, 4-dimethyl-2-ethyl benzene ;
22. 1, 2, 3, 5-tetramethyl benzene ; 23. 1, 2, 3, 4-tetramethyl benzene ;

Table 5 Quantitative data for mixed thinner

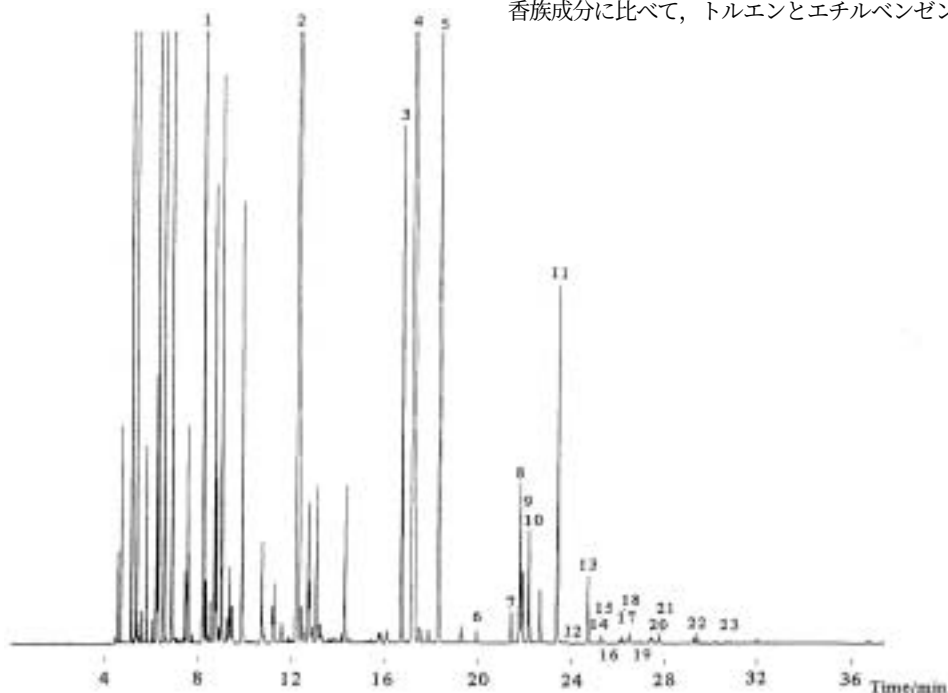
	sample (A) Korea	sample (B) Korea	sample (C) Korea
Aromatic hydrocarbons	(%)	(%)	(%)
1. Benzene	4.90	4.62	4.10
2. Toluene	28.63	28.59	25.22
3. Ethyl benzene	8.52	8.01	7.90
4. m, p-Xylene	17.48	18.68	16.65
5. o-Xylene	5.13	5.46	5.94
6. iso- Propyl benzene	0.05	0.08	0.33
7. n-Propyl benzene	0.09	0.13	0.22
8. 1-Methyl-3-ethyl benzene	0.51	0.61	1.42
9. 1-Methyl-4-ethyl benzene	0.22	0.26	0.58
10. 1,2,4-Trimethyl benzene	1.25	1.31	4.33
11. other	1.06	1.29	3.40
Total	67.84	69.04	70.09

ミックスドシンナーは、通常淡桃色に着色され、オクタン価が高く、また、芳香族成分の含有量も多く、特にトルエン、キシレンで50%近く占めている。クロマトグラムでは、脂肪族成分が低沸点に多く、芳香族成分は高沸点に多くなっている。クロマトグラムの数字は各芳香族成分の位置である。

3.3.2 改質ガソリン

直留ナフサを処理して得られた改質ガソリンのクロマトグラムを Fig.3 に、芳香族成分の値を Table 6 に示した。

クロマトグラムはミックスドシンナーのクロマトグラムのピークパターンとほぼ同じである。改質ガソリンの芳香族成分の含有量は、ミックスドシンナーの芳香族成分に比べて、トルエンとエチルベンゼンの含有

Fig. 3 Gas chromatogram of reformed naphtha (1.5kg/cm², split ratio 80 : 1)

1. benzene ; 2. toluene ; 3. ethyl benzene ; 4. m-, p-xylene ; 5. o-xylene ;
6. iso-propyl benzene ; 7. n-propyl benzene ; 8. 1-methyl-3-ethyl benzene ;
9. 1-methyl-4-ethyl benzene ; 10. 1, 3, 5-trimethyl benzene ; 11. 1, 2, 4-trimethyl benzene ;
12. isobutyl benzene ; 13. 1-methyl-3-isopropyl benzene ;
14. 1, 2, 3-trimethyl benzene ; 15. indene ; 16. 1, 3-diethyl benzene ;
17. n-butyl benzene ; 18. indane ; 19. 1-methyl-2-n-propyl benzene ;
20. 1, 3-dimethyl-5-ethyl benzene ; 21. 1, 4-dimethyl-2-ethyl benzene ;
22. 1, 2, 3, 5-tetramethyl benzene ; 23. 1, 2, 3, 4-tetramethyl benzene ;

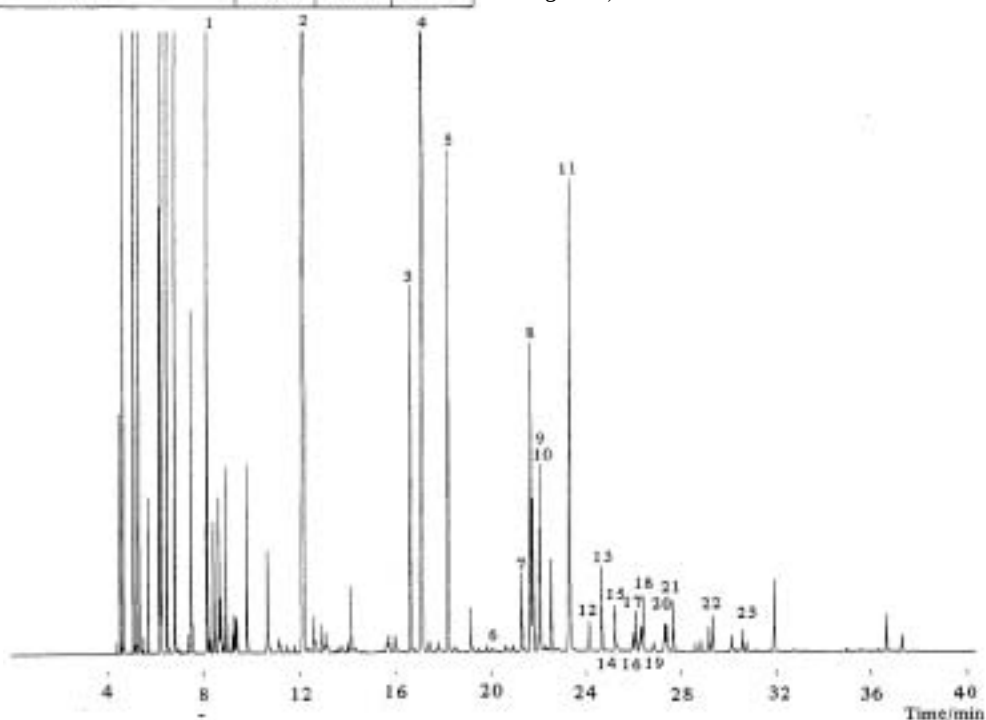
Table 6 Quantitative data for reformed naphtha

	sample (A) Singa- pore	sample (B) Singa- pore	sample (C) Turkey
Aromatic hydrocarbons	(%)	(%)	(%)
1. Benzene	3.80	6.91	2.94
2. Toluene	19.08	23.32	12.17
3. Ethyl benzene	3.60	3.35	5.18
4. m, p-Xylene	16.25	16.24	14.91
5. o-Xylene	5.23	5.38	6.55
6. iso-Propyl benzene	0.16	0.08	0.48
7. n-Propyl benzene	0.73	0.19	1.55
8. 1-Methyl-3-ethyl benzene	2.80	1.19	4.73
9. 1-Methyl-4-ethyl benzene	1.08	0.50	2.02
10. 1,2,4-Trimethyl benzene	3.18	2.73	7.03
11. other	3.74	2.69	7.64
Total	59.59	62.58	65.20

量がかなり少なくなっているが、高沸点の芳香族成分の含有量は多くなっている。改質ガソリンの主な芳香族成分は、トルエンとキシレンで33~43%含有している。なお、トルコ産の改質ガソリンは、他の改質ガソリンに比べてトルエンが少なく、高沸点の芳香族成分が多く含まれている。これは改質ガソリンの製造方法や製造装置の相違によるものと考えられる。

3. 3. 3 レギュラーガソリン

レギュラーガソリンは改質ガソリンと分解ガソリンに直留ガソリンを適量に配合して、オクタン価を規格に合うように調製したもので、オレンジ色に着色したものである。レギュラーガソリンのクロマトグラムをFig. 4に、芳香族成分の値をTable 7に示した。

Fig. 4 Gas chromatogram of regular unleaded gasoline. (1.5kg/cm², split ratio 80 : 1)

1. benzene ; 2. toluene ; 3. ethyl benzene ; 4. m-, p-xylene ; 5. o-xylene ;
6. iso-propyl benzene ; 7. n-propyl benzene ; 8. 1-methyl-3-ethyl benzene ;
9. 1-methyl-4-ethyl benzene ; 10. 1, 3, 5-trimethyl benzene ; 11. 1, 2, 4-trimethyl benzene ;
12. isobutyl benzene ; 13. 1-methyl-3-isopropyl benzene ;
14. 1, 2, 3-trimethyl benzene ; 15. indene ; 16. 1, 3-dlethyl benzene ;
17. n-butyl benzene ; 18. indane ; 19. 1-methyl-2-n-propyl benzene ;
20. 1, 3-dimethyl-5-ethyl benzene ; 21. 1, 4-dimethyl-2-ethyl benzene ;
22. 1, 2, 3, 5-tetramethyl benzene ; 23. 1, 2, 3, 4-tetramethyl benzene ;

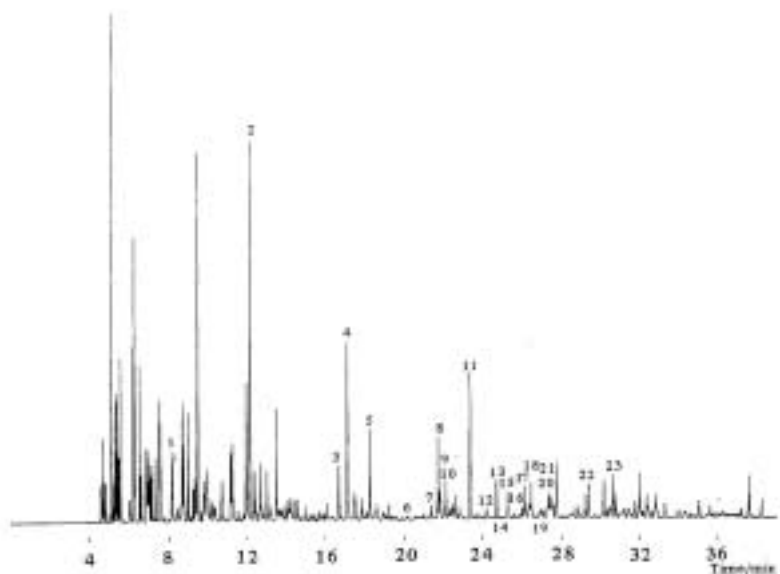
Table 7 Quantitative data for regular unleaded motor gasoline

	sample (A) U.S.A.	sample (B) Singa- pore	sample (C) U.S.A.
Aromatic hydrocarbons	(%)	(%)	(%)
1. Benzene	3.20	3.44	5.64
2. Toluene	11.60	18.03	14.53
3. Ethyl benzene	2.34	2.79	2.43
4. m, p-Xylene	9.63	11.78	9.82
5. o-Xylene	3.42	4.60	3.34
6. iso-Propyl benzene	0.14	0.05	0.06
7. n-Propyl benzene	0.71	0.18	0.60
8. 1-Methyl-3-ethyl benzene	2.59	0.87	2.30
9. 1-Methyl-4-ethyl benzene	1.09	0.37	0.98
10. 1,2,4-Trimethyl benzene	4.22	1.76	3.64
11. other	8.46	1.27	8.46
Total	47.40	45.14	51.80

このレギュラーガソリンは、クロマトグラムから改質ガソリンと直留ガソリンを調合して製造したガソリンと推定される。改質ガソリンから製造したものは、トルエンとキシレンを主成分とし、高沸点の芳香族成分が少ないことから、再現性もよく、良好な結果が得られた。

一方、Fig. 5 に示したモーターガソリンのクロマトグラムは、Fig. 6 に示した分解ガソリンのクロマトグラムのピークパターンに類似していることから、このモーターガソリンは分解ガソリンから調合されたものと考えられる。

これらのガソリンは、高沸点の芳香族成分を多く含有し、また、分解によって生じたナフテン系炭化水素も同様な位置に、多数のピークが検出されるので、芳香族成分の同定及び定量が非常にむずかしくなる。このようなガソリンの芳香族成分の定量分析は、PEG

Fig.5 Gas chromatogram of gasoline for motor (1.5kg/cm², split ratio 80 : 1)

1. benzene ; 2. toluene ; 3. ethyl benzene ; 4. m-, p-xylene ; 5. o-xylene ;
6. iso-propyl benzene ; 7. n-propyl benzene ; 8. 1-methyl-3-ethyl benzene ;
9. 1-methyl-4-ethyl benzene ; 10. 1, 3, 5-trimethyl benzene ; 11. 1, 2, 4-trimethyl benzene ; 12. isobutyl benzene ;
13. 1-methyl-3-isopropyl benzene ;
14. 1, 2, 3-trimethyl benzene ; 15. indene ; 16. 1, 3-diethyl benzene ;
17. n-butyl benzene ; 18. indane ; 19. 1-methyl-2-n-propyl benzene ;
20. 1, 3-dimethyl-5-ethyl benzene ; 21. 1, 4-dimethyl-2-ethyl benzene ;
22. 1, 2, 3, 5-tetramethyl benzene ; 23. 1, 2, 3, 4-tetramethyl benzene ;

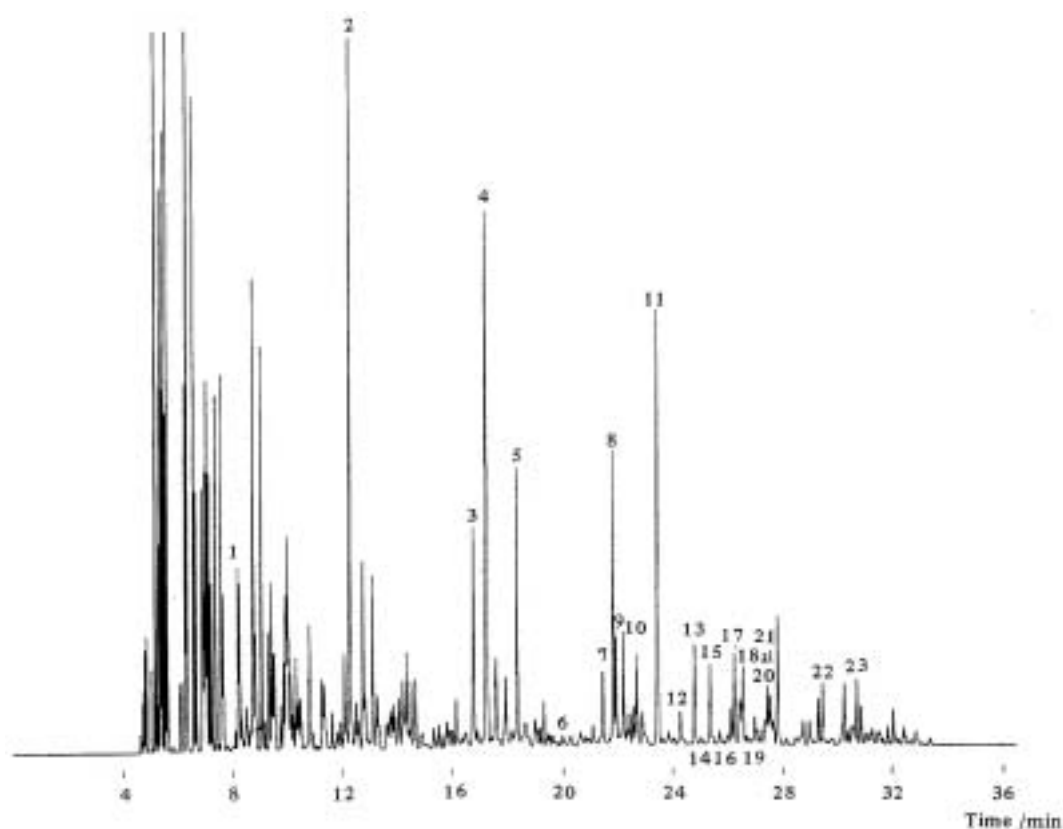


Fig. 6 Gas chromatogram of FCC gasoline (1.5kf/cm², split ratio 80 : 1)

1. benzene ; 2. toluene ; 3. ethyl benzene ; 4. m-, p-xylene ; 5. o-xylene ;
6. iso-propyl benzene ; 7. n-propyl benzene ; 8. 1-methyl-3-ethyl benzene ;
9. 1-methyl-4-ethyl benzene ; 10. 1, 3, 5-trimethyl benzene ; 11. 1, 2, 4-trimethyl benzene ; 12. isobutyl benzene ; 13. 1-methyl-3-isopropyl benzene ;
14. 1, 2, 3-trimethyl benzene ; 15. indene ; 16. 1, 3-diethyl benzene ;
17. n-butyl benzene ; 18. indane ; 19. 1-methyl-2-n-propyl benzene ;
20. 1, 3-dimethyl-5-ethyl benzene ; 21. 1, 4-dimethyl-2-ethyl benzene ;
22. 1, 2, 3, 5-tetramethyl benzene ; 23. 1, 2, 3, 4-tetramethyl benzene ;

系のキャピラリーカラムで芳香族成分をチェックする必要がある。

レギュラーガソリンは、芳香族成分の含有量が50%前後のものがあ、正確な分析が必要である。

3. 3. 4 アルキレートガソリン

アルキレートはイソブタンをイソブチレンでアルキル化して生じた高オクタンガソリンである。アルキ

レート中の芳香族成分は、0.5%程度であった。

4 要 約

特定石油製品の中で、自動車燃料用揮発油として輸入される自動車用ガソリン類中の芳香族成分の定量分析について検討した。窒素をキャリアガスとして用いる場合の芳香族成分の分離条件は、キャリアガス

1.5kg/cm², スプリット比 80:1, 平均線速度 20cm/sec が良好であった。この分離条件で測定した各芳香族成分の定性分析は, 保持時間で同定するよりも, 内部標準物質にイソプロピルベンゼンを用いた相対保持値のほうが, 他の実験条件の影響が少ないことから, 未知試料の同定に有用であった。

芳香族成分の定量分析は, 参考分析法 No. 23, ガソリン中の芳香族成分の定量法に基づいて, 上記の分析条件で実験を行なった結果, 良好な値が得られた。これらの芳香族成分は, ミックスドシンナー, 改質ガソリン, レギュラーガソリン, 分解ガソリン及びアルキレートの特徴的な値を示した。

文 献

- 1) 日本石油株式会社編“石油便覧”, 石油春秋社, (1982)
- 2) 中村宗和: 石油学会誌, 51, 16, 51 (1973)
- 3) Basant Kumar et. al: J. Chromatogr. Science, vol. 24, 99 (1986)
- 4) R. R Freeman: キャピラリ ガスクロマトグラフィー, Y. H. P, 150 (1983)
- 5) 正田芳郎・小島次雄: 高分解能ガスクロマトグラフィー, 化学同人, 43 (1983)
- 6) 杉本成子, 嶋田勝: 本誌, 25. 35 (1985)