오크나무가 위스키의 향에 미치는 영향

박 승 국
〈경희대 식품가공학과 교수〉

■目 次■

1. 서론
2. 오크나무의 주요구성성분 및 미량성분
3. 오크통을 만들기 위한 오크나무의 숙성과정
4. 오크나무로부터 추출되는 중요한 향 성분
5. 위스키 Aroma Wheel
6. 맺음말

1. 서 론

최근 우리나라의 위스키 소비는 급격히 증가하고 있다. 위스키의 소비가 증가하는 데에는 여러가지 요인이 있을 수 있으며 그 중에서도 위스키의 향과 맛은 아마도 소비자가 위스키를 선호하는 이유 중에서 가장 중요한 요소라고도 볼 수 있다. 이처럼 위스키의 독특한 향과 맛은 위스키의 품질에 가장 중요한 요소이며 이러한 향과 맛에 영향을 미치는 요소는 크게 나누어서 1) 원료와 제조공정 2) 오크통 (Barrel 또는 Cask등을 포함)을 사용한 저장 및 숙성 과정으로 구분할 수 있다.

위스키 특유의 향긋한 향과 부드럽고 달콤한 맛은 주로 오크나무로 만든 오크통에서 오랜동안 숙성의 과정을 거치면서 생성이 된다. 술의 저장과 숙성에 사용되어온 나무의 종류에는 White오크, Red오크, 밤나무오크, Sycamore, Eucalyptus, Redwood, 아카시아등 여러가지가 있으나, 저장중에 새거나 또는 저장된 술에 좋지 않은 냄새가 나는 물질이 침출이 되는 이유때문에 오직 White오크만이 술의 저장과 숙성에 널리 이용되고 있다. 오크나무가 술의 저장과 숙성에 특히 적합한 이유는 목질이 단단하므로 저장된 술의 손실이 적고, 구부려서 가공할 수도 있으며, 쉽게 썩지않고, 오크나무만의 고유하고 독특한 좋은 향이 저장된 술과 잘 조화를 이루기 때문이다.

술의 저장에 사용되는 오크나무의 종류에는 약 20여종의 미국산오크와 10여종의 유럽산오크가 있으며 미국산으로써는 Quercus alba, Q. prinus, Q. bicolor, Q. muehlenbergii, Q. stellata, Q. macrocarpa, Q. lyrata, Q. durandii등이 있다. 유럽산 오크로는 Quercus robur, Q. sessilis등이 주로 술의 저장과 숙성에 널리 사용되어지고 있다. 우리나라에서도 여러가지 종류의 오크나무(참나무)가 자라고 있으나

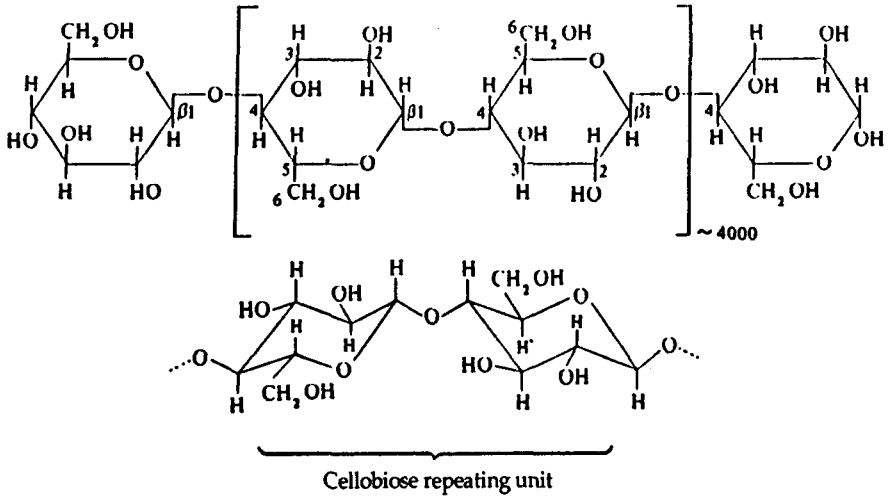
우리나라에서 자라고 있는 오크가 술의 저장과 숙성에 이용이되고 있다는 보고는 아직 본적이 없다. 오크나무를 이용해서 숙성을 하는 술의 종류는 비증류주인 포도주와 증류주인 위스키, 코냑, 브랜디, 럼 등이 있다. 이중에서도 본고에서는 특히, 오크나무가 위스키의 향에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 화학적, 관능적인 면에 대해서 논의할 예정이다.

2. 오크나무의 주요 구성성분 및 미량성분

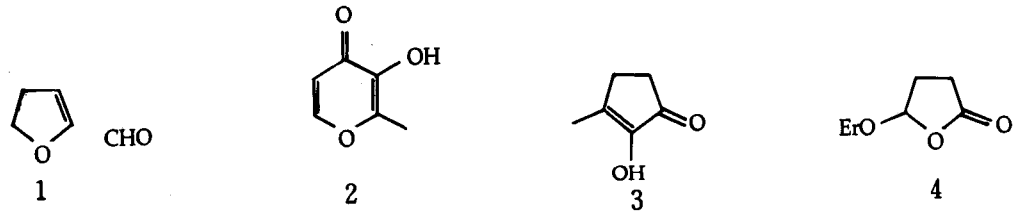
화학적인 관점에서 볼때에 오크나무의 세포조직은 몇가지 유기중합체로써 구성되어 있으며 이중에서도 Cellulose가 45에서 50%를 차지하고 있다〈표 1〉. Cellulose는 2,500에서 4,000개의 포도당 분자가 β1→4 Glycosidic 결합으로 이루어진 화합물로써 대단히 안정된 구조를 갖고 있다. [그림 1]. Cellulose이외의 화학적 성분으로는 〈표 1〉에서 나타나있는 바와같이 Hemicellulose, Lignin, Tannin과 기타 미량성분으로써 구성이 되어 있다. Hemicellulose는 대부분의 경우 5탄당인 Xylose와 약간의 Arabinose와 6탄당인 Mannose와 Galactose로 구성이 되어 있다. Hemicellulose는 이와 같이 대부분이 5탄당이고 또한 중합체의 크기도 Cellulose에 비해서 1/10정도 이므로 오크통을 만들때에 가하는 약한 불(Toasting)에 의해서도 분해가 쉽게 일어나는 특성이 있다. 만일 좀더 센불로 가열할 경우에는 Hemicellulose로 부터 열분해산물이며 향특성이 있는 성분인 Furfural, Maltol, Cyclotene, Ethoxylactone등이 생성된다. [그림 2]. 다음으로 중요한 성분은 Lignin으로써 오크나무 표면을 불에 그을리므로써 위스키의 향에 중요한 영향을 미치는 성분들인 Vanillin, Eugenol, Guaicol, 4-Methyl guaicol, 4-Ethyl guaicol, 4-Ethyl phenol, Ferulic acid 등이 만들어지게 된다 [그림 3]. Tannin은 대략 5~10% 정도를 차지하고 있으며 주로 포도당과 Gallic acid가 Ester결합을 하고 있으며 2중합체인 Ellagic acid 나 3중합체인 trimer도 있다. Tannin성분은 향에는 영향을 미치지는 않으나 부드럽다거나 떫은맛, 쓴맛 또는 거친느낌등 혀로 느끼는 감각에는 대단히 중요한 성분이다. 그외에 매우 적은양 이지만 향에는 대단히 중요한 역할을 하는 성분인 Oak lactone이 있다. Oak lactone [그림 4]은 위스키의 향에 특히 중요한 성분으로써 최근까지 많은 연구가 진행되어 오고 있다.

〈표1〉 오크나무의 주요 구성성분 (자료 : Crum, 1993)

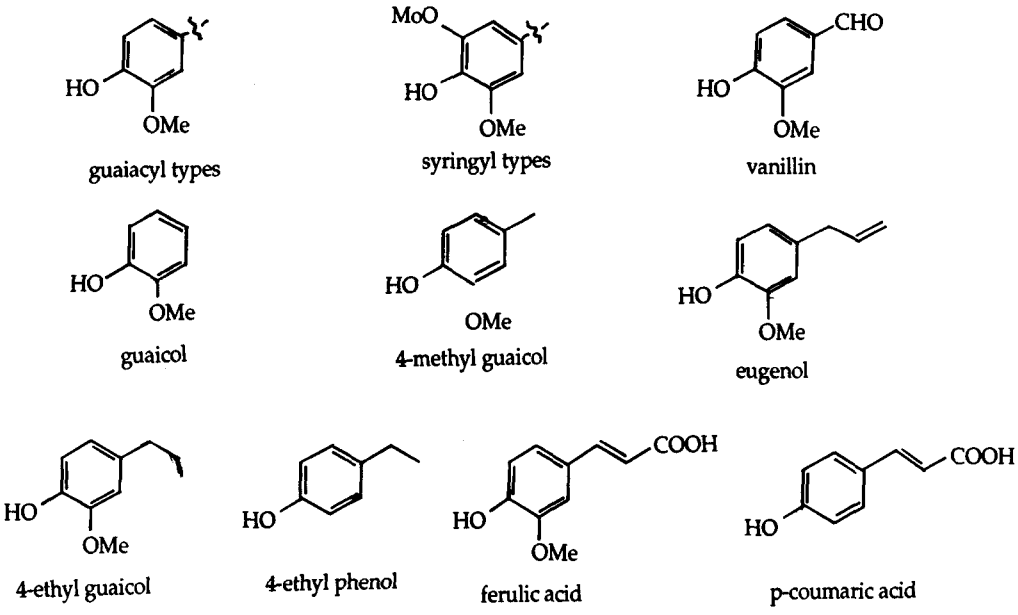
성 분	함 량	분 자 형 태
Cellulose	45 - 50%	Glucose polymer
Hemicellulose	20 - 25%	Other sugars
Lignin	25 - 35%	Phenolics
Tannin	5 - 10%	Glucose + Gallic acid (mono, di, trimers)
Minor constituents	〈 0.5%	Terpenes, lipids, lactone etc.



[그림 1] Cellulose의 화학적 구조



[그림 2] Hemicellulose의 열분해에 의해 생성되는 화합물 : 1, furfural; 2, maltol; 3, cyclotene; 4, ethoxy lactone.



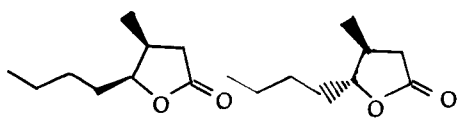
[그림 3] Lignin의 열분해로 부터 만들어지는 주요향 화합물

3. 오크통을 만들기 위한 오크나무의 숙성과정(Seasoning)

오크나무를 베어낸 후에 오크통을 만드는 방법에는 대략 2가지의 방법이 있다. 일반적으로 좋은 위스키를 위한 오크통을 만들기 위해서는 우선 적당한 오크나무의 종류와 크기의 나무를 베어낸 후에 나무의 자연적 숙성과정(Air seasoning)을 거치게 된다. 이 숙성과정은 쉽게 이야기하면 자연건조과정으로써, 베어진 통나무를 나무결 방향으로 약 10cm 정도로 잘라서 나무판으로 만들고 이들을 그대로 넓은 마당에 차곡차곡 쌓아서 방치하는 과정이다. 잘라진 나무판 사이에는 바람과 빗물 등이 통과하도록 사이를 벌려서 쌓게한다. 이러한 야적방법으로 약 2내지 3년간 숙성을 하게되면 나무의 수분함량이 초기의 50%정도에서 15%정도로 줄어들고 나무표면이 바람, 빗물, 햇빛 등에 의해서 화학적으로 분해되기도 한다. 또한 나무표면에서 번식한 곰팡이가 만든 효소에 의해 표면의 Cellulose, Hemicellulose, Lignin등이 분해된다. 나무의 숙성이 끝난후에는 표면의 곰팡이나 이물질등은 긁어내어 제거한 후에 오크나무판을 길고 작은 조각(Stave)으로 잘라서 조합하여 오크통의 형태를 만든다. 오크통의 형태는 항아리와 같은 모양인데 원래는 곧게 잘라진 오크조각 들을 엮어서 둥그렇게 조립한 후에 내부를 직접 불로 구어가면서 구부려주기 때문이다. 따라서 오크통의 내부는 자연히 불의 그을림(Toasting)으로 인한 나무성분의 열분해물질이 발생하게 되고 이들 분해물질들이 결국은 위스키의 저장과 숙성과정에서 침출이 되어 위스키의 중요한 향성분이 된다. 오크향의 강도는 그을림의 정도로써 조정할 수도 있는데 미국의 Bourbon위스키의 경우에는 상당히 심하게 그을린(Heavy toasting) 오크통을 사용하므로써 상당히 강한 구운나무(Toasting)향이 나는 예이다. 오크통을 만들기 전에 비교적 오랜시간을 두고 오크나무를 숙성하는 주된 이유는 숙성에 의해서 더욱 좋은 향의 위스키를 만들수 있기 때문이다 (Sefton등, 1993).

4. 오크나무로부터 추출되는 중요한 향 성분

저장된 위스키에 의해서 오크나무(통)으로 부터 추출되는 화학적 향성분의 종류와 관능적 향특성은 〈표 2〉와 같이 다양하다. 많은 추출성분 중 에서도 특히 위스키향에 중요한 화합물은 Lignin분해 산물인 Vanillin, Syringaldehyde의 방향성 Aldehyde와 Guaicol, Hemicellulose로 부터의 열분해 산물인 Furfural, Maltol, Cyclotene, 그리고 미량성분이나 위스키의 향에 대단히 중요한 Cis-, Trans-β-Methyl-γ-Octalactone (oak 또는 위스키 lactone, 그림 4)등이 있다.



[그림 4] Cis- (왼쪽), Trans-β-Methyl-γ-Octalactone (오른쪽).

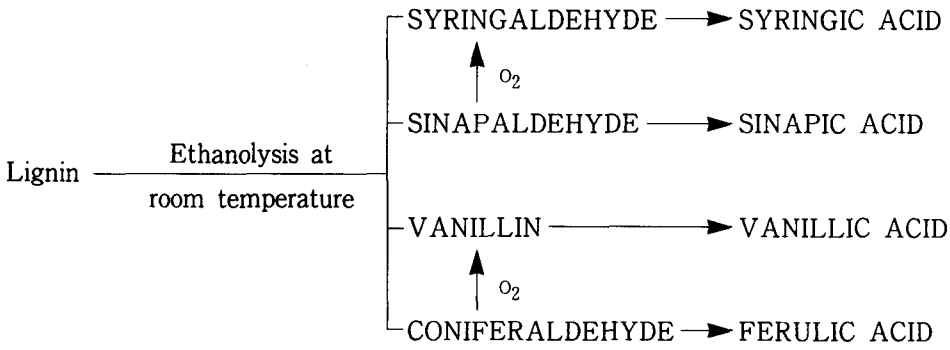
1) Vanillin과 Syringaldehyde등 방향성 Aldehyde : Lignin분해 산물인 Vanillin, Syringaldehyde, Ciniferaldehyde등은 위스키에 Vanilla형태의 향에 관련되는 중요한 향성분이다. 이들 Aldehyde성분중에서도 특히 최저감지농도(Sensory Threshold)가 극히 낮아서 극미량으로써도 향이나는 Vanillin과 Syringaldehyde가 대단히 중요하다. 이러한 성분들은 주로 오크통을 만들때에 불에 그을림으로써 생성이되나 일부는 위스키의 저장과정에서 에탄올에 의해 분해되어 (Ethanolysis) 만들어 지기도 한다 [그림 5] Maga(1984)는 Vanillin, Sinapaldehyde, Syringaldehyde등의 맛에 대한 최소감지농도(Taste Threshold) 실험을 한 결과, 위스키와 유사한 40%에탄올 농도에서 Vanillin은 0.1ppm, Syringaldehyde는 15ppm, Sinapaldehyde는 50ppm 이었다고 보고하였다.

〈표 2〉 오크통으로 부터 추출되는 성분들과 이들의 관능적 역할

성 분	관 능 적 역 할
- Tannins	astringency
- Gallic acid	bitterness
- Ellagic acid	mouth-feel
* Aromatic aldehydes	
- Vanillin	vanilla
- Syringaldehyde	vanilla
- Coniferaldehyde	roasted oak
- Sinapaldehyde	
* Coumarins	
- Esculetin	
- Ombelliferone	
- Scopletin	
- Methylombelliferone	
* Aromatic acids	
- Syringic acid	
- Vanillic acid	
- Ferulic acid	
* Lignin	
* Other substances	
- cis-β-Methyl-γ-octalactone	coconut, creamy
- trans-β-Methyl-γ-octalactone	coconut, creamy
- Ethoxy lactone	Sweet, fruity

- Vanillin	vanilla
- Eugenol	cloves
-Acetovanillone	
-Acetosyringone	
- Maltol	sweet, burht
- Furfural	butterscotch
- Methyl-5-furfural	butterscotch
- Syringol	smoke
- Phenol	smoke
- Guaicol	smoke, medicical
- 4-Ethyl phenol	horse, medicinal
- 4-Methyl guaicol	smoke
- 4-Vinyl guaicol	cloves
- 4-Ethyl guaicol	smoke, spicy

에탄올에 의해 Lignin으로 부터 분해되어 생성되는 방향성 화합물의 농도는 초기에는 산소의 존재하에서 증가하나, 오랜기간 동안 오크통에 저장할 경우에는 방향성 Aldehyde는 오히려 산소에 의해 산화되므로 최소 감지농도가 높은 산으로 변화하게 되어서 (예를들어, Vanillin은 Vanillic acid로, 최소감지농도는 0.1ppm에서 25ppm으로) Vanilla냄새가 급격하게 줄거나 전혀 감지가 불가능하게 된다 (Peuch, 1988, Maga, 1984). 따라서 Vanilla향을 보완하기 위해서는 Vanilla향이 있는 비교적 숙성이 덜 진행된 위스키를 소량 첨가(Blending)해주는 경우도 있다. Vanillin은 특히 열풍건조(kilndrying)된 오크나무보다는 자연적으로 숙성된(air seasoning)오크나무에서 더 많이 추출되며, 자연적으로 숙성된 오크를 불에 그을렸을 때에는 최고 50배나 많은 양의 Vanillin이 추출되었음을 볼 수 있었다 (Nishimura등, 1983 ; Chatonnet등, 1989; Sefton등, 1993).



[그림 5] Lignin이 숙성과정에서 알코올에 의해 분해되어 생성되는 주요 방향성 Aldehyde화합물의 종류와 화학적 반응(Peuch, 1981; Peuch등, 1984).

2) cis-, trans-β-Methyl-γ-octalactone(오크 또는 위스키 lactone) : 아마도 위스키의 향성분중에서도 가장 중요한 화합물은 오크 Lactone일 것이다. 오크 Lactone은 대단히 낮은 초미량으로써도 위스키, 코냑, 브랜디, 고급포도주등 오크통에 숙성을 하는 알코올음료에 크림(Creamy)이나 실크(Silky 또는 Velvety)같이 부드러운 향과 느낌을 주는 성분으로써 Heide등(1978)이 최초로 입체적인 구조를 확인하였으며, 이후에 Masuda와 Nishimura(1981)에 의해서 처음으로 오크나무의 성분임이 확인된 γ(Gamma)-actone형태의 두가지 입체이성체이다 [그림 4] 오크 Lactone에서 이론적으로 가능한 입체이성질체의 종류는 모두 4가지 (3R, 4R; 3S, 4R; 3S, 4S; 3S, 4R)가 있으나 실제적으로 오크나무에서 발견된것은 오직 2가지 종류로써 3R, 4S의 구조를 갖는 Cis-오크 Lactone과 3S, 4R의 구조를 갖는 Trans-오크 Lactone 뿐이다 (Guichard등, 1994, 개인 서신에 의한 정보). 이 두가지이성체 중에서도 특히 Cis-오크 Lactone은 최소 감지농도가 0.092ppm으로써 Trans-오크 Lactone의 0.460ppm 보다도 훨씬 낮은 농도에서도 위스키의 향에 큰 영향을 미치고 있다 (Chatonnet, 1992). 오크 Lactone의 관능적 표현을 좀더 구체적으로 하면 Cis-형은 "Coconut, Slightly musty, Earthy aroma with hay note"등으로써 표현할 수 있고 Trans-형은 "Fragrant celery, Weak coconut"등으로써 표현할 수 있다. 두가지 형태의 오크 Lactone의 공통적인 특징은 Coconut향과 같은 특성이 있는 것인데 실제로 최소감지농도 보다도 훨씬 진한농도로 표준용액을 만들었을 경우에는 Coconut과 같은 냄새(Coconuty)가 나게됨을 알수 있다. 그러나 오크통에서 자연적으로 숙성이 된 위스키의 경우에는 오크 Lactone의 농도가 최소감지농도 보다도 훨씬 높으나 Coconut같은 냄새가 날 정도는 아니며 오히려 은은하고 부드러운 크림과 같은 느낌의 향이 나게 되어서 이는 특히, Vanillin과 Syringaldehyde같은 방향성 Aldehyde화합물과 어울려서 잘 조화를 이루는 은은하고 부드러운 향의 특성을 갖게 된다. 오크 Lactone의 함량은 오크나무의 종류와 산지(특히 American vs. French)에 따라서 큰 차이가 있고 나무를 열풍건조 (Kiln-drying) 할때 보다는 자연건조 숙성(Air seasoning)한 나무로 만든 오크통에 더 많고, 불에 그을릴때에 더 많은 양의 오크 Lactone이 만들어 지게 된다.

3) 당분해 화합물(Furfural, Maltol, Cyclotene, Ethoxy Lactone) : Furfural은 Hemicellulose가 열분해 되어서 만들어지는 화합물이며 특유의 캬라멜향과 나무향(Woody) 뿐만 아니라 위스키의 노란 갈색(Golden Amber)의 색깔을 나타내는 중요한 성분이다. Furfural은 특히, 오크나무를 그을릴때 만들어 지며 아마도 양적으로 보아서 가장 많은 부분을 차지할 것이다. 위스키의 단냄새(Sweety)와 맛있는 향긋한 냄새는 Maltol, Cyclotene, Ethoxy Lactone [그림 2]에 의한 것이며 (Nishimura 등, 1983) 전체적인 오크향에 대단히 중요한 역할을 하고 있다.

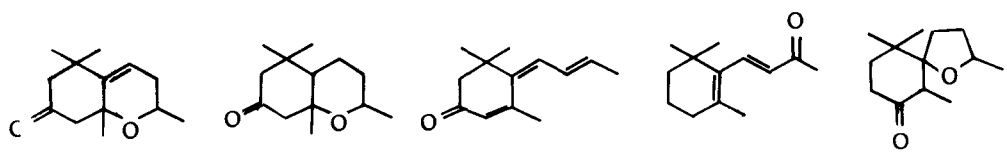
4) Guaicol과 Phenol계통의 화합물 : Lignin의 열분해 산물로써 생성이 되는 Guaicol과 phenol계통의 화합물로써 위스키에 존재하는 것은 〈표 2〉와 [그림 3]에서 보듯이 Guaicol, 4-Methyl Guaicol, 4-Ethyl Guaicol, 4-Vinyl Guaicol, 4-Ethyl Phenol 등이 있다. 이들의 향특성은 특히, 오크나무를 그을릴때 나는 연기냄새(Smoky)를 갖는 화합물인 Guaicol, 4-Methyl Guaicol, 4-Ethyl Guaicol이 있다. 4-Ethyl Guaicol은 연기냄새 이외에도 비교적 좋은 형태의 자극적인 냄새(Spicy)의 특성이 있고

농도에 따라서는 약간의 병원냄새(Medicinal)가 날수도 있다. 연기냄새와 같은 향특성도 위스키의 향에 대단히 중요한데 이는 불고기를 직화식 숯불구이에 구운것이 후라이팬의 간접적인 열에 구운것보다 훨씬 더 좋다는 비교로써 쉽게 이해할 수 있다. Phenol성 화합물중에서 4-Ethyl Phenol은 극히 낮은 농도에서도 특히, 병원에서 나는 냄새(Medicinal) 또는 마굿간냄새(Horsey)가 나므로 많은양이 위스키에 존재할 때에는 품질에 치명적인 영향을 미치는 경우를 종종 볼 수 있다. 또다른 Phenol성 화합물로써 Eugenol[그림 3]이 있다. Eugenol은 Clove의 주요향 성분으로써 오크나무에 비교적 많은양이 있으며 Eugenol 자체만의 냄새는 약간 텁텁한 Spicy향의 특성이 있다. 그러나 위스키에서는 다른 향성분들과 어울려서 깊이 있는 Spicy한 향에 기여를 하고 있다.

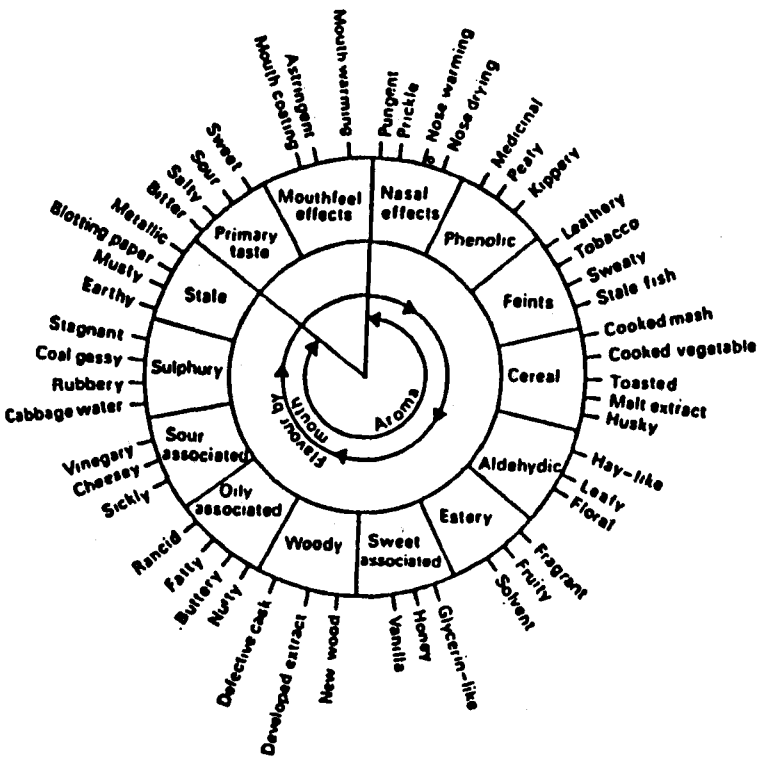
5) Terpene : 오크나무로부터 추출된 Terpene의 종류에는 Monoterpene, Sesquiterpene과 9-, 11-, 13-Carbon Norisoprenoid 등이 있으나 위스키의 향에 어떠한 영향을 미치는 지는 아직 확실한 연구가 되어있질 않다 (Nishimura등, 1983; Sefton등, 1990) Monoterpene은 꽃이나 열대성 과실에는 양도 많고 향이 강해서 과실의 주요한 향성분이 되나 오크나무에서는 비록 존재한다 하여도 상당히 적은양이므로 위스키의 향에는 그리 중요하다고는 볼 수 없다. 다만 Carotenoid로 부터 분해산물인 Norisoprenoid종류의 화합물[그림 6]은 오크나무에 비교적 많은 양이 있다고 하며 최소감지농도도 낮은편이나 그역할에 대해서는 향후 연구하여야 할 필요성이 있다고 볼 수 있다.

5. 위스키 Aroma Wheel

이제까지는 오크나무가 위스키의 향에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 화학적인 관점과 이와 관련된 관능표현을 이용하여 살펴보았다. 그러나 전체 위스키 향의 종류에는 이미 살펴본 오크나무로부터 추출된 화합물에 의한 향특성 이외에도 여러가지 다양한 향의 종류와 표현이 있을 수 있다. 이러한 주관적이고 다양한 위스키의 향표현 방법을 좀더 쉽고 공통의 용어를 사용하기 위해 만든 것이 [그림 7]에서 볼 수 있는 위스키 Aroma Wheel이다. 이 위스키 Aroma Wheel은 Pentlands Scotch 위스키연구팀이 1979년에 개발하여 현재까지 사용해오고 있는 Aroma Wheel이다 (Shortreed등, 1979). 이 위스키 Aroma Wheel을 사용하게 되면 어려운 향표현 용어나 어휘를 쉽고도 체계적으로 구사할 수도 있고 또한 각 개인마다 서로다른 표현 어휘를 표준화 할수 있는 장점이 있으므로 위스키의 향미 품질검사나 연구에 대단히 유용하게 사용할 수 있다. 위스키 Aroma Wheel은 각 회사의 편의에 따라 고유의 Wheel을 제작하여 사용할수도 있다.



[그림 6] 오크나무에서 발견된 Terpene종류들



[그림 7] 위스키 Flavor Wheel(Shortreed등, 1979)

6. 맺 은 말

이상과 같이 오크나무가 위스키의 향에 어떠한 영향을 미치는가에 대해서 살펴보았다. 위스키의 향에 대한 정밀화학적연구는 현재 위스키의 주생산국인 Scotland뿐만아니라 Ireland, 미국, 일본, Canada등지 에서도 매우 활발하게 진행되고 있으며 위스키의 품질을 향상시키는 데에 많은 기여를 하고 있다. 현재까지 우리나라에서 소비되는 위스키는 완제품을 수입판매, 위스키원액을 수입하여 병입한 후에 판매하거나, 원액을 국내산 액과 혼합하여 만드는 경우로 구분할 수가 있다. 따라서 거의 대부분의 위스키가 국내산이 아닌 수입제품이며 그 수입금액도 올해의 경우 94년에 비해 약 100%의 증가율을 보이고 있다 (95년도 농림수산부 자료). 이러한 추세로라면 앞으로도 상당양의 수입이 예상되므로, 향후 위스키원액이나 완제품의 가격이 상승할 경우 지출하여야 할 외화의 부담도 커지며 또한 수입물량의 확보에도 문제가 있을 수 있으므로 국내 주류업계에서도 평상시에 수입위스키의 품질에 뒤지지 않는 제품의 개발에 보다 과학적인 노력을 기울어야 하겠다.

【 참고 문헌 】

Chatonnet, P. 1992. The effect of oak-wood on the chemical composition and the organoleptic properties of wine. The application of technology. Ph. D. Dissertation. Universite de Bordeaux Ⅰ. France.

Chatonnet, P; J. N. Boidron; M. Pons.

1989. Incidence du traitement thermique du bois de chene sur composition chimique. 2e partie : evolution de certains composes en fonction de I'intensite de brulage. Connaiss. Vigne Vin. 23:223-250.

Shortreed, G. W. 1979. The flavor terminology of Scotch whisky. Brewers' Guardian. November. 58-62.

Crum J. D. 1993. Chemistry of the constituents of oak. In: International oak symposium proceedigs. June 1-2, 1993, San Francisco State University, California, U. S. A.

Heide, R.; P. J. ter; J. de Valois; P. P. Jaegers; R, Timmer. 1978. Concentration and identification of trace constituents in alcoholic beverages. In: Analysis of foods and beverages. Headspace technique. G. Charalambour ed. Academic Press. New York. pp 249-281.

Maga, J. 1984. Flavor Contribution of wood in alcoholic beverages. In: Progress in flavor research. J. Adda ed. Elsevier. Amsterdam. pp 409-416.

Masuda, M.; K. Nishimura. 1981. Absolute configuration of Quercus lactones, (3S, 4R)-and (3S, 4S)-β-methyl-gamma-octalactone, from oakwood and chiroptical properties of mono-cyclic gamma-lactones. Chemistry Letters. 1333-1336.

Nishimura, K.; M. Ohnishi; M. Masuda; K. Loga; R. Matsuma. 1983. Reaction of wood components during maturation. In: Flavor of distilled beverages: Origin and development. J. R. Piggott ed. Ellis Horward, Chichester, U. K. pp 241-255.

Peuch, J. L. 1981. Extraction and evolution of lignin products in armagnac matured in oak. Am. J. Enol. Vitic. 32:111-114.

Peuch, J. L.; R. Leauate, R.; G. Clot; L. Nomdedue. 1984. Evolution de divers constituents volatiles et phenolique des eau de vie de Cognac au cours de leur vieillissement. Sci. Aliments. 4:65-80

Peuch, J. L. 1988. Phenolic compounds in oak wood extracts used in the agng of brandies. J. Sci. Food. Agric 42:165-172.

Sefton, M. A., I. L. Francis, K. F. Pocock, P. J. Williams. 1993. The influence of natural seasoning on the concentrations of eugenol, vanillin, and cis- and trans-β-methyl-γ-octalactone extracted from French and American oakwood. Science des Aliments, 13:629-641

Sefton, M. A.; I. L. Francis; P. J. Williams. 1990. Volatile norisoprenoid compounds as constituents of oakwoods used in wine and spirit and spirit maturation. J. Agric. Food Chem. 38:2045-2049