

# 음주 후의 혈중 알콜의 농도-시간 관계

이원영 · 안병준 · 신용철

동국대학교 안전공학과

## 1. 서 론

우리나라의 경우 혈중알콜농도의 규제기준치로서 BAC 0.05%를 채택하고 있다. 또한 그 측정방식으로 호흡측정을 인정하고 있다. 그럼에도 불구하고 법 적용에 있어서는 법원은 물론 단속기관 및 학계 등에서 혈중알콜농도의 측정 및 기소에 대한 충분한 지식 기반이 형성되어있지 않기 때문에 음주측정의 절차, 기소요건 등에 있어서 여러 가지 정리되지 않은 문제들이 많이 남아있다. 따라서 법 적용의 타당성과 합리성을 높이기 위해서는 혈중알콜농도의 측정 및 추정 등에 있어서 요구되는 법 정신과 그를 뒷받침하는 경험 과학적 요소에 대한 컨센서스 도출과 구체적인 사항에 대한 정리가 필요하다. 외국에서는 이미 오래 전부터 인체 및 행동에 미치는 알콜의 영향은 물론 혈중알콜농도의 측정 및 추정과 관련된 연구 및 논의를 진행해 왔으며, 그러한 바탕 하에서 법적 적용문제에 있어도 사회적 합의를 형성해 나가고 있다. 따라서 우리나라의 경우도 최근 문제가 되고 있는 호흡측정의 신뢰성 확보 및 혈중알콜농도의 추정 등과 관련된 연구 및 논의 기반 확산이 매우 중요하다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 일련의 실험을 통해 혈액측정 방식과 비교하여 기존에 경찰에서 사용되는 호흡측정기의 신뢰성 문제를 검토하는 한편, 시간 경과에 따른 혈중알콜의 분해과정과 그것에 영향을 미치는 요인들에 대해 검토하였다.

## 2. 혈중 알콜 농도와 분해율에 대한 고찰

혈액 속의 알콜의 양은 BAC(blood Alcohol concentration) 또는 BAL(blood Alcohol level)로 표시한다. BAC 농도 단위는 여러 가지가 있으며, 우리나라에서는 혈액 속의 알콜 %(w/v; g/100ml)를 기준으로 한다. 혈액 속의 알콜의 생리적 과정은 약물역학 관점에서 보면 흡수, 확산, 신진대사 과정을 거친다.

### (1) 흡수과정

공복상태에서 알콜을 섭취하게 되면 혈액 속의 알콜 농도는 빠르게 올라가며, 45분에서 60분내에 최대값에 도달하게 된다. 그 후에는 여러 시간에 걸쳐 점차 감소한다<sup>1)</sup>. 일반적으로 표준 음주량 1잔을 마신 후에 음주자의 혈중알콜농도는 35~45분 사이에 정점에 이르며, 대략 0.02~0.03%의 혈중알콜농도를 보이게 된다<sup>2)</sup>. 그러나 공복상태에서 중간 정도의 에타놀을 빠르게 섭취한 후에는 BAC의 정점이 과잉발산 효과(overshoot effect)를 보여주기도 한다. 과잉발산(overshoot)은 일시적 효과이며, 거의 대부분 음주

직후에 일어난다. 과잉발산 직후와 확산 시작 단계에서 두 시점간 BAC의 변화를 산정한다면, 에타놀 분해율은 비정상적으로 높게 나타나게 된다<sup>3)</sup>. 술을 마실 때, 음식물을 같이 섭취하게 되면(보통 30분내에 마신 경우), 혈중알콜농도는 덜 급격히 상승하여 술 마신 후 2시간 정도에 완만한 정점을 이루며, 3시간 정도 후에는 흡수율이 분해율 이하로 떨어짐에 따라 점진적으로 하향식의 1차식 형태로 바뀐다<sup>4)</sup>. 음식물 중 탄수화물, 지방, 단백질 등은 특히 알콜 흡수를 지연시킨다. 한 연구결과에 따르면 지방, 단백질, 탄수화물 등을 포함한 음식물을 섭취한 후에 술을 마신 피험자들은 빈속에 술을 마신 피험자들보다 대략 3배정도 더 느리게 알콜을 흡수하는 것으로 나타난다<sup>5)</sup>.

## (2) 확산과정

혈액 속의 알콜농도가 크게 증가하게 되면, 신체조직의 체액으로의 확산을 통하여 빠르게 희석됨으로써 1차적으로 혈중알콜 농도를 낮추게 되며, 그 다음으로는 신진대사과정의 제거기능이 작용하여 혈중알콜 농도를 낮추게 된다. 빠르게 진행되는 최초의 확산/희석 과정은 남성들 사이에서는 1차적(first order)인 것으로 보이지만 여성에게는 분명하지 않다. 이것은 확산의 범위가 전체 체액의 부피에 한정되며, 여성의 체액은 남성의 2/3에 불과하기 때문인 것파도 관계가 있다<sup>6)</sup>.

## (3) 신진대사 과정

혈중 알콜의 대부분(90%정도)은 주로 간에서의 신진대사를 통해 분해되어 없어지나, 일부는 호흡이나 소변을 통해 체내로 배출된다. 신진대사를 통한 알콜의 제거는 1차식의(pseudo-zero order)과정으로서 나타나는 바, 오래 전부터 확립된 Widmark 계산식( $A=c_0 \times p \times r$  및  $c_0 = c_t + \beta t$ )은 이를 잘 설명해 준다. 이 식에서 A는 섭취된 알콜 총량, p는 총 몸무게, r은 알콜이 존재할 수 있는 신체의 일부 무게의 비율,  $\beta$ 는  $c_t$ 까지 혈중알콜농도 분해율,  $c_0$ 는 제로 시간까지 외삽법에 의해 역으로 연장할 경우의 혈중알콜농도이다. Widmark는 남자에게는  $0.68 \pm 0.085$ , 여자에게는  $0.55 \pm 0.055$ 의 평균 r값을 할당했다<sup>6)</sup>. 혈중알콜농도의 감소율은 개인 간, 각기 다른 기회간에 생물학적 변산이 있을 뿐 아니라, 그 감소율도 알콜의 섭취량에 따라 일정하게 변한다. 여러 연구들이 각기 다른 특성의 음주자들에 대한 분해율의 상한과 하한을 제시했다. Lewis(1987)에 따르면 분해율 평균치는 사회적 음주자는 0.019%와 0.011%(11mg/100ml/h), 비음주자는 0.016%와 0.008%, 알콜중독자는 0.039%와 0.021%로 음주자 특성에 따라 다르게 나타난다<sup>7)</sup>. 한편 음주운전으로 적발되는 사람들의 혈중알콜 평균 분해율은 일반인들보다 높으며, 상습음주자와 유사하다는 연구 결과도 있다. 음주운전으로 적발된 1090명의 운전자로부터 60분 정도 간격(평균 68분, 30-120분)의 두 혈액표본을 취해 혈중알콜분해율( $\beta$ 기울기)을 분석한 Jones(1996)의 연구의 경우 여성의 평균  $\beta$ 는  $0.214 \pm 0.053$ mg/ml 인 반면, 남성은  $0.189 \pm 0.048$ mg/ml 이었으며, 이 차이는 통계적으로 유의하였다( $t=5.21$   $p<0.001$ ). 그러나 이러한 분해율 값들은 모든 사람에 그대로 적용하기는 어렵다. 역시 개인차 변수가 몹시 크기 때문이다.

### 3. 음주량과 혈중알콜농도에 대한 실험

본 연구의 목적은 음주 후 혈중알콜농도가 음주량과 시간 경과에 따라 어떻게 달라지며, 그 측정 방식으로 호흡측정과 혈액측정 간에는 어떤 관계가 있는가를 살펴보는 것이다. 또한 음주의 상습성 여부가 이러한 변화에 어떻게 영향을 미치는가를 살펴보고자 하였다.

#### 1. 실험설계 및 실험절차

혈중알콜농도측정 실험상의 변수(독립변수, 종속변수, 매개변수)는 다음과 같다.

독립변수: 알콜 투여 농도, 측정시간

종속변수: BAC, BrAC

매개변수: 환경(온도  $18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ), 개인 변수(연령, 체중, 성별, 신장, 결혼유무, 학력, 직업, 차량종류, 운전면허종류, 운전경력)와 음주습관 변수(who 알콜의존도 검사 결과, 월간 음주 횟수, 지난 1주간 마신 횟수, 1회 음주량)

실험계획은 현재 시중에서 가장 일반적으로 마시는 소주(22%)를 주종으로 하며, 건강상 이상이 없는 79명의 피험자를 선별하여 남·녀의 성별, 20대와 30대 이상의 연령별로 나누고 각각 단위체중 당 마시는 알콜양을 기준으로 0.35 g/kg, 0.68 g/kg, 1.05 g/kg의 3개 그룹으로 Split plot design 하였다. 혈중알콜농도의 측정을 위해 실험 전 6시간동안 피험자를 공복상태를 유지하도록 하였고, 전체 알콜 투여는 30분간 실시하였다. 알콜 투여 후 30분 간격으로 6~8회 동안 혈액을 채취하였으며, 혈중알콜농도 프로파일을 얻기 위해 호기측정을 병행하였다. 호기 알콜 농도의 측정은 알콜 투여 후 매 10분~15분 간격으로 투여량에 따라 240분(4시간)까지 실시하였다.

실험은 동국대학교 경주캠퍼스 안전공학과 강의실에서 실시하였다. 실험통제가 용이하도록 전체 인원을 무선적으로 25~28명 정도의 3 집단으로 나누고, 2002년 6월 14일, 6월 15일 및 7월 21일 3차에 걸쳐 18:00~22:00시의 동일 시간대에 반복 실험을 하였다.

Table 1. 피험자의 분포

연령	0.35 mg/ml		0.68 mg/ml		1.05 mg/ml		합계
	남성	여성	남성	여성	남성	여성	
20대	5	5	8	8	5	5	36
30대이상	4	10	5	13	5	5	42
합계	9	15	13	21	10	10	79

#### 2. 실험도구

본 연구에 이용된 실험도구는 혈중알콜농도분석기(Gas Chromatography HP 7694 Series II, AutoSampler HP-7694), 호기알콜농도측정기(SD-400 Breath alcohol analyzer), 혈액채취용 주사기, 저장용기 등이었다.

○ 혈중 알콜농도분석기

피험자의 혈액 채취를 통한 혈중알콜농도를 측정하기 위하여 10 ml 튜브용기에 혈액과 타액을 채취하여 국립과학수사연구소의 Gas Chromatography (HP 7694 Series II)를 활용하였다.

○ 호기알콜농도분석기

호기알콜농도를 분석하기 위하여 영국 lion inc.사의 SD-400 breath alcohol analyzer를 사용하였다. 측정기기의 측정방식은 fuel cell 방식으로, 정상작동온도는 5~40℃, 측정범위는 0.005~0.400%BAC까지 측정이 가능하다.

#### 4. 실험 결과

##### 1. 혈중알콜농도 측정결과

###### 1.1. 혈액채취 분석 결과

체중에 따라 소주 1잔 반~3잔을 마신 0.35g/kg<sup>8)</sup> 가벼운 음주 그룹의 경우, 혈중알콜 피크치의 범위는 최소 0.022%~최대 0.050%에 이르며, 평균값은 0.041%였다. 피크 시간대는 10~40분으로 개인차가 크게 나타났으며, 혈중알콜이 완전히 사라지는 것은 대략 음주 후 3시간 정도 이후로 나타난다. 특징적인 것은 0~20분의 흡수단계에서의 개인차가 높았다. 이것은 흡수 초기 단계에서의 소위 과잉발산 효과(overshoot effect)이다.

체중에 따라 소주 반병~1병을 마신 0.68g/kg<sup>9)</sup> 중간 음주그룹의 경우, 혈중알콜 피크치의 범위는 최소 0.034%~최대 0.118%였으며, 평균값은 0.084%였다. 0.35g/kg 그룹과는 달리 피크 시간대가 30~60분으로 시간적으로 지연 현상이 나타났다. 특징적인 것은 쌍봉형태의 피크 점으로, 이것은 중간 정도의 음주량에서는 체중 당 동일 양의 음주를 하더라도 사람에 따라 30분대 초기에 피크를 이루는 사람과 60분대에 피크를 이루는 사람의 유형이 있음을 시사한다. 이 음주량 그룹에서 혈중알콜을 완전히 분해하는 시간은, 대략 음주 후 4시간 이상이었다. 이 그룹에서는 과잉발산 효과(overshoot effect)는 그리 나타나지 않았는데 이것은 마시는 알콜양과 관계 있는 것으로 보인다.

체중에 따라 소주 350ml~483ml를 마신 1.05g/kg<sup>10)</sup> 다량 음주그룹의 경우, 혈중알콜 피크치의 범위는 최소 0.090%~최대 0.149%에 이르며, 평균값은 0.127%였다. 0.68g/kg 그룹과도 달리 피크 시간대는 일부 30분대를 제외하고는 60분대에 집중되는 현상을 보이고 있다. 이 음주량 그룹에서 혈중알콜을 완전히 분해하는 시간은 대략 음주 후 5시간 이상을 요하는 것으로 평가된다. 역시 이 그룹에서도 과잉발산 효과(overshoot effect)은 크게 나타나지 않는다.

###### 1.2. 시간당 혈중알콜농도의 분해율 분석

시간당 혈중알콜농도의 분해율( $\beta$ )은 음주 후 1시간이 지난 뒤의 분해 단계에서 안정된 분해 패턴이 나타나는 점을 기준해서 개인별 회귀계수를 구하여 계산하였다. 시간

당 혈중알콜농도의 평균 분해율( $\beta$ )은  $-0.0178$ 이었으며, 표준편차는  $0.00497$ 로 나타났다. 평균 분해율( $\beta$ )의 범위는 최소  $0.010\%$ ~ 최대  $0.036\%$ 였다.

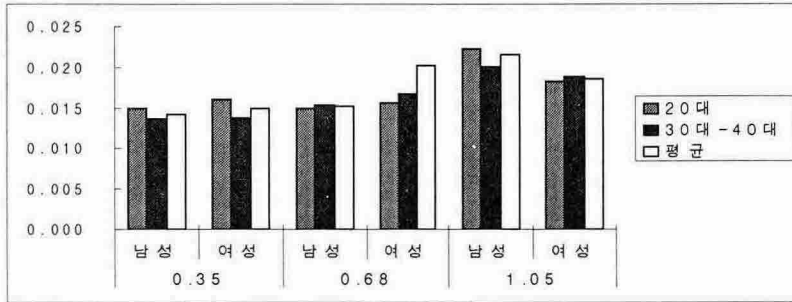


Fig. 1 그룹간 혈중알콜농도 분해율의 비교

Table. 2 혈중알콜농도의 평균분해율

연령	농도 0.35		0.68		1.05	
	남성	여성	남성	여성	남성	여성
20대	-0.0149	-0.0160	-0.0150	-0.0157	-0.0224	-0.0183
30대이상	-0.0137	-0.0138	-0.0154	-0.0207	-0.0201	-0.0189
평균	-0.0143	-0.0149	-0.0152	-0.0182	-0.0217	-0.0186

또한, 성별과 연령대 그리고, 혈중알콜농도에 의한 혈중알콜농도의 분해율의 차이를 알아보기 위하여 분산분석을 실시한 결과는 아래 Table. 3과 같다.

Table. 3 혈중알콜농도의 평균 분해율간의 분산분석 결과

요인	자유도	제곱합	평균제곱	F-값
성별	1	0.00001116	0.00001116	1.05
연령대	1	0.00001207	0.00001207	1.14
성별*연령대	1	0.00004209	0.00004209	3.96
알콜농도	2	0.00029800	0.00014900	14.02**
성별*알콜농도	2	0.00019273	0.00009636	9.07**
연령대*알콜농도	2	0.00014921	0.00007460	7.02**
성별*연령대*알콜농도	2	0.00008088	0.00004044	3.81*

\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$

그룹간의 차이를 비교한 결과, 성별, 연령 간에 따른 혈중알콜농도의 차이는 유의차가 없었다. 3개 알콜농도 그룹( $p < 0.01$ )간에는 유의한 차이가 있었다. 성별과 연령대의 교호작용은 유의차가 없었지만, 성별과 알콜농도 그룹 간( $p < 0.01$ ), 연령대와 알콜농도 그룹 간( $p < 0.01$ ), 성별, 연령대 및 알콜농도 그룹 간( $p < 0.01$ )의 교호작용은 유의차가 있는 것으로 분석되었다. 또한, Duncan test 결과, 성별로 남·녀 간에는 유의차가 없었으나, 연령대별로 20대와 30대 이상 간에는 유의한 차이( $p < 0.05$ )를 보였으며, 마찬가지로 알콜농도 그룹간에도 유의한 차이( $p < 0.01$ )를 보였다.

### 1.3 혈액측정과 호흡측정 결과의 비교

본 실험에서는 또한 호흡측정의 신뢰성 분석을 위해 혈액측정 결과와 비교 분석을 실시하였다. 이를 위해 전 측정에 걸쳐 5분 간격 이내의 동일 시간에 동일 피험자를 대상으로 호기와 혈액을 반복 측정한 데이터를 분류하였다. 시간대별로 얻을 수 있었던 비교 데이터쌍 수는 다음과 같다.

Table. 4 시간대별 혈액 및 호기 비교 데이터

시간대(분)	빈도	퍼센트
10	14	3.9
20	1	.3
30	42	10.9
40	25	6.5
60	53	13.6
70	26	6.8
80	1	.3
90	52	13.5
100	26	6.8
110	1	.3
120	38	9.9
130	25	6.5
150	32	8.3
180	18	4.7
180	20	5.2
190	9	2.3
205	1	.3
합계	364	100.0

이 자료를 기반으로 전체 호기측정치(BrAC)와 혈액측정치(BAC)를 분석한 결과 전체 자료에 대한 BrAC와 BAC 간의 상호 상관은 0.890으로 나타났으며,  $\beta$ 계수는 0.924, 상수는 0.00529였다. 이 결과를 산포도로 나타내면 다음과 같다.

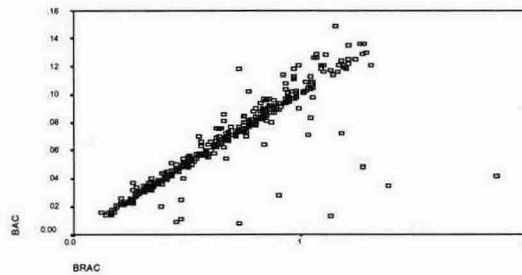


Fig. 2 BrAC와 BAC 비교

Fig. 2에서 알 수 있듯이 BrAC와 BAC 값 간에는  $\beta$ 계수 0.924로 거의 차이가 없으나 BrAC 데이터에 있어 일부가 회귀선에서 많이 벗어나 있음을 알 수 있다. 이것은 마우스 알콜 등과도 관련이 있다. 음주 후 15분 이내에 호기 측정을 하게 되면 마우스 알콜의 영향을 배제할 수 없다는 것이 일반적인 연구 결과이다. 본 연구에서는 그러한 영향을 알아보기 위하여 음주 후 10분대 및 20분대에서 호기 측정을 실시하였으며, 그 결과 실험과정에서 피험자 중 일부 데이터가 튀는 것을 발견할 수 있었다. 이러한 경향은 30분대에까지 부분적으로 나타났다. 특히 실험과정에서 측정시 트림 등과 같이 마우스 알콜이 나오게 되는 상황을 적절히 통제하지 못한 것도 부분적으로는 원인이 되는 것으로 보인다. 이에 따라 30분대까지의 측정결과를 배제하고 비교한 결과는 다음과 같다.

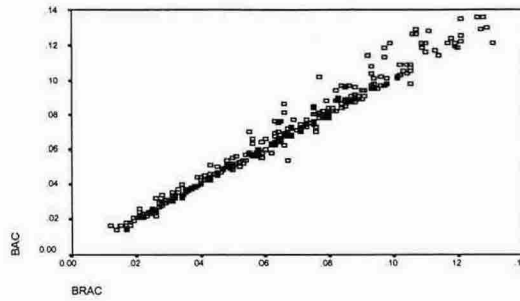


Fig. 3 음주 후 30분 이후 BrAC와 BAC 비교

Fig. 3에서 알 수 있듯이 BrAC와 BAC 간의 상호 상관은 0.988로 나타났으며,  $\beta$ 계수는 1.053, 상수는 0.000748이었다. 이 결과는 음주 후 30분대를 넘어선 호흡측정 결과는 혈액측정 결과와 거의 일치하며, 오차의 발생시 호흡측정 결과는 혈액측정 결과보다 낮게 나타날 수 있다는 것을 의미한다.

## 5. 결과 논의 및 결론

본 연구에서 혈액측정 결과, 체중 당 0.35g(0.35g/kg)의 가벼운 음주군의 혈중알콜 피크치의 범위는 최소 0.022%~최대 0.050%에 이르며, 평균값은 0.041%로 나타났다. 또한 중간 음주군(0.68g/kg)의 혈중알콜 피크치의 범위는 최소 0.034%~최대 0.118%, 평균값은 0.084%였으며, 다량 음주군(1.05g/kg)의 혈중알콜 피크치 범위는 최소 0.090%~최대 0.149%, 평균값 0.127%로 나타났다. 이러한 결과는 호흡측정 결과와 별 차이가 없었다. 혈액측정 결과를 기준으로 구한 79명 피험자의 혈중알콜농도의 시간당 평균 분해율( $\beta$ )은 -0.0178이었으며, 표준편차는 0.00497로 나타났다. 이것은 외국의 연구 결과와도 차이가 없는 것이다. 또한 호흡측정의 신뢰성 분석을 위해 혈액측정 결과와 비교 분석을 실시한 결과, 전체 자료에 대한 BrAC와 BAC 간의 상호 상관은 0.890으로 나타났으며,  $\beta$ 계수는 0.924, 상수는 0.00529였다. 본 연구에서는 이러한 차이가 호흡측정시 금기시 되는 음주 후 10분대 전후 측정과 관련이 있는 것으로 보았다. 이에 대해 30분까지 이후의 데이터 쌍을 비교한 결과, BrAC와 BAC 간의 상호 상관은 0.988로 나타났으며,  $\beta$ 계수는 1.053, 상수는 0.000748이었다. 이는 음주 후 30분대를 넘어선 호흡측정 결과가 혈액측정 결과와 거의 일치하며, 오차가 발생하더라도 호흡측정 결과가 혈액측정 결과보다 낮게 나타날 수 있다는 것을 의미한다. 앞으로 30분대 이전의 호흡 측정 문제에 관련하여 측정 오차에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보인다. 이런 문제를 배제하고, 호흡측정의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위한 방법으로서 미국 등과 같은 나라에서는 호흡측정에 대한 표준 절차를 확보하고 있다. 반복측정, 특정 기한 내의 규칙적인 교정(calibration) 체크, 기기와 조작자의 인증 및 결과간의 일치 등에 대한 규정을 검사기기의 정확성을 확실히 하고 그 사용을 정제화 하기 위해 폭넓게 적용하고있다<sup>11)</sup>. 호흡측정 요원 교육에서는 특히 호흡측정의 각종 오차 발생원과 그것을 최소화하는 방법에 대해



집중적으로 교육하는 바, 이것은 우리나라 현실에서도 그 중요성이 있는 부분이다.

결과적으로 기존에 경찰에서 쓰고있는 호흡측정기의 신뢰도는 혈액측정 결과와 거의 차이가 없으며, 있다고 해도 오히려 혈액측정 결과보다도 피의자에게 약간 유리한 수치를 제공해 주는 경향이 있음이 드러났다. 다만 본 연구에서 드러난 결과를 보면 행정 및 사법처리를 고려하는 음주 측정 과정에서는 마우스 알콜을 배제하기 위한 절차를 더 엄격히 집행할 필요성이 있음을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] Tetsuzo Kitagawa, Traffic Accident due to Drinking of Alcohol and its Countermeasure, translated and reprinted from J. Japan Society of Safety Engg.2, No.3, p.174(1963).
- [2] <http://www.niaaa.nih.gov/publications/aa35.htm>에서 재인용.
- [3] Jones A.W. et al., Peak Blood-Ethanol Concentration and the Time of Its Occurrence After Rapid Drinking on an Empty Stomach, 36 J. of Forensic Science 376, 385 (1991).
- [4] Lewis,K.O., Back calculation of blood alcohol concentration, British Medical Journal, vol.295, No.3.,1987.pp.800-801.
- [5] Jones,A.W., & Jönsson,K.A. Food induced lowering of blood -etanol profiles and increased rate of elimination immediately after meal. Journal of Forensic Science 39(4):1084-1093,1994. <http://www.niaaa.nih.gov/publications/aa35.htm>에서 재인용.
- [6] William E. M. Lands, A Review of Alcohol Clearance in Humans, Alcohol, Vol.15, No.2, pp.147-160,1998.에서 재인용.
- [7] Lewis,K.O., Back calculation of blood alcohol concentration, British Medical Journal, vol.295, No.3.,1987.pp.800-801.
- [8] 0.35g/kg 그룹 음주량의 범위는 22도 소주 86ml~161ml이며, 161ml의 경우 체중 80kg의 사람이 소주 잔(55ml) 기준 3잔을 마시는 경우임. 이 경우 그 사람의 몸무게 kg당 알콜양은 0.35g이 됨.
- [9] 0.68g/kg 그룹 음주량의 범위는 22도 소주 184ml~352ml이며, 352ml의 경우 체중 90kg의 사람이 소주 1병 분량을 약간 못 미치게 마시는 경우임. 이 경우 그 사람의 몸무게 kg당 알콜양은 0.68g이 됨.
- [10] 1.05g/kg 그룹 음주량의 범위는 22도 소주 352ml~483ml이며, 483ml의 경우 체중 80kg의 사람이 소주 1병과 소주 2잔 정도 곁들인 경우임. 이 경우 그 사람의 몸무게 kg당 알콜양은 1.05g이 됨.
- [11] Kennedy R. T.,Breath Alcohol Testing and Daubert Criteria: The Jurisprudence of Science in DWI Cases. <http://www.druglibrary.org/schaffer/Misc/driving/s20p4.htm>.