

# 아세톤 용매분해법에 의한 헤미셀룰로오스의 분해특성 및 연료물질의 생성

이종집\*<sup>†</sup>

\*공주대학교 화학공학부

## Degradation Properties and Production of Fuels from Hemicellulose by Acetone-Solvolyis

Jonglib Lee\*<sup>†</sup>

\*School of Chemical Engineering, Kongju National University,  
275 Budae-dong Cheonan-si Chungnam 330-717, Korea

### ABSTRACT

In this study, thermochemical degradation of hemicellulose by Acetone-Solvolyis, the effects of reaction temperature, conversion yield, degradation properties and degradation products were investigated. Experiments were performed in a tube reactor by varying reaction temperature from 200°C to 400°C at 40 min of reaction time.

The liquid products from pyrolysis-liquefaction of hemicellulose contained various kinds of ketones. ketones, as 4-methyl-3-penten-2-one, 3-methylene-2-pentanone, 2,2,6-dimethyl-2, 5-heptadien-4-one, 4-methyl-2-pentanone, 5-methyl-2-hexanone, 3,5,5-trimethyl-2-cyclohexen-1-one, and bezenes. as 1,4-dimethylbenzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene, 1,4-dimethyl-2-(2-methylpropyl)benzene, 4-sec-butyl-ethyl benzene, could be used as high-octane-value fuels and fuel additives.

Combustion heating value of liquid products from thermochemical conversion processes of hemicellulose was in the range of 6,680~7,170cal/g. After 40min of reaction at 400°C in Acetone-Solvolyis of hemicellulose, the energy yield and mass yield was as high as 72.2% and 41.2g oil/100g raw material, respectively.

**KEY WORDS** : alternative fuel(대체연료), new energy(신에너지), biomass(바이오매스), solvolysis (용매 분해반응), hemicellulose(헤미셀룰로오스)

## 1. 서 론

바이오매스는 태양에너지에 의한 광합성을 통해 끊임없이 재생되는 무한 자원으로 임산자원, 농업 부산물, 해양생물, 유기성 폐기물 등과 생명체로부터 유래되는 모든 것들이 포함되는데, 이러한

<sup>†</sup>Corresponding author : jjlee@kongju.ac.kr

바이오매스를 적절한 방법을 사용하여 화석연료와 유사한 성질을 가진 합성연료로 전환시켜 화석연료를 대체하게 된다면 석유의존도를 줄이는 방법이 될 수 있다<sup>1)</sup>.

바이오매스가 화석연료를 대체하기 위해서는 바이오매스를 사용하기에 적합한 형태로 전환하는 공정의 개발이 필수적이라 할 수 있는데, 바이오매스를 직접 또는 간접적으로 액화시키거나 가스화하여 연료로 사용하고자 하는 연구가 시도되어 T. B. Reed<sup>2)</sup>, M. Olazar 등<sup>3)</sup>과 F. A. Agblevor 등<sup>4)</sup>의 많은 연구자들에 의해 연구가 진행되어 다양한 반응 조건하에서 분자 중에 산소를 풍부하게 함유하는 합산소 연료물질(oxygenates) 생성과 다양한 화학제품의 제조가 가능한 화학약품이 생성되어 석유대체 가능성이 있음을 보고하였다.

본 연구에서는 이러한 선행연구를 바탕으로 바이오매스의 구성 성분중의 하나인 헤미셀룰로오스를 직접 아세톤으로 용매분해하여 바이오매스를 열분해할 경우 고점도 타르성 물질의 생성에 의해 생성물의 회수 및 분리 등 취급이 용이하지 않은 문제점을 해결하기 위한 동시에<sup>5)</sup> 초임계 상태 유체의 물리적 특성인 높은 용해력 및 확산계수, 빠른 물질이동과 열전달 특성 등을<sup>6)</sup> 응용하여 바이오매스 분해효율을 향상시키고, 고옥탄가의 연료물질 및 석유화학 원료 대체물질의 생성에 대한 가능성을 연구하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험재료 및 시약

헤미셀룰로오스는 글루코오스(glucose), 만노스(mannose), 자일로스(xylose) 등의 잔류물로 구성된 다당류의 혼합물로, 본 실험에서는 Sigma사의 beechwood로부터 생산된 90% 이상의 xylose 잔류물을 포함하는 시약인 자일란(xylan)을 구입하여 사용하였다.

### 2.2 실험 장치

소형반응기는 3/4" SUS pipe를 10 cm길이로 절단한 후 고온·고압에 견딜 수 있도록 양끝은 swagelock cap으로 밀봉하였으며 반응물의 충전 및 생성물의 회수를 위한 개폐가 가능하도록 튜브 형태로 제작하였다. 다량의 반응물을 얻고자 할 때 사용한 autoclave형 반응장치는 내용적이 300 ml로 자동온도조절장치, 압력조절장치, 외부 유출관과 밸브, 안전장치 및 교반장치를 설치하였고, 반응기 내부의 반응상태 변화를 실시간 모니터링하고 자동조절이 가능하도록 구성하였다<sup>7)</sup>.

또 생성된 물질 중 가스상 물질은 가스포집장치를 이용하여 포집하였고, 타르 및 액상반응물은 증류에 의해 분리하거나 용매분해에 사용된 용매인 아세톤을 제거하기 위하여 미량증류장치(Buchi Glass Oven B-580)를 사용하였다<sup>7)</sup>.

### 2.3 실험 방법

헤미셀룰로오스에 대한 열분해·액화(pyrolysis-liquefaction)반응은 반응온도 200~400°C의 범위에서 50°C 간격으로 변화시켰고, 반응시간은 전보의 실험결과<sup>8)</sup>를 바탕으로 미리 소정의 온도로 예열된 상태에서 40분으로 고정하여 시행하였다. 또한 선정된 용매와 시료의 혼합비율은 반응시 발생 압력에 따른 실험의 안전성, 액상 생성물 수득의 용이성 등을 검토하여 가장 적절하다고 판단된 시료:용매의 혼합비율을 1:7로 결정하였으며 이를 기준으로 실험을 진행하였다<sup>9)</sup>. 그에 따라 내용적 300 ml인 autoclave 반응기에는 원료 22.5 g과 아세톤 150 ml를 사용하였다. 반응이 완료된 후에는 반응기를 곧바로 얼음물에 넣어 약 20분 간 냉각시킨 후 개봉하였다. 열분해·액화반응 후의 생성물 성상은 액상물질과 고상물질이 서로 반죽되어 있는 페이스트상이기 때문에 염화메틸렌, n-헥산 및 아세톤 등을 추출용매로 soxhlet 장치를 사용한 추출조작에 의해 분리, 수득하였다.

추출한 반응생성물은 여과·분리한 후 액상생성물은 시료병에 담아 냉장장치에서 4°C로 보관하였으며, 고상잔류물은 아세톤으로 수회 세척한 후 다시 증류수로 세척하여 건조기에서 105°C로 24시

간 건조시킨 다음 중량을 측정하고 액상생성물과 같은 방법으로 보관하였다.

## 2.4. 분석

### 2.4.1. 전환율 측정

셀룰로오스의 열화학적 전환반응을 통한 액상 또는 기상 생성물의 수율을 정확하게 산출하는 것은 용이하지 않기 때문에, 반응전의 원료 셀룰로오스의 중량과 반응 후 잔류된 고형물질의 중량 차이로부터 다음 식을 사용하여 셀룰로오스의 전환율을 계산하였다.

$$\text{전환율} = \left(1 - \frac{\text{잔류고형물의 건조중량}}{\text{원료의 건조중량}}\right) \times 100$$

### 2.4.2. 분석

헤미셀룰로오스의 열화학적 전환반응에 의해 생성된 액상 및 기상생성물의 성분분석을 위하여 GC/MS(Agilent tech., GC system G1530A, HP5973 mass selective detector)에 HP-1 capillary column(methyl siloxane, 50.0 m×0.2 mm×0.33 μm nominal)을 장착하였으며 캐리어 가스로는 헬륨(He)을 사용하고, column head pressure 1.57 Kg/cm<sup>2</sup>, flow rate 0.7 ml/min, split ratio 100:1의 조건에서 오븐온도를 초기 40℃에서 5℃/min의 속도로 상승시켜 280℃까지 체류시간 48분으로 하여 분석하였다. 또, 생성물의 정량을 위하여 GC(Younglin M600D)를 사용하였는데 컬럼과 분석조건은 GC/MS와 동일하게 설정하였고 detector는 FID를 사용하였다. 생성물에 대한 흡광도 측정은 UV-Visible spectrophotometer (Hitachi U-2000)를 사용하여 분석하였다. 헤미셀룰로오스 원료물질의 열화학적 전환반응에 의한 결합의 절단 및 분해 경향 등을 조사하기 위하여 FT-IR(Bio-Rad, FTS 135)을 사용하여 측정영역 400~4000 cm<sup>-1</sup>에서 분석하였다(Bio-Rad, FTS 135)을 사용하여 분석하였다.

### 2.4.3 발열량 측정 및 에너지 수율 계산

헤미셀룰로오스의 열화학적 전환반응에 의해 생성된 액상 생성물이 연료로 사용 가능한지 확인하기 위하여 PARR Calorimeter를 사용하여 KSM 2057법에 의해 발열량을 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 열분해 용매의 선정

헤미셀룰로오스의 용매분해에 사용할 유기용매로는 전보<sup>9)</sup>의 실험결과를 토대로 헤미셀룰로오스에 대한 용해력과 고온고압에서의 반응안정성 및 유해물질 생성 여부와 바이오매스 분해효율 등을 고려하여 아세톤을 사용하였다. 아세톤의 물성을 Table 1에 종합하였다.

### 3.2. 용매분해 반응에 대한 헤미셀룰로오스의 전환율

헤미셀룰로오스의 주성분인 자일란을 아세톤으로 용매분해하면 액상물질과 기상물질이 생성되지만 기상물질의 경우에는 CO와 CO<sub>2</sub> 등을 제외하면 크게 주목할 만한 성분이 없어서 주로 액상생성물질을 대상으로 구한 전환율 변화곡선을 Fig. 1에 나타내었는데, 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 acetone을 사용한 용매상 열분해의 경우 전환율은 200℃에서는 상당히 낮은 수준인 27.6%에 이르렀고 반응온도가 250℃로 증가함에 따라 급격한 전환율의 상승 현상을 보여 57.4%를 나타내었으며 300℃ 이상에서는 점진적으로 완만하게 상승하여

Table 1 Chemical properties of Acetone<sup>10)</sup>

| property        | value                    |
|-----------------|--------------------------|
| Density         | 0.79g/cm <sup>3</sup>    |
| Boiling Point   | 56.2℃                    |
| Flash Point     | -17.0℃                   |
| Critical Temp.  | 234.9℃                   |
| Critical Press. | 47.94 Kg/cm <sup>2</sup> |

400°C에서 71.4%의 전환율을 나타내었다. 이러한 현상으로 미루어 볼 때 여러 가지 당당류의 복합체인 헤미셀룰로오스의 다당류 구조에서 주요 결합사슬의 분해가 활발하게 일어나는 반응온도는 200~250°C의 범위인 것으로 판단할 수 있었으며 또한 acetone을 사용한 용매상 열분해반응의 경우 200°C에서 전환율이 낮게 나타나는 현상은 앞서 언급한 Table 1에 나타난 용매의 물성에서 알 수 있는 바와 같이 acetone이 초임계 상태에 도달하지 못한 상태에서 반응이 진행되어 오히려 acetone이 직접적인 열분해를 방해하게 되는 현상에 기인하는 것으로 판단되었다.

또한 400°C 이상이 되면 전환율이 계속 증가할 것으로 예측되었으나 실제로는 반응온도가 상승함에 따라 헤미셀룰로오스의 분해와 함께 탄화가 진행되는 현상이 발생하여 실험조건에서 제외하였다.

### 3.3. FT-IR 분석에 의한 벚짚의 분해 특성

헤미셀룰로오스의 열화학적 전화반응에 의한 결합의 파괴 및 결합세기의 감소를 확인하여 분해 경향을 파악하고자 반응 후 생성된 고형물질을 각 반응온도별로 FT-IR을 사용하여 분석하였는데 Fig. 2에는 견질목 헤미셀룰로오스의 주요 성분인 자일란에 대해 acetone을 사용한 용매상 열분해

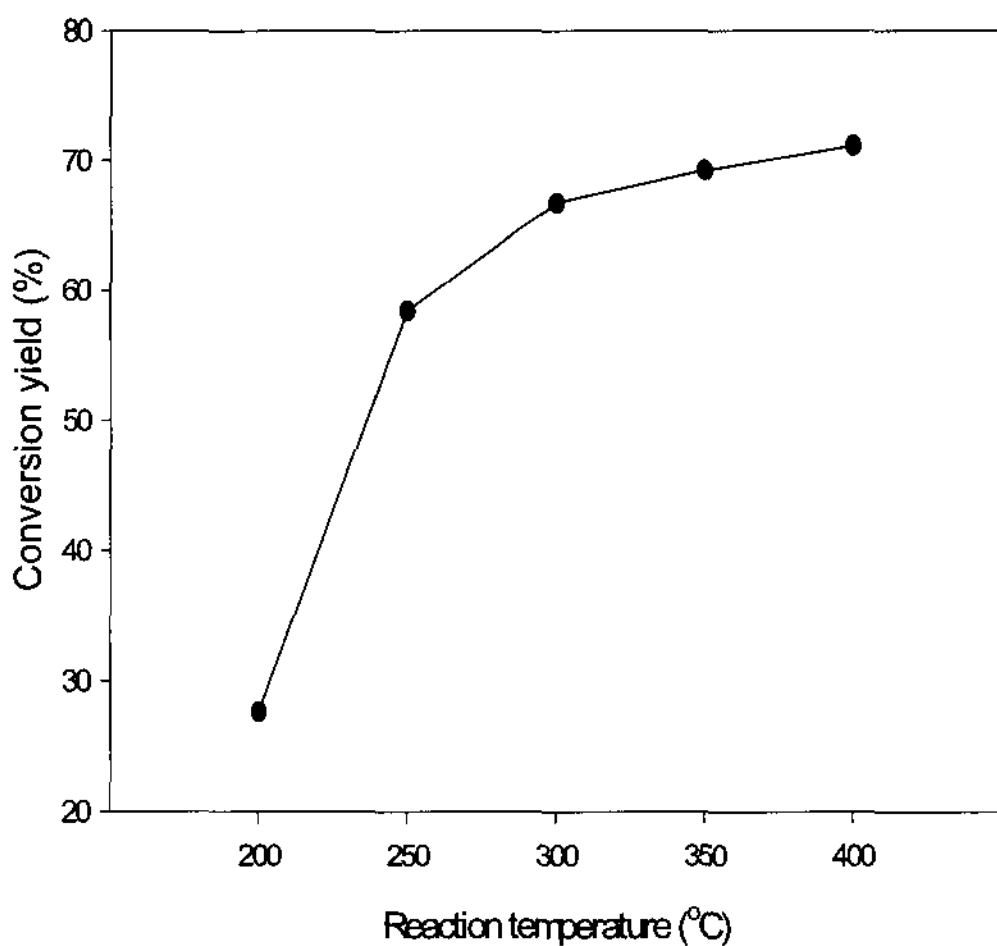


Fig. 1 Effect of reaction temperature on conversion yield in solvolysis of hemicellulose(Reaction time : 40 min)

경향을 보여주는 FT-IR 스펙트럼을 나타내었다. 헤미셀룰로오스의 FT-IR 스펙트럼 형태는 셀룰로오스의 스펙트럼과 상당히 유사한 형태를 보여주었는데, 3400~3200 cm<sup>-1</sup>의 폭넓은 OH stretch band와 1046 cm<sup>-1</sup>에 1차 알코올의 C-O band가 높은 피크를 갖는 경향을 나타냈다. Acetone을 사용하여 용매상 열분해반응을 수행한 경우에는 1046 cm<sup>-1</sup>의 피크가 300°C에 이르러 완전히 소멸되는 현상을 나타내었지만 1640~1540 cm<sup>-1</sup>에 나타나는 carbonyl bond가 250°C 반응에서는 증가되는 현상을 나타낸 후 반응온도가 증가함에 따라 약간 감소하였지만 완전히 소멸되지는 않는 것으로 확인되었다. 또한 두 반응에서 공통적으로 3400~3200 cm<sup>-1</sup> 대에 넓은 OH stretch band 또한 리그닌과 셀룰로오스의 열화학적 전환반응에 비하여 고온의 반응에서도 비교적 높은 결합의 세기를 유지하는 것으로 나타났다.

### 3.4. 분해 생성물의 성분 분석

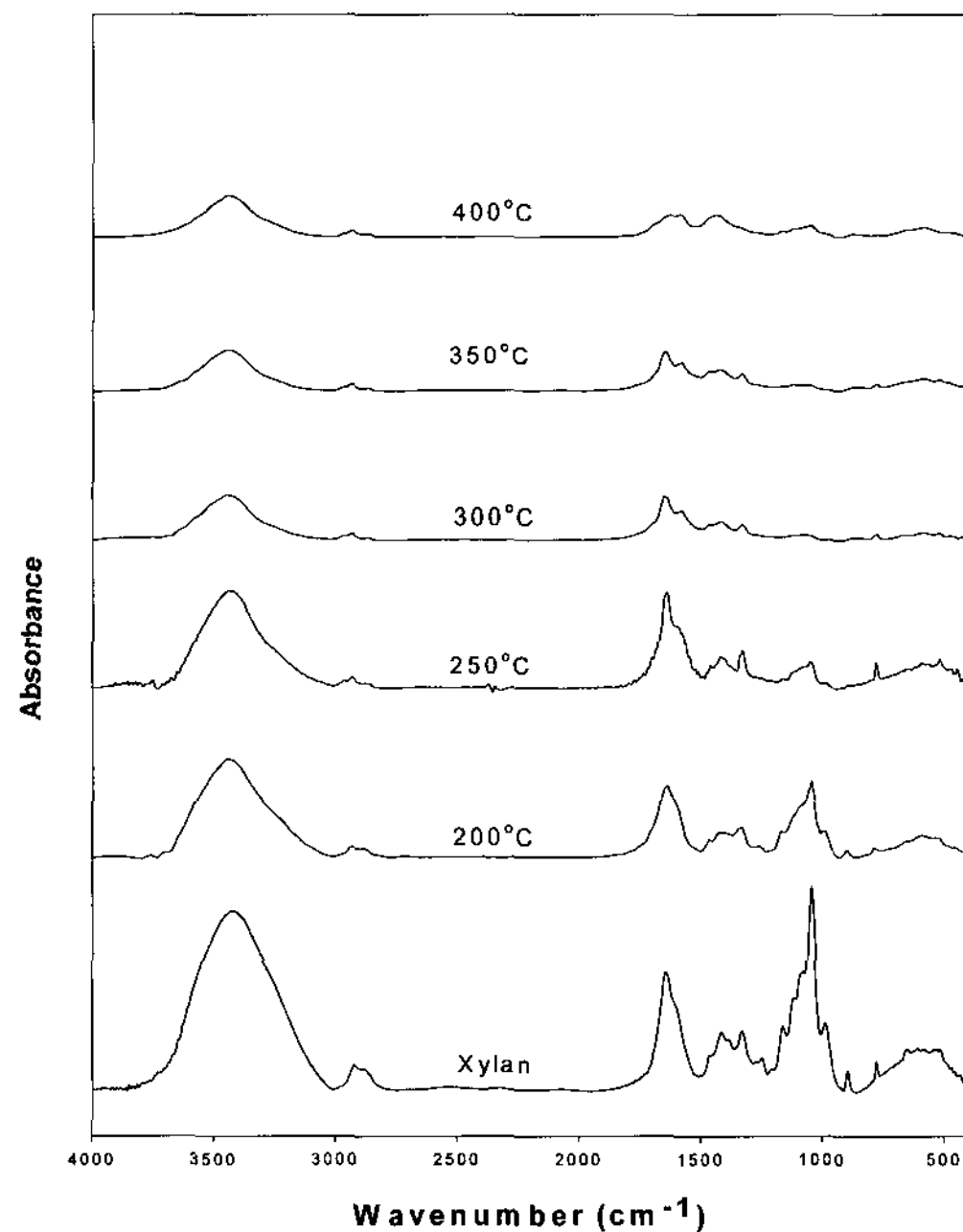


Fig. 2 FT-IR spectrum of solid residue remained after solvolysis of hemicellulose by acetone at various temperature(Reaction time : 40 min)

헤미셀룰로오스의 열화학적 전환반응에 의한 분해생성물을 조사하기 위해 헤미셀룰로오스의 일종인 자일란을 대상으로 acetone을 사용한 용매상 열분해반응을 시행하여 생성된 액상의 물질을 GC/MS 및 GC를 사용하여 분석하였다. Acetone을 사용하여 반응한 경우 액상 생성물의 GC 크로마토그램을 Fig. 3에 나타내었고 그 종류는 Table 2에 각각 나타내었다.

크로마토그램의 비교를 통하여 알 수 있는 바와 같이 acetone을 사용한 자일란의 용매상 열분해시 생성물의 종류와 농도는 반응온도가 높아질수록 증가하는 현상을 보여주었다. 200°C에서는 GC 컬럼에 의해 분리가 되지 않고, 또한 그러한 이유로 인해 GC/MS에 의해 성분 분석이 되지 않는 타르와 높은 분자량의 물질이 다량 검출되었으며 250°C에 이르러 furan류 및 acetone에 의한 부

생성물의 농도가 증가하는 것을 확인하였다.

250°C에서는 체류시간 20분경에 GC/MS에 의한 분석에 의해서도 정확히 확인되지 않는 두 종류의 물질이 상당히 높은 농도로 생성되었다가 300°C의 반응 시에는 완전히 소멸되는 현상을 발견하였는데 이는 GC 컬럼에 의해 생성물이 분리될 경우 캐리어가스의 유속 및 승온조작 등이 적절치 않아서 피크의 순도가 감소하게 되며 그에 따라 질량검출기에 의한 정확한 판독이 가능하지 않은 것으로 판단되었다.

한편 250°C에서는 GC에 의한 검량 결과, 전체 생성물 중 mesityl oxide의 함량이 77%에 이르는 것으로 확인되었으며 반응온도 350°C에서는 benzene류 및 phenol류 등 방향족 화합물이 생성되기 시작하는 것으로 확인되었는데 xylene이 350°C에서 일시적으로 생성된 후 400°C에서는 소멸되는 것으로 분석되었다.

또한 1,2,4-trimethyl benzene, mesitylene 등 C<sub>3</sub>-benzene의 생성이 350°C에 이르러 급격하게 증가하는 것으로 확인되었는데 이는 자일란의 분해 생성물에 의해 고리화를 통한 mesitylene의 생성량 증가 현상이 발생했다기보다는 acetone의 알돌축합에 의한 mesitylene의 대량 생성 가능성이 더 큰 것으로 판단되었다.

acetonealcohol, isophorone 및 me-sitylene 등 acetone에 의한 부생성물의 양과 자일란의 분해에 의한 생성물의 양이 상당히 증가하는 것으로 확인되었으며 특히, 4-methyl-3-penten-2-one, 3-methylene-2-pentan-one, 2,2,6-dimethyl-2,5-heptadien-4-one, 4-methyl-2-pentanone, 5-methyl-2-hexanone, 3,5,5-trimethyl-2-cyclohexen-1-one 등과 같은 케톤류와 1,4-dimethylbenzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene, 1,4-dimethyl-2-(2-methylpropyl)benzene, 4-sec-butyl-ethyl benzene 등과 같은 벤젠류가 많이 생성되었고 cresol류 등의 방향족화합물과 나프탈렌류 등의 다환체 방향족화합물의 수와 농도도 상당히 증가되는 것으로 나타났다.

한편 기존에 발표된 문헌<sup>11)</sup>에서 제시되고 있는

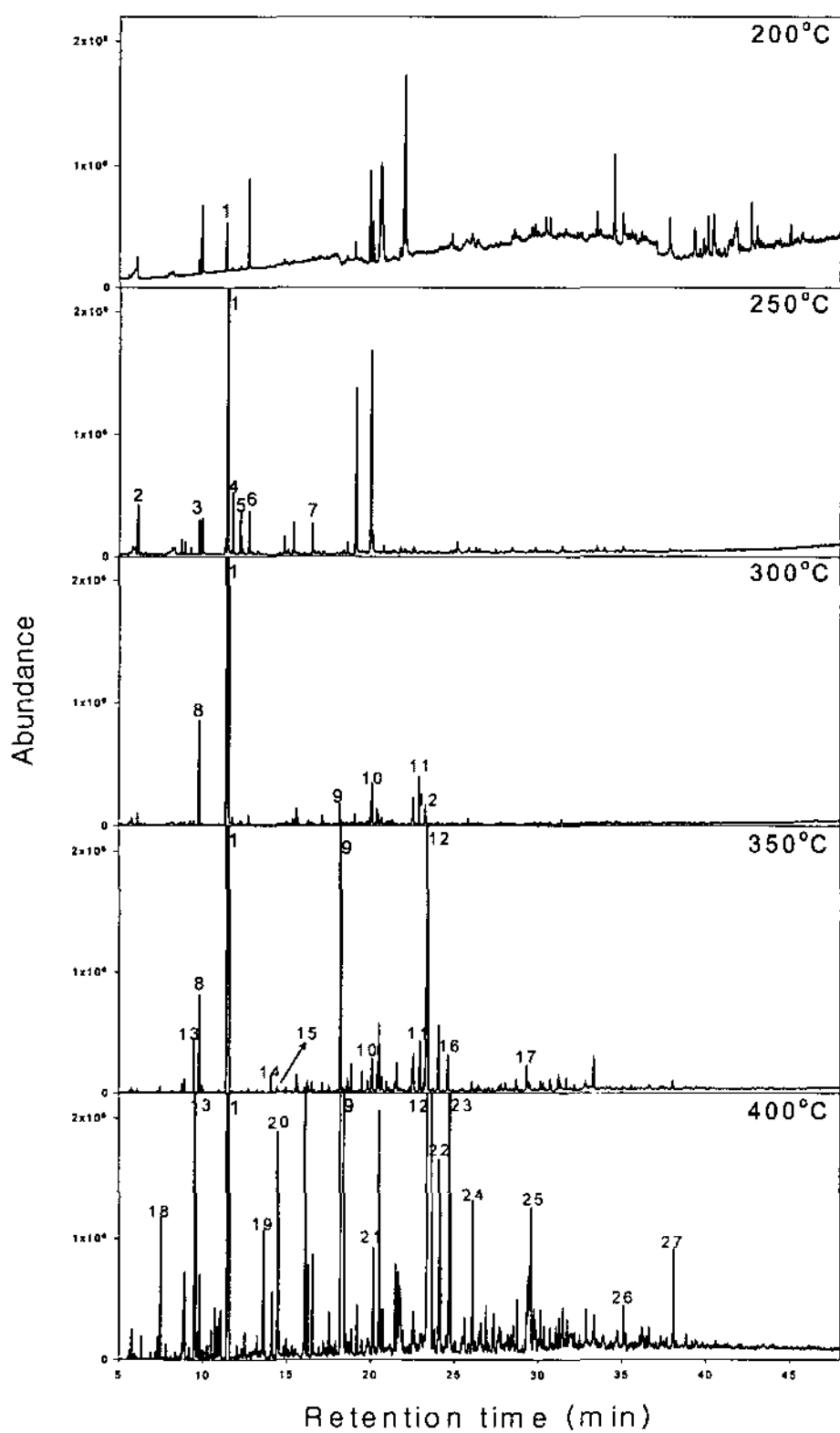


Fig. 3 GC chromatogram for liquid products from xylan by acetone-solvolysis

Table 2 The main products from acetone-solvolysis of xylan

| Peak No. | Products  |
|----------|---|
| 1        | 4-methyl-3-penten-2-one                           |
| 2        | 3-methyl furan                                    |
| 3        | 3,4-dimethyl-2-pentene                            |
| 4        | 1-(2-furanyl)-ethanone                            |
| 5        | 1,2,3,4-tetramethyl cyclobutene                   |
| 6        | 4-hydroxy-4-methyl-2-pentanone                    |
| 7        | Furaneol  |
| 8        | 3-methylene-2-pentanone                           |
| 9        | C3-benzene  |
| 10       | 2,3-dimethylcyclopent-2-en-1-one                  |
| 11       | 2,6-dimethyl-2,5-heptadien-4-one                  |
| 12       | 3,5,5-trimethyl-2-cyclohexen-1-one                |
| 13       | 4-methyl-2-pentanone                              |
| 14       | 5-methyl-5-hexen-2-one                            |
| 15       | Xylene  |
| 16       | 3,4-dimethyl phenol                               |
| 17       | 1-(2,3,4-trimethylphenyl)-ethanone                |
| 18       | 4,4-dimethyl-2-pentene                            |
| 19       | 5-methyl-2-hexanone                               |
| 20       | 1,4-dimethylbenzene                               |
| 21       | 1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene                |
| 22       | 2,4-dimethyl phenol                               |
| 23       | 3,5-dimethyl phenol                               |
| 24       | 1,4-dimethyl-2-(2-methylpropyl) benzene           |
| 25       | 4-sec-butyl-ethylbenzene                          |
| 26       | 1,2-dihydro-2,5,8-trimethyl-naphthalene           |
| 27       | 3,4-dihydro-3,3,6,8-tetramethyl-1(2H)-naphthalene |

자일로스의 분해에 의한 formaldehyde와 acetic acid의 생성을 여러 면으로 관찰하고자 하였으나 직접적인 이들 물질의 생성은 분석되지 않았지만 이들의 전환에 의해 생성된 것으로 추정되는 여러 가지 알데히드류와 벤조산 등의 유기산류가 소량

Table 3 Heating value, mass yield of liquid products(reaction time : 40min)

| No. | Reaction condition | Heating Values (cal/g) | Mass yield of oil (g oil/100g-raw material) |
|-----|--------------------|------------------------|---|
| 1   | 200 °C             | 6,960                  | 30.4  |
| 2   | 250 °C             | 7,080                  | 34.6  |
| 3   | 300 °C             | 7,320                  | 36.5  |
| 4   | 350 °C             | 7,740                  | 39.7  |
| 5   | 400 °C             | 8,270                  | 43.1  |

존재함을 확인하였다.

### 3.5. 생성물의 연료 타당성 검토

최근 가솔린의 완전연소를 유도하여 배출가스에 의한 대기오염 문제를 해결하고 연료의 옥탄가를 향상시키기 위한 재료로 화합물의 분자 구조 중에 산소를 풍부하게 함유하고 있는 물질을 가솔린에 첨가하여 사용하고자 하는 시도가 계속되어 왔으며, 그에 따라 알콜류로 메탄올, 에탄올이 사용될 수 있고 에테르류가 폭넓게 함산소의 연료 첨가제로 사용되고 있다. 특히, MTBE(methyl

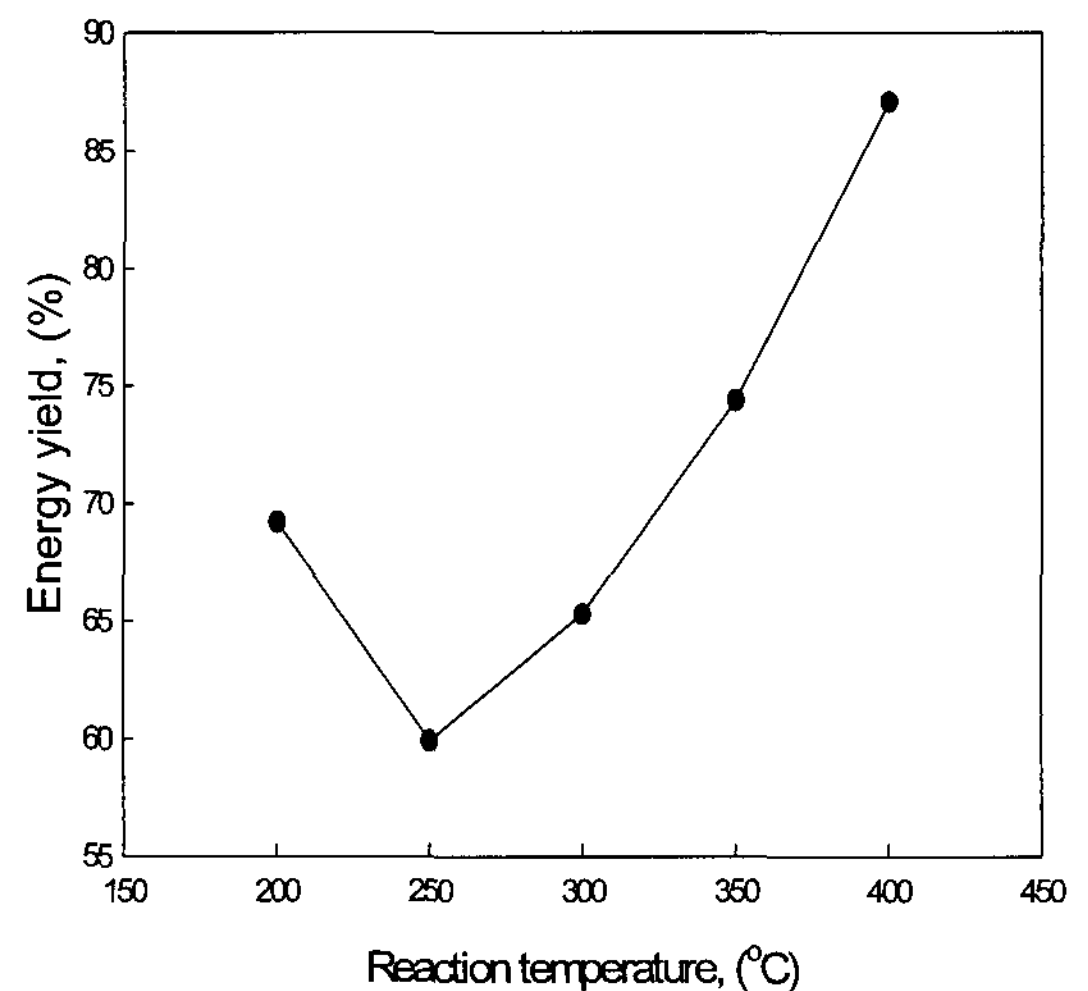


Fig. 4 Energy yield of products from xylan. by acetone-solvolysis



tertiary butyl ether)는 메탄올이나 에탄올보다 뛰어난 옥탄가 개선제로 알려져 있다<sup>12)</sup>.

이러한 동향에 따라 본 연구에서는 헤미셀룰로오스의 열화학적 전환반응에 의해 제조한 액상 물질에 대한 발열량과 에너지 수율을 측정하여 합산소 연료 또는 연료첨가제로서의 사용 가능성을 검토하였다.

용매분해반응에 의해 제조한 액상 시료 5종에 대하여 parr bomb calorie meter를 사용하여 KSM 2057법에 의해 발열량을 측정하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타내었다.

표에 나타낸 바와 같이 발열량은 온도가 올라갈수록 증가하여 200℃, 40분의 조건에서 6,960 cal/g 이던 것이 400℃, 40분의 조건에서 8,270 cal/g으로 약 1,310 cal/g 상승한 것으로 나타났다.

이것은 400℃, 40분의 조건에서 용매분해반응에 의한 분해 생성물 수와 농도가 증가되는 것에 의해 나타나는 현상이기도 하지만 가장 큰 이유로는 200℃~250℃에서는 헤미셀룰로오스를 구성하고 있는 결합사슬의 분해가 주로 일어나는 것이고 400℃ 부근에서는 발열량에 크게 영향을 미치는 다양한 케톤류와 벤젠류가 다량 생성되어 발열량이 증가하는 것으로 판단되었다.

한편, 액상 생성물질의 미량증류장치를 사용한 증류 조작에 의해 수득될 수 있는 생성물의 양은 같은 반응시간에서 반응온도가 상승함에 따라 분해에 따른 전환반응이 활발해지면서 서서히 증가하여 200℃에서 30.4%이던 것이 400℃에서는 43.1%로 높아졌다.

400℃, 40분의 조건에서 얻어진 8,270 cal/g의 발열량은 시판 가솔린 (13,120 cal/g), 경유(11,650 cal/g)의 63~71% 정도이며, 에탄올(7,540 cal/g)의 발열량보다 9% 정도 높은 수준으로 나타나 연료 및 연료 첨가제로서 사용 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

한편 헤미셀룰로오스의 고발열량(HHV)값 4091.2 cal/g<sup>13)</sup>을 이용하여 반응 전의 원료물질의 열량에 대한 반응 후 생성된 물질의 열량 증가율에 생성물의 수득율을 곱하여 에너지 수율을 계산하였는

데 그 형식은 다음과 같다.

$$Energy\ yield(\%) = \frac{heating\ value\ of\ oil}{HHV\ of\ biomass} \times mass\ yield \times 100$$

Table 3의 값들을 이용하여 계산한 에너지 수율을 Fig. 4에 나타내었다. 5가지 시료 중 가장 높은 에너지 수율을 보인 것은 400℃에서 40분간 열분해 반응시킨 경우로 87.1%의 에너지 수율을 나타내었다. 전반적으로는 비교적 낮은 질량수득율에 비해서 높은 에너지 수율을 나타내는 이유는 원료물질의 열량에 비해 케톤류와 벤젠류 등과 같은 생성물질의 옥탄가가 높아서 발열량이 크기 때문이라고 판단되었다.

다만 페놀류나 다환방향족 화합물 등은 연료로서의 가치가 낮으므로 용매분해법을 활용하려면 이들의 생성을 억제하고, 개환반응을 촉진하기 위한 촉매나 반응조건의 확립 등에 대해서는 차후 충분한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

## 4. 결 론

바이오매스 구성 성분인 헤미셀룰로오스의 일종인 자일란을 대상으로 용매분해반응에 의한 분해특성 및 연료물질 생성에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 헤미셀룰로오스의 열화학적 전환반응에 있어서 용매분해반응의 경우 200℃와 250℃의 저온에서 자일란을 구성하는 다당류의 주요 결합사슬의 분해가 활발하게 일어났으며, 350℃ 이상의 반응온도에서는 분해된 물질이 주로 케톤류와 벤젠류로 전환되는 것으로 나타났다.
- 2) 헤미셀룰로오스의 용매분해반응에 있어서 반응 온도 400℃, 반응시간 40분에서 71.4%의 최고 전환율을 나타냈으며, 특히, 발열량을 높일 수 있는 4-methyl-3-penten-2-one, methylene-2-pentanone, 2,2,6-dimethyl heptadien-4-one

4-methyl-2-pentanone, 5-methyl-2hexanone, 3,5,5-trimethyl-2-cyclohexen-1-one 등과 같은 케톤류와 1,4-dimethylbenzene 1-methyl-2-(1-methylethyl)-benzene, 1,4-dimethyl-2-(2-methylpropyl) benzene, 4-sec-butylethyl benzene 등의 benzene류가 다량 생산되어 72.2%의 최고 에너지수율을 나타내었다.

- 3) 최적조건인 400°C, 40분의 조건에서 얻어진 액상 생성물은 옥탄가가 높은 케톤류와 벤젠류의 함량이 많으며 발열량은 8,270cal/g로 시판 가솔린(13,120 cal/g)과 경유 (11,650 cal/g)의 63~71% 정도이며, 에탄올(7,540 cal/g)의 발열량보다 9%정도 높은 수준으로 나타나 연료 및 연료 첨가제로서 사용 가능성이 높은 것으로 판단되었다.

### 참 고 문 헌

- 1) Donald L. Klass, "Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals," Academic Press, 1998.
- 2) T. B. Reed, "The Combustion, Pyrolysis, Gasification and Lquefaction of Biomass", Energy from Biomass; 1st E.C. Confer. Vol. 11, 1980, pp. 496-508.
- 3) M. Olazar, R. Aguado, and J. Bilbao, "Pyrolysis of Biomass in a Jet Spouted Bed Reactor", Bioresource Technology, Vol. 60, 1997, pp. 51-58.
- 4) F. A. Agblevor, S. Besler, and A. E. Wieselogel, "Fast Pyrolysis of Stored Biomass Feedstocks" Energy and Fuels, Vol. 9, 1995, pp. 635-640.
- 5) M. Heitz, et al., "Solvent Effects on Liquefaction: Solubilization Profiles of Canadian Prototype Wood, Populus deltoides, in the Presence of Different Solvents", The Canadian J.Chem. Eng., Vol. 72, 1994, pp. 1021-1027.
- 6) Hyung-keun Lee, et al., "초임계 유체 추출기술의 특성과 그 이용", *Energy R&D*, Vol. 10, No. 4, 1998, pp. 109-119.
- 7) Sung-Wook Yoon, Jong-Jib Lee and Byung-Hak Lee, "Degradation Properties and Production of Fuels in Pyrolysis-Liquefaction of Lignin", *KSEE*, Vol. 25, No. 5, 2003, pp. 560-566.
- 8) Jong-Jib Lee and Byung-Hak Lee, "Degradation Properties and Production of Fuels in Cellulose (I)-Pyrolysis-Liquefaction-", *Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 15, No. 4, 2004, pp. 333-340.
- 9) Jong-Jib Lee and Byung-Hak Lee, "Degradation Properties and Production of Fuels in Cellulose-Solvolyis-", *Trans. of Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 15, No. 4, 2004, pp. 333-340.
- 10) D. R. Lide, *Hand book of Organic Solvent*", CRC Press, 1995.
- 11) A. Demirbas, "Yields of Oil Products from Thermochemical Biomass Conversion Processes", *Energy Convers. Mgmt.*, Vol. 39, No. 7, 1998, pp. 685-690.
- 12) A. Demirbas, "Fuel Properties and Calculation of Higher Heating Values of Vegetable Oils", *Fuel*, Vol. 77, No. 9-10, 1998, pp. 1117-1120.
- 13) A. Demirbas, "Calculation of Higher Heating Values of Biomass Fuels", *Fuel*, Vol. 5, 1997, pp. 431-434.