

A study on the reproducibility of blood alcohol concentration - time profile of an individual

Sungwook Hong[★]

Chemical Analysis Div. National Forensic Service, Seoul 158-097, Korea

(Received May 6, 2013; Revised May 10, 2013; Accepted May 10, 2013)

음주 후의 혈중알코올농도 변화의 재현성에 관한 연구

홍성욱[★]

국립과학수사연구원 화학분석과

(2013. 5. 6. 접수, 2013. 5. 10. 수정, 2013. 5. 10. 승인)

Abstract: In this study, the reproducibility of blood alcohol concentration (BAC) - time profile for the same individuals were investigated. Five Korean males were made to drink 55.5 g of ethyl alcohol (neglecting body weight) in the form of undiluted Soju (22% v/v), Korean popular liquor, within 30 min and each drinking sessions were performed for five times. Two kind of side dishes, a sliced raw fish and a sweet and sour pork, were served alternately along with alcohol. The peak BAC reaching time, the maximum BAC and the reduction rate of BAC of an individual varied greatly even though the dose and drinking time interval were not changed. Also, the food taken along with alcohol varies the shape of BAC - time profile. From the repetitive drinking sessions we can know that the BAC - time profile of an individual is not a reproducible one even though the dose, kind of liquor, drinking time and food were maintained constantly. It means that any assumption of blood alcohol concentration of an individual at a previous time stage based on the alcohol dose can not be justified because of large fluctuation of BAC-time profile of an individual.

요약: 본 연구에서는 음주 후 시간경과에 따른 혈중알코올농도 변화의 재현성을 실험하였다. 5명의 한국인 자원자에게 22%(v/v) 소주 한병(ethyl alcohol로 환산했을 경우 55.5 g)을 30분 안에 나눠 마시게 하는 실험을 5회 반복하였다. 자원자들에게는 안주로 회와 탕수육을 교대로 제공하였다. 알코올 섭취량과 섭취시간을 일정하게 유지했음에도 불구하고 혈중알코올농도가 최고에 이르는 시간과 그 때의 농도 및 시간경과에 따른 혈중알코올농도의 감소율은 사람에 따라 큰 차이를 보였다. 또한 안주에 따라서도 시간 변화에 따른 혈중알코올농도 변화곡선이 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 동일인에게 5회에 걸쳐 각기 다른 날 동일한 조건으로 음주하게 한 후 혈중알코올농도 변화곡선을 관찰한 결과, 시간경과에 따른 혈중알코올농도변화는 재현성이 없이 나타나는 것을 확인하였다. 또한 특정 시간대의 혈중알코올농도를 정확하게 역추정하는 것은 불가능하다는 것을 알 수 있었다.

Key words: Blood alcohol concentration (BAC), time profile, reduction rate, reproducibility

[★] Corresponding author

Phone : +82-(0)10-5212-3246 Fax : +82-(0)2-2600-4769

E-mail : swhong@korea.kr

1. 서 론

술의 주성분인 ethyl alcohol은 현대사회에서 가장 많이 이용되는 남용약물이고, 음주운전으로 인한 피해는 그 추산이 불가능할 정도로 많다. 현재 혈중알코올농도는 음주운전 피의자의 음주여부를 판단하는 가장 정확한 판단 기준이므로 혈중알코올농도를 정확히 측정하는 것은 법과학적으로 대단히 중요한 일이고, 그동안 세계 법과학실험실에서는 신속하고 정확하게 혈중알코올농도를 측정할 수 있는 방법을 개발, 활용함으로써 지금은 혈중알코올농도의 분석결과 자체에 대하여는 의문을 제기하지 않는 상황을 맞이하였다.^{1,3} 그러나 알코올의 흡수율은 섭취자의 성별, 체중 등에 따라 달라지고,^{8,14} 흡수된 후에는 체내에서 지속적으로 대사 및 배출되기 때문에 시간이 경과함에 따라 그 값이 지속적으로 변하는데,^{2,4,7,9,12} 불가피하게 음주단속 시점에서 채혈을 못하고 일정 시간이 경과한 후 채혈한 경우 음주단속 시점에서의 혈중알코올농도가 얼마인가에 대해서는 많은 논란이 있어왔다.^{5,6}

현재 음주단속 체계는 일선 경찰관이 음주운전자를 적발한 후 조서 및 채혈동의서 작성, 위생시설이 갖춰진 병원으로의 이동 등의 과정을 거친 후 혈액을 채취하도록 되어 있고, 이 결과 불가피하게 적발과 채혈 시점이 30분 이상 차이가 나게 되고, 이러한 경우는 외국에서도 빈번히 발생하고 있다. 더구나 운전자가 경찰의 단속에 불복하여 경찰관과 불필요한 논쟁을 벌일 경우(일부 운전자는 술이 깨기를 기다리면서 채혈을 거부하는 경우도 있다) 적발에서 채혈까지는 상당한 시간을 소모하게 되고, 이 경우 적발 혹은 사고 시점의 혈중알코올농도를 판단하여 처벌하는 것이 대단히 어려워진다. 더구나 교통사고를 야기하고 수 시간 지난 후 검거된 피의자의 경우 사고 당시의 혈중알코올농도를 예측하는 것은 더더욱 어려운 일이다. 현재는 음주와 관련된 범행이 발생하였고 즉시 채혈하지 못한 경우에는 다음 식 (1)에 의해 사건 당시의 혈중알코올농도를 역추정하는 경우가 있다.

$$C_t = C_g + (t \times \beta) \quad (1)$$

여기서 C_t 는 적발 당시의 혈중알코올농도(mg/mL), C_g 는 음주운전 피의자의 혈액을 채혈해 실험실에서 분석한 혈중알코올농도(mg/mL), t 는 실제 채혈한 시간에서 음주운전 적발시간을 빼 준 시간(h)을 의미한다. β 는 시간경과에 따른 혈중알코올농도의 감소율로서 서양의 경우에는 0.015 mg/mL/h를 한국 대법원에

서는 0.008 mg/mL/h를 사용하고 있다.¹⁸

그러나 사람의 혈중알코올농도는 섭취한 음식물의 종류, 체질, 체격조건, 음주 방법 등에 따라 달라지고, 감소율 또한 개인차가 많다는 것은 잘 알려진 사실이다.^{13,15} 더구나 음주 후 혈중알코올농도의 변화를 예측하려 시도된 여러 연구결과에 의하면^{10,11,16} 혈중알코올농도는 최초 음주 후 60-90 분 사이에 최고값에 도달한 후 점차 감소하는 것으로 알려져 있는데, 혈중알코올농도가 증가하고 있는 구간에서 적발된 운전자에게도 일률적으로 혈중알코올농도의 감소율을 적용함으로써 자신의 음주량보다 훨씬 과한 처벌을 받을 개연성도 있고, 재판 과정에서 변호인이 이를 집중적으로 추궁하여 음주운전 행위가 명백함에도 불구하고 무죄 평결을 이끌어내는 경우가 많이 발생하고 있다 (rising alcohol defense).¹⁷ 따라서 피의자의 혈중알코올농도가 증가하는 구간인지 혹은 감소하는 구간인지 여부를 판별, 피의자 고유의 혈중알코올농도의 변화 양상 및 감소율의 확인 등은 정확한 혈중알코올농도 판단을 위해 대단히 중요한 요소이다. 그러나 현재까지는 이를 확인할 수 있는 방법이 알려져 있지 않고, 특히 음주 후 혈중알코올농도가 개인에 따라 재현성 있게 변화하는지 여부에 대한 연구 결과는 전혀 보고 되어 있지 않다.

본 연구에서는 음주 후 혈중알코올농도가 개인에 따라 재현성 있게 변하는지 여부를 확인하여 향후 혈중알코올농도 예측에 필요한 기본 자료를 마련하고자 자원자 5인에게 소주를 마시게 한 후 이들의 혈중알코올농도 변화를 관찰하였고 이를 근거로 시간경과에 따른 혈중알코올농도의 감소율 및 그 변위를 검토하였다.

2. 실험 및 방법

2.1. 실험 대상

실험은 20-40대의 건장한 한국 남자 5인을 대상으로 하였으며, 실험일 2-3일전까지 음주를 하지 않은

Table 1. Demographic details of five volunteers

Volunteers	Age	Body Weight (kg)	Height (cm)
A	22	64	180
B	22	71	183
C	41	70	168
D	39	86	170
E	43	67	174

상태이다. 이들의 연령, 신장, 체중은 Table 1과 같다.

2.2. 음주 방법

술은 체중에 상관없이 자원자 1인당 22% 소주(320 mL) 1병씩을 30 분 안에 나누어 마시도록 하였다. 안주로는 탕수육(sweet and sour pork, SP)과 회(sliced raw fish, SF)를 제공하였다. 안주 섭취량, 안주 섭취 시간, 음주 간격 등은 제한을 두지 않았고 자원자들끼리 자유롭게 대화하도록 유도하였으며 흡연 및 배뇨 등을 제한하지 않는 등 자원자가 최대한 자유로운 분위기에서 음주할 수 있도록 함으로써 실제 음주상황을 최대한 반영하도록 하였다. 또한 실험은 오후 6 시 30 분에 저녁을 먹지 않은 상태에서 시작하였고 점심 식사 여부는 일부러 통제 및 확인하지 않았다. 실험은 1차 실험 실시 5일 후에 2차 시험, 9일 후 3차 시험, 18일 후 4차 시험, 21일 후 5차 시험을 하는 방법으로 21일간 시행하여 피실험자들이 실험에 의한 피로감을 느끼지 않도록 하였다.

2.3. 채혈방법

연속적인 채혈에 따른 자원자의 고통을 최소화 하기 위하여 실험자의 팔 정맥에 채혈용 catheter를 꽂은 후 실험하였다. 실험 중 catheter 내부에서 혈액의 응고가 발생할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 catheter 내부에는 항응고제인 heparin saline 용액을 수 방울 주입하여 주었다. 채혈 시에는 약 5 mL의 혈액을 먼저 채취해서 버림으로서 항응고제가 시험혈액에 혼입되지 않도록 하였다. 채취한 혈액은 항응고제인 EDTA가 들어있는 용기에 옮기고 실험 시까지 4 °C 냉장고에 보관하였다. 실험은 채혈 후 12 시간 안에 마칠 수 있도록 하였다.

최초 음주 후 40-50 분후에 최초로 혈액을 채취하고, 10 분 간격으로 7 회에 걸쳐 약 70 분 간 연속적으로 채혈한 다음 30 분 간격으로 최초 음주 후 310-320 분까지 채혈하였다.

2.4. 혈액 전처리 및 표준용액

자원자에게서 채취한 전혈 시료 200 μ L를 자동피펫(Hamilton Co. 1708-12)을 사용하여 22 mL vial에 취해 넣었다. 여기에 내부표준물 용액인 tert-butyl alcohol 수용액 200 μ L와 포화 NaCl 수용액 200 μ L를 넣고 알코올이 휘발성 용매인 점을 감안하여 즉시 고무마개로 막은 후 aluminium seal로 밀봉하고, headspace gas chromatography 방법으로 분석하였다.

에틸알코올 표준용액은 Sigma사에서 공급하는 ethyl alcohol 표준용액(Sigma Co. 332-11)과 liquid human serum base standard solution(Sigma Co. E5133, E5258)으로 제조하여 검량선을 작성하였다.

2.5. 분석 기기

기체크로마토그래프(gas chromatograph)는 Varian CP-3800을 사용하였다. Injector는 split injector를 사용하여 split ratio는 100:1로 조절하여 사용하였고, detector는 flame ionization detector(FID)를 사용하였다. 운반기체(carrier gas)는 helium을 사용하였고, 유속(flow rate)은 자동유속조절장치(electric flow controller, EFC)를 사용하여 1.2 mL/min으로 유지하였다.

분리관은 내벽이 polyethylene glycol로 도포된 HP-INNOWAX column, 15 m \times 0.25 mm \times 0.6 μ m film thickness 제품을 사용하였다.

시료는 일관성 있게 주입되도록 Tekmar 7000 autosampler를 사용하여 주입하였다. 시료는 22 mL vial에 담아 65 °C에서 5.0 분 동안 가열하고 8 psi 압력으로 0.25 mL sample loop을 통해 injector에 주입하였다. Sample loop 온도는 110 °C로 유지하여 주었다.

Injector 온도는 200 °C, detector 온도는 250 °C로 설정하였고, 분리관 온도는 70 °C로 고정하여 실험하였다.

검량선은 ethyl alcohol이 포함되지 않은 혈액에 ethyl alcohol을 spike하여 제조하였고 이 때의 확장불확도는 0.011% (신뢰수준 약 95%, $k=2$)로 계산되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 혈중알코올농도 변화의 재현성

아래의 Fig. 1에서 Fig. 5는 자원자 5인에게 5회에 걸쳐 술 및 안주를 섭취시켰을 때 각각의 혈중알코올농도의 변화를 보인 것이다. 그래프에서 ‘◆’는 1차, ‘■’는 2차, ‘▲’는 3차, ‘□’는 4차, ‘●’는 5차의 음주실험 결과를 나타낸 것이며, 탕수육을 섭취한 경우는 실선으로, 회를 섭취한 경우는 점선으로 나타났다.

Fig. 1은 자원자 A의 시간경과에 따른 혈중알코올농도의 변화곡선이다. 자원자 A에게는 1차, 3차 및 5차 실험에서 탕수육을, 2차 및 4차 실험에서 회를 안주로 섭취하도록 하였다. 회를 섭취한 경우 50 분 이내에 최고혈중알코올농도에 이른 후 탕수육을 섭취한 경우에 비해 급격하게 혈중알코올농도가 감소하는 현

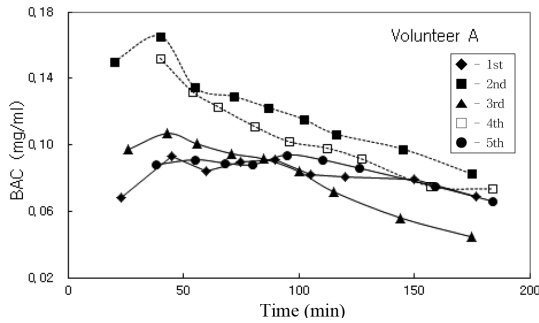


Fig. 1. Five repetitive BAC-time profile of volunteer A (solid line denotes sweet and sour pork ingested case and dotted line denotes sliced raw fish ingested case).

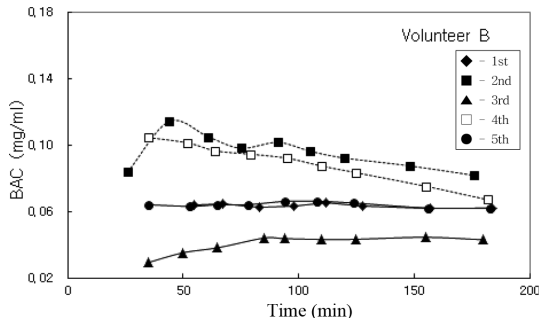


Fig. 2. Five repetitive BAC-time profile of volunteer B (solid line denotes sweet and sour pork ingested case and dotted line denotes sliced raw fish ingested case).

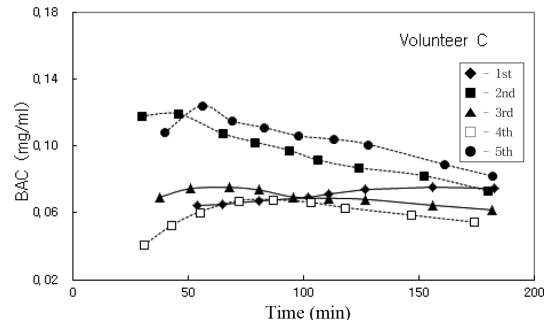


Fig. 3. Five repetitive BAC-time profile of volunteer C (solid line denotes sweet and sour pork ingested case and dotted line denotes sliced raw fish ingested case).

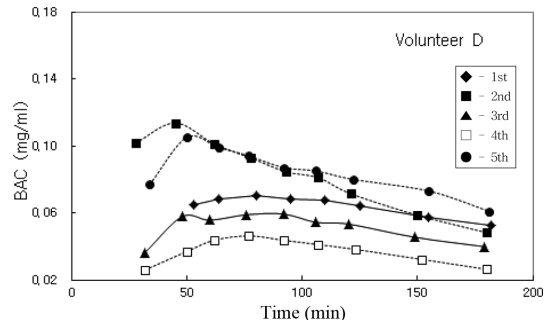


Fig. 4. Five repetitive BAC-time profile of volunteer D (solid line denotes sweet and sour pork ingested case and dotted line denotes sliced raw fish ingested case).

상을 관찰할 수 있었고, 최고 혈중알코올농도값도 탕수육을 섭취한 경우에 비해 회를 섭취한 경우에 훨씬 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 탕수육을 섭취한 경우에는 3차 실험에서는 혈중알코올농도가 50 분 이내에 최고점에 도달한 후 감소하는 경향을 보였으나 1차와 5차 실험에서는 혈중알코올농도가 최고값에 이르는 점이 명확히 나타나지 않는 현상을 보이고 있다.

자원자 B는 1차, 3차 및 5차 실험에서 탕수육을, 2차 및 4차 실험에서 회를 안주로 섭취하도록 하였다 (Fig. 2). 회를 안주로 섭취한 2차 및 4차 실험 결과에서는 50 분 이내에 혈중알코올농도가 최고값에 이른 후 서서히 감소하는 경향을 보였다. 그러나 탕수육을 안주로 섭취한 1차, 3차 및 5차 실험 결과를 보면 혈중알코올농도가 최고값에 이르는 시점이 명확히 나타나지 않고 실험이 종료되는 시점까지도 명확한 혈중알코올농도 감소 경향이 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다.

자원자 C는 1차 및 3차 실험에서 탕수육을, 2차, 4차 및 5차 실험에서 회를 안주로 섭취하도록 하였다

(Fig. 3). 탕수육을 안주로 섭취한 1차 및 3차 실험 결과를 보면 자원자 A 및 자원자 B의 경우와 마찬가지로 혈중알코올농도의 확연한 증가 및 감소 경향이 나타나지 않았고, 특히 1차 실험의 경우에는 채혈이 끝나는 시점까지도 혈중알코올농도가 확연히 감소하지 않는 현상을 볼 수 있었다. 회를 섭취한 3번의 실험 중 2차 및 5차 실험에서는 최초 음주 후 60 분 이내에 혈중알코올농도가 최고값에 이른 후 서서히 감소하는 현상을 관찰할 수 있다. 그러나 같은 회를 섭취하였음에도 불구하고 4차 실험에서는 최초 음주 후 혈중알코올농도가 서서히 증가하였고 혈중알코올농도의 최고값이 나타나는 시간도 불명확한 것을 볼 수 있었다.

자원자 D는 1차 및 3차 실험에서 탕수육을, 2차, 4차 및 5차 실험에서 회를 안주로 섭취하도록 하였다 (Fig. 4). 탕수육을 안주로 섭취한 1차 및 3차 실험 결과를 보면 최고 혈중알코올농도가 명확히 나타나지 않고 70-90 분 사이에서 일정 수준을 유지하다가 감소하는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 회를 섭

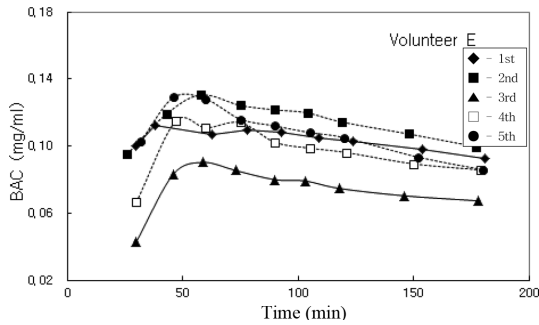


Fig. 5. Five repetitive BAC-time profile of volunteer E (solid line denotes sweet and sour pork ingested case and dotted line denotes sliced raw fish ingested case).

취한 3번의 실험 중 2차 및 5차 실험에서는 최초 음주 후 60 분 이내에 혈중알코올농도가 최고값에 이른 후 서서히 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다. 그러나 같은 회를 섭취하였음에도 불구하고 4차 실험에서는 최초 음주 후 혈중알코올농도가 서서히 증가하였으며 혈중알코올농도의 최고값이 나타나는 시간도 불명확한 것을 볼 수 있었다.

자원자 E는 1차 및 3차 실험에서 탕수육을, 2차, 4차 및 5차 실험에서 회를 안주로 섭취하도록 하였다 (Fig. 5). 탕수육을 안주로 섭취한 1차 실험 결과를 보면 최고 혈중알코올농도가 나타나는 시점이 명확하게 나타나지 않았으나 3차 실험에서는 60 분 이내에 최고 혈중알코올농도가 나타난 후 서서히 감소하는 경향을 보였다. 회를 안주로 섭취한 2차, 4차 및 5차 실험에서는 60 분 이내에 최고 혈중알코올농도를 나타낸 후 서서히 감소하는 경향을 보였다.

5인에 대한 재현성 실험결과를 보면 동일인에게 동일한 안주와 동일한 양의 술을 마시게 하였음에도 불구하고 최고 혈중알코올농도값 및 최고 혈중알코올농도에 도달하는 시간, 혈중알코올농도가 감소하는 구간에서의 기울기가 동일하게 나타나지 않은 것을 볼 수 있었다.

항상 그런 것은 아니지만 안주로 섭취한 음식물에 의해서도 혈중알코올농도가 영향을 받는 것을 볼 수 있었다. 비교적 기름기가 많은 탕수육을 섭취한 경우에는 비교적 기름기가 적은 회를 섭취한 경우에 비해 대체로 혈중알코올농도가 완만하게 증가했다가 완만히 감소하는 경향을 보였고, 최고 혈중알코올농도에 도달하는 시간도 늦어졌으며 최고 혈중알코올농도 값도 감소하는 현상을 볼 수 있다. 반면 안주로 회를 섭

Table 2. Elimination rate of blood alcohol concentration of five volunteers

Volunteer	Ingested side dish	Reduction rate (g/dl/h)	Average reduction rate (g/dl/h)	Standard deviation
A	SP	0.014	0.022	± 0.006
	SF	0.026		
	SP	0.022		
	SF	0.030		
	SP	0.020		
B	SP	0.005	0.010	± 0.005
	SF	0.013		
	SP	0.007		
	SF	0.017		
	SP	0.005		
C	SP	0.005	0.012	± 0.006
	SF	0.018		
	SP	0.007		
	SF	0.013		
	SF	0.017		
D	SP	0.012	0.014	± 0.005
	SF	0.022		
	SP	0.011		
	SF	0.011		
	SF	0.016		
E	SP	0.011	0.013	± 0.003
	SF	0.015		
	SP	0.010		
	SF	0.012		
	SF	0.016		

취한 경우에는 혈중알코올농도가 비교적 급격히 증가했다가 급격히 감소하는 경향을 볼 수 있다.

Table 2는 Fig. 1에서 Fig. 5에 보인 기울기 값으로부터 계산한 시간경과에 따른 혈중 알코올농도의 감소율, 평균 감소율 및 표준편차를 나타낸 것이다. 그림을 통해 예측되었듯이 시간경과에 따른 혈중 알코올농도 감소율은 사람에 따라 혹은 동일인이라도 큰 차이가 없다는 것을 알 수 있었고, 표준편차도 크게 나타나서 평균 감소율은 산술적인 값에 불과할 뿐으로 어떤 사법적 판단을 내리기 위한 증거자료를 계산하는데 사용하는 변수로는 부적절한 것을 알 수 있었다.

이상의 실험 결과는 동일인에게 동일한 시간대에 동일한 양의 술을 동일한 시간 간격으로 5회에 걸쳐 섭취시켜 얻은 결과이므로 음주 시 혈중알코올농도에

영향을 미칠 수 있는 여러 인자^{13,15} 중 섭취량, 신체적 상태, 효소 활성도, 체중, 신장, 섭취 시간은 거의 일정하게 유지되었고 섭취한 음식만 변했다고 가정할 수 있다. 그러나 동일인에게 당수육 혹은 회를 섭취한 경우끼리만 비교해 보아도 최고 혈중알코올농도 및 최고 농도 도달 시간, 시간당 감소율이 일정하게 나타나지 않는 것을 볼 수 있었고, 안주가 바뀌면 이러한 변화는 더 심하게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 또한 동일한 당수육 혹은 회를 섭취한 경우에도 시간경과에 따른 혈중알코올농도의 변화 형태는 일정하게 나타나지 않는 것을 볼 수 있었다.

이런 결과로 보아 시간 변화에 따른 사람의 혈중알코올농도 변화는 음주량, 체중, 음주시간, 섭취한 음식의 종류를 안다 하더라도 예측할 수 없고, 따라서 적발(사고) 시점과 체혈시간이 차이가 날 경우 혈중알코올농도의 시간당 감소율을 일률적으로 적용해서는 안 된다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

동일인에게 5회에 걸쳐 음주량을 일정하게 조절된 상태에서 안주만 바꾸어가며 반복적으로 음주를 시킨 후 시간 변화에 따른 혈중알코올농도의 변화를 관찰하였다. 살아있는 사람에게 음주를 시킨 후 혈액을 채취하여야 하는 실험상의 어려움 때문에 음주 실험은 5회에 한정되었고 그 결과 통계처리를 할 수 있을 정도의 충분한 실험결과를 얻을 수는 없었다. 그러나 같은 사람에게 같은 시간 간격으로 같은 양의 술을 섭취하게 하면 시간 경과에 따른 혈중알코올농도의 변화 곡선은 재현성이 없이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과로 볼 때 피의자나 주변인들의 진술에 의거하여 음주량 및 음주시간을 판단하고, 특정 시간대의 주취정도를 산술적으로 판단하는 것은 자칫 피의자에게 형사상 불이익을 초래하거나 반대로 음주량에 비해 상대적으로 낮은 처벌을 가할 우려가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. A. W. Jones and J. Schuberth, *J. Forensic Sci.*, **33**, 1116-1127 (1989).
2. N. H. G. Holford, *Clin. Pharmacokinet*, **13**, 278-292 (1987).
3. M. D. Holzbecher and A. E. Wells, *Can. Soc., Forensic Sci. J.*, **17**, 182-196 (1984).
4. K. M. Dubowski, *J. Stud. Alc., Suppl.*, **10**, 98-108 (1985).
5. P. N. Friel, B. K. Logan and J. Baer, *J. Forensic Sci.*, **40**, 91-94 (1995).
6. A. R. E. Forrest, *J. Forensic Sci. Soc.*, **26**, 249-252 (1985).
7. J. C. Garriott, 'Medicolegal aspects of alcohol determination in biological specimens', PSG Publishing Company, Littleton, Massachusetts, 1988.
8. A. W. Jones and L. Andersson, *J. Forensic Sci.*, **41**, 922-926 (1996).
9. R. L. Watkins and E. V. Adler, *J. Forensic Sci.*, **38**, 295-291 (1993).
10. P. E. Watson, I. D. Watson and R. D. Batt, *J. Stud. Alcohol*, **42**, 547-556 (1981).
11. A. R. Stowell and L. I. Stowell, *J. Forensic Sci.*, **43**, 14-21 (1998).
12. A. W. Jones, *J. Forensic Sci.*, **38**, 104-118 (1993).
13. W. Neuteboom and A. W. Jones, *Forensic Sci. Int.*, **45**, 107-115 (1990).
14. A. W. Jones, *J. Anal. Toxicol.*, **14**, 198-200 (1990).
15. 박성우 등, 국립과학수사연구소연보, **24**, 265-273 (1992).
16. Widmark's equation versus pharmacokinetic modeling in back calculation of alcohol concentration, http://www.forensicscience.pl/pfs/50_gubala.pdf, 2002, Assessed 8 Dec 2012.
17. Alcohol Toxicology for Prosecutors, http://www.ndaa.org/pdf/toxicology_final.pdf, Assessed 16 Apr 2003.
18. 대법원 2001.8.24. 선고 2000도6026 판결 [재물손괴·도로교통법위반·도로교통법위반(음주측정거부)].