

## 혈중 알콜농도의 계산과 측정

Calculation and Measurements of Blood Alcohol Concentration

김 덕 묵\*  
Kim, Duk Mook

우리가 몇사람 모이면 선생님의 주량이 얼마나 됩니까 하고 물어 볼때가 있었다. 요즘에는 자동차 문화가 발전되고 자가운전자가 늘어나면서 이제는 주량으로 따지는 것이 아니고 선생님은 술을 얼마나 마시면 음주운전 단속에 위반되지 않습니까. 혹은 내가 이정도 마시면 혈중 알콜농도가 얼마나 될까 궁금할 때가 있다. 교통사고의 많은 부분이 음주운전에 기인한다고 발표되고 있는 실정으로서, 그러면 음주량은 화학적인 의미에서 어떻게 측정되고 어떻게 수치화하여 음주운전 단속 측정기가 발전되었으며 어떠한 문제점들이 있을까? 혈중 알콜농도의 측정은 화학반응중의 산화환원 반응이 응용되고 Henry의 법칙에 따라 진행되며 W.C.Timmer와 D.A Labianca 라는 사람들이 측정기의 화학적인 기초사항들을 논한적이 있다. 혈중 알콜량의 측정에 관하여는 약 60년전에 E.M.P.Widmark 라는 사람에 의하여 혈중 알콜농도를 의학적으로 측정하는 방법을 독일어로 단행본을 발간한 적이 있는데 이후 1981년에 영어로 번역 되기도 하였다.

여기서 Widmark는 혈중 알콜농도(W/V) %를 개인적인 몸무게와 섭취한 알콜량으로 표시하였다. 비슷한 형태로 요즈음 도표형식으로 이용되고 있으나 다음과 같은 이유로 보정사항들을 찾아볼수도 있다. 섭취한 알콜량으로부터 경과된 시간에 따른 혈중 알콜농도의 표시방법을 이해 하는데는 Widmark 로부터 나타난 이상적인 혈중 알콜농도곡선(그림 1)을 기

초로하여 H.Wallgre와 H.Berry의 표시방법에 관하여 많은 보정이 되따르고 있다.

Widmark의 이론곡선중에서 흡수상태를 나타내는 W는 위나 장으로부터 혈중으로의 알콜 흡수를 보여주고 혈중 알콜농도의 최대치는 X 구역의 직선형으로, 그리고 Y 구역은 피와 근육조직 사이에 알콜이 확산하여 평형을 이루게 됨을 부여주고, Z구역은 후 흡수로서 혈중 알콜농도가 시간에 따라 몸으로부터 알콜의 감소를 보여주고 있다. 실제로 그림 1은 실험을 통하여 구한 Widmark의 실험곡선, 그림 2와 비교하여 약간의 차이점이 있는것을 볼수 있다.

그림 2에서 보면 그림 1의 W와 Z사이의 흡수와 확산이 정지상태가 없이 일관되게 진행되고있으며 어느시간에 어느구역에서 평형을 유지하는데 분명하게 나타나지 않고 있다.

즉 그림 1의 X구역이 그림 2에서는 예민한 피크로 나타나고 있고 곡선 Y의 확산 평형영역도 불확실하다. 그러나 그림 1은 혈중 알콜농도를 측정하는데 기본이 되고 있는 것은 틀림없다.

그림 2는 Widmark에 의하여 몸무게 단위별로 위가 비어있는 상태에서 남자 20명, 여자10명에게, 나이는 19세에서 40세까지로 하여 알콜을 투여하여 시간에 따른 혈중알콜농도를 측정하여 얻은 곡선으로서 그림 1에서 Z에 해당부분을 의심하면 E선을 찾아볼 수 있다.

\* 공업화학 기술사. 단국대학교 화학과 교수

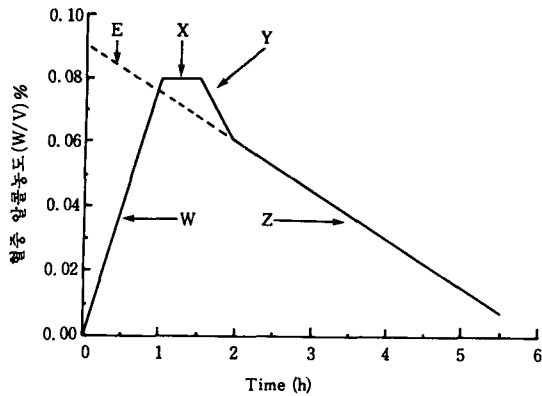


그림 1. 시간에 따른 혈중 알콜농도(W/V)%의 이상적인 변화율.

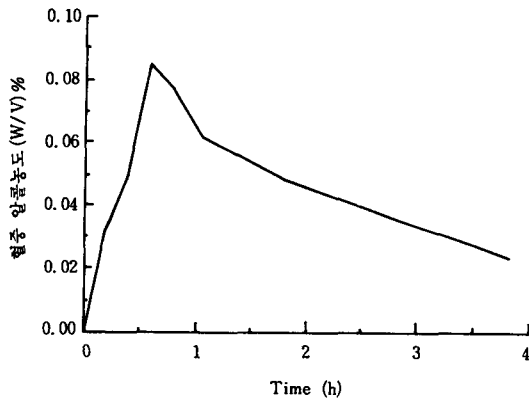


그림 2. 시간에 따른 혈중 알콜농도(W/W)%로부터 유도한 혈중 알콜농도(W/V)% 비 (몸무게 1kg당 ethanol 0.47g을 섭취한 남자의 경우)

Widmark의 혈중 알콜농도 %(W/V)는 혈액의 평균비중 1.055g/ml를 이용하여 혈중 알콜농도 %(W/V)로 바꿔줄 수도 있다. 그러기 위하여 식 1과 같은 R값을 먼저 구해야 한다.

$$R = A/PC \quad (1)$$

여기에서 R는 일정한 몸무게에서 알콜섭취량과 혈중 알콜농도 비를 나타내는 상수이고 A는 알콜섭취량(g), P는 몸무게(g), C는 혈중 알콜농도이다.

식 1에서 R의 평균값은 남자인 경우 0.68(±

0.85) 이고 여자의 경우 0.55(±0.055)를 나타내므로 혈중 알콜농도(W/V)%는 다음과 같이 구할수 있다.

$$\text{혈중 알콜농도(W/V)\%} = A/PV \times 1.055g/ml \times 100 \quad (2)$$

식 2에서 구한 혈중 알콜농도(W/V)%는 W.C.Timmer에 의하여 계산한 표1과 비교해보면 남자의 경우 68.10kg의 몸무게에서 100proof(50% 알콜) 6온스를 마신경우 혈중 알콜농도(W/W)%가 0.15%인데 비하여 식 2에 의하여 계산한 값은 0.159≐0.16%로서 표1과는 약 6%의 오차가 생긴다. 즉 식 2에 의하여 남자의 경우 R 값이 최대인 경우 혈중 알콜농도(W/V)%는 0.183% 이고 최소인 경우 0.142%로서 그차가 0.041% 정도이고, 여자의 경우 최대값이 0.219%, 최소값은 0.179%로서 그차는 0.027%이며, 여자의 혈중 알콜농도 평균값은 0.199 ≐ 0.20%로서 남자와 여자의 차이는 평균 0.04% 정도이다.

참고로 만약 여자의 몸무게가 55kg 인 경우에 같은량을 섭취했다면 이경우 0.244%로서 남여차가 훨씬 더 멀어지게 된다. 일반적으로 A 값의 평균값은 식 3에 의하여서도 구할수 있는데

$$A = \frac{W \times R \times \text{혈중 알콜농도}(w/w)\%}{0.8}$$

(3)

여기에서 A는 체내의 알콜량(ml), W는 몸무게(g), R는 Widmark상수, 0.8은 알콜의 비중이다.

식 3은 대략적인 A값을(ml)단위로 구하는데 이용할 수 있고 실제로 식 4를 이용할 수 있다.

$$A = DFV \times 29.57ml/\text{온스} \times 0.789g/ml$$

(4)

여기에서 A는 체내의 알콜량(g), D는 소비된 병수 혹은 ml수로 나타낼수 있는 수, F는 ml수를 온스 단위, V는 알콜 %에 해당수로서 「예 100 Proof(50%)는 0.5, 80 proof(40%)는 0.4등」 29.57ml/온스 는 전환상수, 0.789는 알

표 1. Widmark 식을 이용한 Timmer에 의한 혈중 알콜농도(W/W)%

알콜량* 몸무게 (Lb)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	0.038	0.076	0.115	0.153	0.191	0.229	0.267	0.306	0.344	0.382	0.420
110	0.035	0.069	0.104	0.139	0.174	0.208	0.243	0.278	0.313	0.347	0.382
120	0.032	0.064	0.096	0.127	0.159	0.191	0.223	0.255	0.287	0.318	0.350
130	0.029	0.059	0.088	0.118	0.147	0.176	0.206	0.235	0.265	0.294	0.323
140	0.027	0.055	0.082	0.109	0.136	0.164	0.191	0.218	0.246	0.273	0.300
150	0.025	0.051	0.076	0.102	0.127	0.153	0.178	0.204	0.229	0.255	0.280
160	0.024	0.048	0.072	0.096	0.119	0.143	0.167	0.191	0.215	0.239	0.263
170	0.022	0.045	0.067	0.090	0.112	0.135	0.157	0.180	0.202	0.225	0.247
180	0.021	0.042	0.064	0.085	0.106	0.127	0.149	0.170	0.191	0.212	0.233
190	0.020	0.040	0.060	0.080	0.100	0.121	0.141	0.161	0.181	0.201	0.221
200	0.019	0.038	0.057	0.076	0.096	0.115	0.134	0.153	0.172	0.191	0.210
210	0.018	0.036	0.055	0.073	0.091	0.109	0.127	0.146	0.164	0.182	0.200
220	0.017	0.035	0.052	0.069	0.087	0.104	0.122	0.139	0.156	0.174	0.191
230	0.014	0.033	0.050	0.066	0.083	0.100	0.116	0.133	0.150	0.166	0.183
240	0.016	0.032	0.048	0.064	0.080	0.096	0.111	0.127	0.143	0.159	0.175

주)※ 100 Proof(50% 알콜)의 온스 수(남자의 경우)

콜의 비중이다.

예를들면 70kg의 남자가 소주 50proof(25 알콜%) 360ml(1병)을 마셨다면

$$A=1 \times 12 \times 0.25 \times 29.57 \times 0.789 = 69.99g$$

$$\text{혈중 알콜농도 (W/V)\%} = (69.99 / 0.68 \times 70000) \times 1.055 \times 100 = 0.16(W/V)\%$$

위에서 Timmer의 값과 식 2에 의한 계산값이 6%의 차이를 보이는 것은 혈액의 비중 1.055를 곱해주지 않았기 때문으로 볼 수 있다.

그리고 술을 마신다음 정확히 측정하려면 시간의 흐름에 따라 혈중 알콜량이 감소하므로 정확한량은 시간에 따른 비를 계산해 주어야 한다. 즉 처음 혈중 알콜량에서 시간에 따른 알콜감소율  $\beta$ 와 시간(t)의 곱을 빼주어야 하므로 일정시간 경과후에는 식 5와 같이 나타낼수 있다.

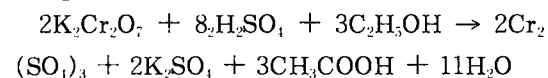
$$\text{실제 혈중 알콜농도(W/V)\%} = \text{처음 혈중 알콜농도(W/V)\%} - \beta t \quad (5)$$

$\beta$ 값은 Widmark가 알콜의 감소율은 남자인 경우 0.0009~0.023/h로서 0.00025g 알콜량/100g 혈액/min로서 평균값은 0.011~0.021%/h로서 남, 여 다같이 시간에 따른 혈중

알콜감소율  $\beta$ 값의 평균은 0.016%/h로 나타낼 수 있다.

그러면 우리가 실제 흔히 마시는 소주의 경우를 예로들어 식 2에 의하여 알콜 섭취량과 혈중 알콜농도로 계산한 결과를 각 몸무게 별로 표 2로 나타낼 수 있다.

측정 원리를 화학적인 측면으로 본다면 상업용 음주량 측정기는 대체적으로 진한 황산 1.5ml와 물 1.5ml에  $K_2Cr_2O_7$  0.75mg와  $AgNO_3$  0.75mg를 함유하고 있는데 이론적인 반응식은



로서 Cr의 산화환원반응식에서 보인바와 같이 ethanol에 의하여  $K_2Cr_2O_7$ 의 색의 변화를 파장 440nm 부근에서 Beer의 법칙에 의하여 측정하여 ethanol의 함량으로 계산해 줄 수 있다. 그러면 위의 반응에서 혈중알콜량으로서 0.10%는 ethanol로서 0.025mg이 되는 셈이다.

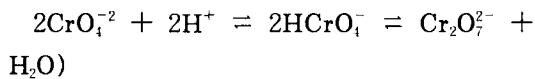
이식은 반드시 첫째는 Beer의 법칙에 적용해야 하고 식에서와 같이  $Cr^{+6}$ 와  $Cr^{+3}$ 사이의 반응은 아래와 같이  $H_2SO_4$ 의 농도에 영향을

표 2. 각 몸무게에서 알콜 섭취량과 혈중알콜 농도관계

몸무게 (kg)	섭취한 알콜량(남자의 경우)										
	맥주(ml) 소주(ml)	300	600	900	1200	1500	1800	2100	2400	2700	3000
45		0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36	0.40
50		0.04	0.08	0.11	0.14	0.08	0.22	0.25	0.28	0.32	0.36
55		0.04	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.26	0.29	0.34
60		0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30
65		0.03	0.06	0.08	0.11	0.14	0.17	0.19	0.22	0.25	0.28
70		0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.20	0.23	0.26
75		0.03	0.05	0.07	0.10	0.12	0.14	0.17	0.20	0.23	0.24
80		0.03	0.05	0.07	0.08	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22
90		0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20
100		0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	0.18

주). 맥주는 알콜 5% 기준. 소주는 알콜 25% 기준.

받을수도 있으므로 산의 농도가 정확해야 한다.



노란색                      붉은오렌지색

표 1과 2에서 보면 68.1kg의 몸무게를 가진 사람이 각기 100 proof(50% 알콜)6온스나 소주로서 360ml(1병), 맥주 1800ml(약 5캔) 등을 마시는 경우 혈중 알콜농도(W/V)%는 0.15-0.16 정도가 되는데 이 양들은 각각 약 3시간에 걸쳐서 마셨다고 보면 시간당 감소율은 0.016%/h 이니까 0.048을 빼주어야 하므로 즉 3시간 후에는 0.10 - 0.11 정도가 된다.

음주운전 단속기기는 혈중 알콜량을 측정하기 위한 호흡 입김시료의 분석장치를 응용한 것으로서 호흡 입김의 분석기기는 혈중 알콜이 간내의 공기중의 알콜량과 평형을 이루고 있다는 원리를 기초로 한 것이다. 일반적인 단속용 측정기기는 R.F.Borkenstein 「미국특허 2824789(1958)」이란 사람에 의하여 발전되어 왔고 분석화학에 기초를 두고 있다. 즉 알콜을 포함하고 있는 입김시료 52.5ml를 산성화된  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 을 포함한 유리 앰플에 불어 넣으면 입김중에 포함하고 있는 알콜은 식초산까지 산화

되고 중 크롬산 칼륨은 환원되어 농도가 감소하게 된다. 이렇게 되면서 중크롬산 칼륨의 농도 변화에 의한 색 변화가 직접적으로 호흡 입김내의 알콜량에 비례하므로 이런현상을 이용하여 기기를 통하여 입김중의 알콜량을 혈중 알콜농도로 전환시켜서 기록으로 나타낸 것으로서 일반적으로 입김 2100ml 중의 알콜량이 혈중 알콜농도 1ml와 같게 만들어져 있다.

음주량 단속한계는 미국의 경우 California 등 몇개주 에서는 0.08%이고 조오지아주 에서는 0.12% 그외지역 에서는 거의가 0.10%로 정하고 있으며 국내에서도 0.10%를 정하고 있는 것으로 알고 있다. 술을 마시게 되면 거의가 혈중에 흡수되고 알콜이 몸내에 흡수되면 곧바로 감소도 일어나게 되는데 감소는 배설이나 대사에 의하여 일어나고 호흡에 의하여서도 일어나는데 주로 오줌이나 땀으로 나오게 된다. 배설되는 양은 매우 적어서 흡수량의 약 2% 정도로 알려져 있다. 한편 대사는 주로 간에서 일어나고 남은 98%의 알콜은 간이 부담하게 되므로 간의 역할이 어느 정도인가를 짐작할 수 있다.

그러나 술은 마실시의 안주의 종류, 마신시간, 위의 비어있는 상태 또는 중요한것은 술의 감소율이나 섭취정도가 사람에 따라 다르다.