

혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도 상관성: 한국인 남성

이승환* · 남범우** · 서정석***

Relationship between Blood Alcohol Concentrations and Breath Alcohol Concentrations of Healthy Korean Males

SeungHwan Yi*, BeomWoo Nam**, JeongSeok Seo***

Key Words: BrAC(호흡기 알코올 농도), BAC(혈중 알코올 농도), Partition ratio(혈액-호흡 분할비), Bland-Altman plots(브랜드-알트만 그래프), Q-factor(Q-인자)

ABSTRACT

The relationship between BAC(Blood Alcohol Concentrations) and BrACs(Breath Alcohol Concentrations) and also partition ratio of healthy Korean adult males (96 males) are researched in this paper and its dependency is described according to TBW (total body water), BMI (body mass index), BFM (body fat mass), and PBF (percentage of body fat). Among the above four variables, TBW affects significantly to the partition ratio compared to the other variables. The partition ratio of Korean healthy males showed 1,913 (95 % Confidence Interval (C.I.) from 1,889 to 1,937) for the whole time intervals. However, when Q was averaged after 60 minutes later, its values was 2,011 (95 % C.I. from 1,982 to 2,040). Bland-Altman plots showed the compatibility of measurement methods of multi-gas analyzer, and the biases according to the partition ratios (Q=2,100 and Q=1,913) gave -0.0052 % (95 % CI from -0.0059 to -0.0045%) and -0.0004 % (95 % CI from -0.0011 to +0.0003%), respectively.

1. 서론

현대생활에서 출·퇴근, 운송수단 및 물류이동을 위한 자동차의 중요성이 증대되고 있는 상태이고, 전세계적으로 자동차 사고 및 이로 인한 사망사고의 경감을 위해 도로교통 안전은 각국에서 핵심사항으로 자리잡고 있다. 일례로 스웨덴에서는 음주운전에 따른 자동차 사고 사망자를 줄이기 위해 Vision Zero를 목표로 국가적인 도로교통 안전정책을 시행하고 있다⁽¹⁾. 도로교통 사고 중에서 음주운전과 관련된 충돌사고와 사망사고가 전세계적으로 중요한 사안으로 자리잡고 있기에, 음주

운전으로 인한 사고를 감소시키기 위해 대부분의 나라에서는 알코올 측정장치를 사용한 음주 운전자의 조기 적발 및 조치방안을 강구하고 있다. 현재 음주운전 방지를 위한 알코올 측정장치는 고체전해질 방식을 사용하고 있으나⁽²⁾, 빈번한 교정 필요성으로 인해 지능형 자동차에 적합한 알코올 측정방식을 위한 연구와 개발이 미국 고속도로 교통안전국(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)을 중심으로 컨소시엄을 형성하여 진행되었다⁽³⁾.

현재 음주운전에 관한 법적 혈중 알코올 농도의 상한치는 미국의 경우 0.08 %, 대부분의 유럽연합내의 국가에서 0.05 %로 규정하고 있다. 1950년대부터 스웨덴에서 법적 상한치로 0.05 %를 채택하였으나, 도로교통 안전성을 향상시키기 위해 최근 0.02 %로 낮추었고,

* 한국교통대학교 기계공학과

** 건국대학교 충주병원

E-mail : isaac_yi@ut.ac.kr

James와 Robert에 의하면 혈중 알코올 농도의 법적 상한치를 낮춤으로써 치명적 사고와 중상자가 감소되었고, 이로써 보다 안전한 도로교통 여건이 확보되었음을 보고하였다⁽⁴⁾. 한편 국내에서는 1961년 도로교통법을 제정하여 음주운전으로 인한 사고방지를 위한 노력을 하였으며, 법적 상한치를 0.05 %로 규정하였으나, 이를 낮추고자 입법화 노력을 지속적으로 진행하고 있다.

한편 인체에 흡수된 알코올은 신체 내에서 흡수·분해되거나, 심폐부로부터 배출되는 호흡기 공기를 통하여 제거되는 것으로 알려져 있고, 이런 원리를 이용하여 혈중 알코올 농도는 수십 년 동안 호흡기 알코올 농도를 측정함으로써 분석되어왔다^(5,6). 또한 혈중 알코올 농도는 수십 년간의 연구를 통해 호흡기 알코올 농도에 Q-인자 혹은 혈액-호흡 분할비(Blood Alcohol Concentrations / Breath Alcohol Concentrations)를 곱함으로써 산출되었으며, 현재 NHTSA는 Q-인자로 2,100을 사용하고 있고⁽⁷⁾, 국내에서도 이 인자를 그대로 사용하고 있다. 그러나 Jones와 Andersson은 $Q=2,448^{(8,9)}$, Pavlic et al.은 시간 의존적인 Q-인자는 2,225에서 2,650을 갖고 있음을 보고하고 있으며⁽¹⁰⁾, Lindberg et al.은 스웨덴 사람들의 경우, 혈액-호흡 분할비가 2,251임을 보고 하였다⁽¹¹⁾.

상기 제시된 바와 같이 음주측정에서 혈액-호흡 분할비가 호흡기 날숨을 통한 혈중 알코올 농도분석의 간접적 분석에 중요한 영향을 미치고, 각국에 따라 상이한 Q-인자를 나타내고 있으므로, 본 연구에서는 임상 실험에 참여한 한국인 남성의 혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도의 상관성 분석을 통하여 한국인 남성의 Q-인자를 살피고, 각종 신체지수들과 Q-인자간의 상관성 해석을 통하여 음주운전 방지장치 알고리즘 설정을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 임상실험 및 과정

2.1. 대상자 선정

지원자들은 인터넷과 게시판의 공고를 통하여 모집하였고, 정신건강의학과에서 기본적인 검진과 신체검사를 통해 최종 선발되었는데, 기본 검진으로 키, 몸무게, CBC(Complete Blood Count), LFT(Liver Function Test), AUDIT-K (Alcohol Use Disorder Identification Test-Korea), CAGE(Cut-down, Annoyed, Guilty, Eye-opener) 등을 실시하였다. 검진 후, 최종 101명의 대상

자를 선정하였고, 임상에 참여한 남성은 20대에서 50대까지 체중 55에서 78kg, 평소 소주 2병이내를 마시는 성인이었다. 이 연구는 건국대학교 병원의 윤리위원회 심의를 통과 후 수행되었다.

2.2. 임상실험 과정

Inbody 720 (Biospace, Cheonan, Korea)을 통하여 체수분총량 (total body water, TBW), 체지방량 (body fat mass, BFM), 체지방백분율(percentage body fat, PBF)과 신체질량지수(BMI)가 측정되었고, 호흡기 알코올 농도의 측정 소요시간을 고려하여 대상자는 10 개의 소집단으로 나누어 임상실험을 진행하였다. 소집단내의 지원자중 임의로 두 분류로 나누어 0.35 mg/ml/kg 혹은 0.7 mg/ml/kg의 소주 (담금주, 30 % (v/v))를 15분 동안 마시도록 요청하였다. 알코올 섭취 후, 처음 호흡기 알코올 농도 분석시의 오류를 최소화하기 위해 음용수로 구강내의 잔류 알코올을 세척하도록 하였으며, 이때 물은 마시지 않도록 하였다. 혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도의 상관성 해석을 위해 혈액과 호흡기 날숨을 정해진 시간에 채취하였는데, 이는 미리 선정된 시간 간격(15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240분)에 따랐다. 또한 연속적인 자료의 분석 시 모호함을 피하기 위해 음식물과 알코올 음료의 섭취는 금하였고, 과격한 신체 행동 또한 임상실험이 진행되는 동안 제한하였다.

한편 BACs의 측정을 위해 상완 오금정맥(antecubital fossa)에서 숙련된 간호사 4 명을 통하여 2ml의 혈액을 채취하고, 항응고제(Ethylene-diamine tetra-acetic acid tube)가 도포된 용기(Vacutainer tube, BD Franklin, Lake NJ, USA)에 담아 수거하였다. 수거된 혈액들은 공인기관인 Neodin 의학 연구소에 의뢰하여 BACs를 분석하였다. 공인기관까지 운반시 모든 용기는 4°C에서 6°C로 유지시켰으며, 혈중 알코올 농도는 효소 분석법(COBAS Integra, Roche USA)에 의하여 측정되었으며, 측정 한계치 이하의 값들은 분석 시 제외시켜 혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도의 상관성 해석을 진행하였다.

2.3. BrACs 측정 및 Q-인자 계산

각 지원자의 호흡기 날숨은 혈액채취와 동시에 3 liter의 냄새주머니(Non-odor bag, TK005-N-003, BMS Corp., Japan)에 포집되었고, 다중가스 분석기(INNOVA

-1312, Lumasense Technologies, Denmark)를 통하여 분석되었다. 이때 사용된 다중가스 분석기는 ppb에서 ppm의 정확성을 갖고 있으며, 임상실험 전 보정을 통하여 분석 정확도를 높였다. 다중 가스 분석기로 혈액 채취와 동일시간대에 포집된 지원자들의 호흡기 알코올 농도를 세 번 측정된 후, 평균 BACs는 BrACs에 Q-인자로 2,100을 곱하여 1차적으로 환산하였다. 또한 혈액과 호흡기 날숨의 채집과 동시에 휴대용 알코올 측정장치(AL9000, Sentech Corp., Korea)를 통하여 BrACs를 측정하였으며, 측정의 신뢰도를 향상하기 위해 장치는 임상실험 진행 전에 제조사에서 교정하였다.

한편 개인의 시간대별 Q-인자 (혹은 혈액-호흡 분할비)는 혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도 비로 계산되었고, 호흡기 알코올 농도는 다중가스 분석기를 통해 측정·계산되었다. 그러나 현재 경찰청에서 사용하고 있는 음주운전 측정기의 혈액-호흡 분할비는 2,100을 사용하고 있으므로, 측정된 알코올 농도에 2,100을 곱하여 호흡기 알코올 농도를 계산하였다. 자료의 정리 시 사용된 평균, 표준편차 및 95% 신뢰구간은 MS 엑셀과 Sigma Plot 12.5를 사용하여 도출하였다.

3. 결과 및 고찰

알코올 섭취 후, 시간에 따른 BAC의 변화양상을 살펴해보았을 때, 한국인 남성은 Fig. 1에 제시된 세가지 전형적인 패턴(a)좌천이형, b) 표준형, c) 우천이형)을 나타내고 있음을 알 수 있었고, 두 가지 이상의 패턴이 혼재된 다섯 명의 자료는 분석에서 제외되었다. 표준형과 비교하였을 때, 좌천이형은 혈중 알코올 농도의 최고치를 나타내지 않았으나, 우천이형의 경우 90분 이후에 혈중 알코올 농도 최고치를 나타냈고, Fig. 1에 제시된 것과 같이 실험대상 남성의 알코올 흡수 및 소화 패턴은 세 가지 독특한 형태로 나타남을 알 수 있었다. 또한 Fig. 1 에서 휴대용 음주측정 장치는 실제 혈중 알코올 농도보다 약 0.01% 이상의 낮게 측정함을 알 수 있다.

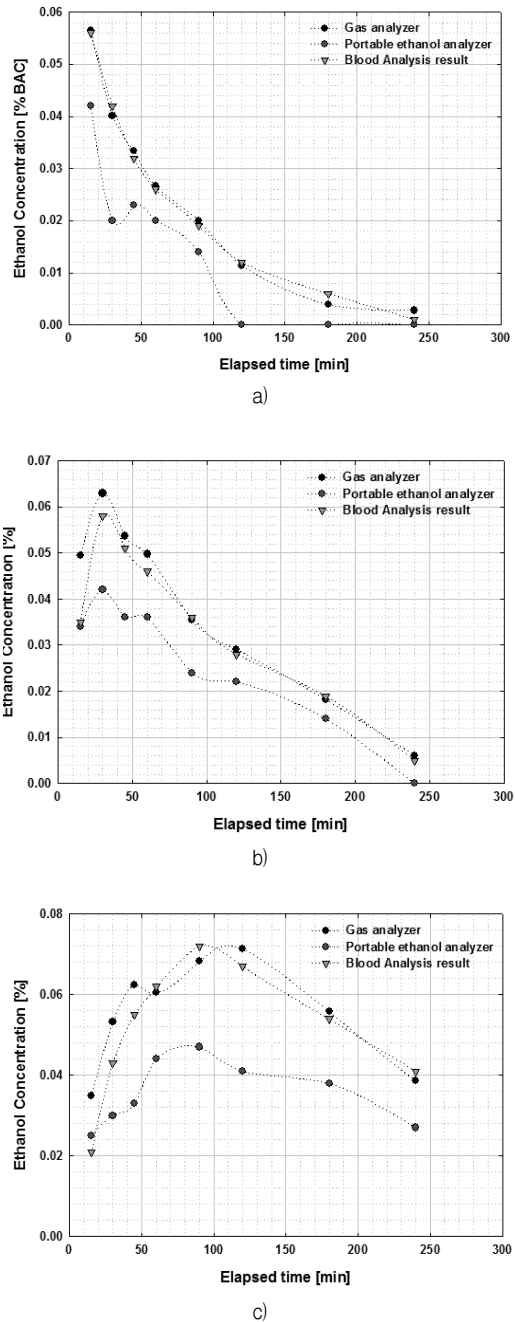


Fig. 1 Three typical patterns of BACs: a) left-shited (n=29), b) standard (n=52), c) right-shfited (n=15).

다중 가스분석기와 휴대용 음주 측정기로 측정·계산된 BACs와 BrACs의 상관성을 Fig. 2에 제시하였다.

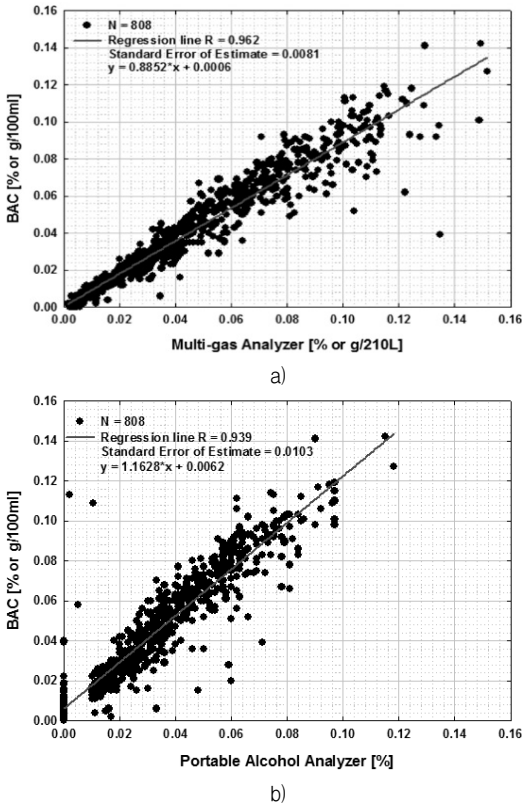


Fig. 2 Relationship between BAC and BrAC with two different BrAC measurements.

혈액-호흡 분할비를 2,100으로 가정하여 계산된 BrACs와 BACs의 관계를 제시하면 Fig. 2와 같다. 다중 가스 분석기로 측정하여 환산된 BrACs는 실제 혈중 알코올 농도 (BAC) 보다 과장된 값을 제시하고 있음을 Fig. 2a)에서 살펴볼 수 있다. 그러나 휴대용 측정기로 측정한 혈중 알코올 농도는 Fig. 2b)와 같이 혈액 내의 알코올 농도 값보다 낮게 측정되었음을 알 수 있다. 또한 다중 가스 분석기로 측정·환산한 BACs는 약 10 %의 오셋(+0.0006%)를 갖고 있었으나, 휴대용 음주 측정기는 보다 큰 오셋 값을 갖고 있음을 볼 수 있다. 즉, 휴대용 음주 측정기는 실제 혈액 내에 알코올이 존재하지만, 이를 감응 측정하지 못하는 영역이 있음을 Fig. 2b)보여준다.

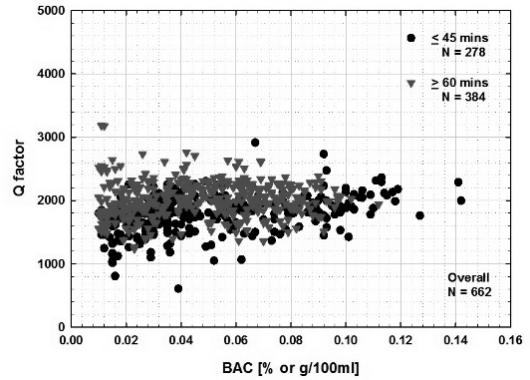


Fig. 3 Partition ratio as a function of BACs.

Q-인자를 2,100으로 가정하여 실제 혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도의 변환을 통해 비교하였을 때, 두 측정기는 상반된 결과를 제시하여 시간의 경과에 따른 Q-인자를 계산하였고, 그 결과를 제시하면 Fig. 3과 같다. 이때 계산결과의 신뢰성을 확보하기 위해서 0.01 %보다 작은 BACs 값들은 제외하였다. 또한 알코올의 섭취 후, 혈중 알코올 농도가 최고치에 이르는 평균시간 T_{max} 는 본 연구에서 약 55 분을 나타내었다⁽¹²⁾. 따라서 Fig. 3은 T_{max} 를 기준으로 계산되어 제시된 것으로, 알코올 섭취 후 60 분 이내의 시간대에서 Q-인자의 평균은 1,779를 나타내었다. 그러나 60 분 이후, 평균 Q-인자는 2,011을 나타내었으며, 전체 시간대에서의 평균 Q-인자는 1,913을 나타내었다.

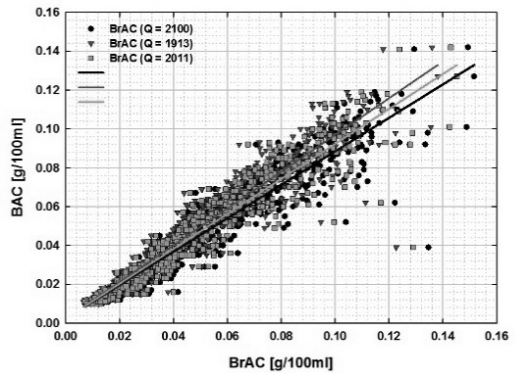


Fig. 4 BACs vs. BrACs according to the partition ratio.

혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도 상관성: 한국인 남성

알코올 섭취 후 60 분이 경과되었을 때의 Q-인자는 외삽법에 의해 최초의 혈중알코올 농도를 산출하기 위해서 필요할 것이고⁽¹³⁾, 알코올 섭취 후 시간적인 제약이 없는 전체 시간대의 평균 혈액-호흡 분할비는 BAIDs(Breath Alcohol Ignition Interlock Devices) 제조사에게 필수적인 사항일 것인데, 이는 차량 주행 중 주기적인 음주운전 여부를 판단하는데 기본적인 인자로 취급될 수 있기 때문이다^(14,15). 따라서 Q-인자를 매개변수로 하여 BACs와 BrACs와의 상관성을 살펴보면 Fig. 4에 제시된 것과 같다. Q-인자를 2,100으로 가정하여 호흡기 알코올 농도를 계산하면, 실제 혈중 알코올 농도가 과장됨을 알 수 있다. 이때 회귀선 (regression line)은 $R=0.944$, $y=0.8615x+0.0023$ 을 나타내었고, 이는 실제 음주 운전자의 혈중알코올 농도를 과장되게 산출하는 결과를 초래할 수 있을 것으로 사료된다. 반면 $Q=1,913$ 로 하여 호흡기 알코올 농도와 혈중 알코올 농도의 상관성을 살펴보면 회귀선이 $R=0.944$, $y=0.9457x+0.0023$ 을 나타내었고, $Q=2,100$ 을 사용할 때 보다 작은 오차를 나타냄을 볼 수 있다. 이런 결과는 현재 사용되고 있는 Q-인자(2,100)가 한국인 남성에게 적합하지 않고, 본 연구에서 도출한 Q-인자가 보다 현실적인 대안이 될 수 있다는 것을 보여주는 사례라 사료된다.

다중 가스 분석기를 통해 측정·산출된 BrAC적합성과 혈액 채취를 대신할 호흡기 알코올 농도 분석의 타당성을 확보하기 위한 Bland-Altman 도표를 제시하면 Fig. 5와 같다. Fig. 5a)는 $Q=2,100$ 일때를 가정하여 구한 BrACs와 BACs에 기초한 분석 그래프로서, 혈중 알코올 농도와 호흡기 알코올 농도의 차(Bias)가 -0.0052% , 95% 신뢰구간이 -0.0059 에서 -0.0045 임을 나타냄으로써 Fig. 2a) 및 Fig. 4에서 제시된 결과를 보충 설명하고 있다. 즉, $Q=2,100$ 을 사용하면 호흡기를 통해 측정된 알코올 농도는 혈중 알코올 농도보다 더 높게 측정하고 있음을 구체적으로 보여주고 있는 것이고, 그 차이는 측정기기의 오차에 약 0.0052% 를 더해 나타낼 수 있음을 보여주는 결과이다. 즉 음주 측정기의 통상적인 오차 $\pm 0.005\%$ 에 합쳐져 최대 -0.01% 의 오차가 발생할 수 있음을 알려주는 결과이다. Fig. 5b)는 $Q=1,913$ 을 사용한 경우로서, Bias는 -0.0004% , 95% 신뢰구간은 -0.0011 에서 $+0.0003\%$ 을 나타내었다. 이는 호흡기를 통하여 측정된 BrACs는 실제 혈액을 채취하여 측정된 BACs와 거의 유사한 값을 나타내고 있음을 보여주는 결과이다. 따라서 전체 시간 구간을 통해 도출한 평균 Q-인자 1,913은 한국인 남성의 혈중 알코올

농도분석에 보다 합리적인 판단 근거를 갖고 유의하게 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

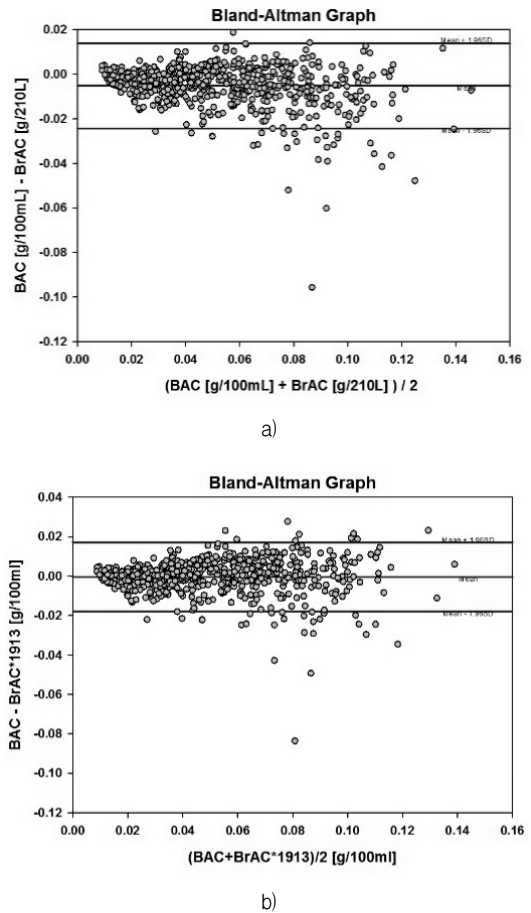


Fig. 5 BAC vs. BrAC according to the partition ratio.

한편 Table 1은 신체지수에 Q-인자를 제시한 것이다. 임상실험에 참가한 남성의 평균 TBW는 42.4 L였으며, 이를 기준으로 평균치 이상과 미만을 갖는 대상자들로 구분하여 Q-인자를 산출한 결과 TBW가 평균 이상인 경우, $Q=1,903$, 평균 미만의 값을 갖고 있는 지원자들의 평균 $Q=1,999$ 를 나타내었다. 또한 실험대상의 평균 BMI는 25를 나타내었고, BMI가 평균 이상을 나타내는 군의 $Q=1,935$, 미만인 경우 $Q=1,951$ 을 나타내었다. BFM과 PBF의 평균값을 기준으로 Q-인자의 변화는 거의 없음을 Table 1을 통해 확인할 수 있다.

Table 1. Partition ratio according to body index (excluded BACs less than 30 mins).

Categories		Average values	95% C.I.		S.D.
			L.L.	U.L.	
BMI	A.A.	1,935	1,887	1,983	315
	B.A.	1,951	1,924	1,979	284
TBW	A.A.	1,903	1,870	1,938	308
	B.A.	1,999	1,966	2,033	267
BFM	A.A.	1,950	1,916	1,983	285
	B.A.	1,941	1,905	1,976	304
PFB	A.A.	1,957	1,924	1,990	284
	B.A.	1,934	1,898	1,979	305

* A.A.: Above Average, B.A.: Below Average
 * L.L.: Lower Limit, U.L.: Upper Limit
 * S.D.: Standard Deviation

4. 결론

본 연구에서는 현재 휴대용 음주측정기에 사용되고 있는 Q-인자의 적합성을 판단하고, 96명의 한국인 성인남성을 대상으로 한 임상실험을 통해 혈액-호흡 분할비를 도출하였다.

현용 Q-인자 2,100은 휴대용 음주측정기에서 실제 혈중 알코올 농도를 15 % 이상 낮게 측정하고, 다중 가스 분석기는 약 10 % 높게 측정하는 결과를 나타내었다. 한편 임상 실험을 통해 도출한 전체 시간대의 평균 Q-인자 1,913은 BrACs를 실제 혈중 알코올 농도와 가장 근사적으로 대응하는 결과를 나타내었다. 따라서 현재 사용되고 있는 Q-인자는 수정·보완됨이 타당하리라 사료되고, 심층연구를 통해 음주 운전 방지장치의 연구개발에 적용되어야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 국토교통부와 자동차 안전연구원(KATRI)의 지원에 의해 수행된 과제(과제번호: 13TLRP-C067560-05-000000)이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

(1) Swedish Transport Administration, 2012, "Analysis of road safety trends 2012: management by objective for road safety work, towards

the 2020 interim targets", December 2013.
 (2) A.K. Zaouk, M.Wills, E. Traube, R. Strassbuenger, 2015, "Driver Alcohol Detection System for Safety(DADSS)-A status update", 24th ESV, Sweden Gothenburg, June 11, 2015.
 (3) Edna, S., David, S., 2011, "An analysis of alcohol breath tests results with portable and desktop breath testers as surrogates of blood alcohol levels.", Accident Analysis and Prevention, 43, pp. 2188-2194.
 (4) James, C.F., Robert, B.V., 2006, "The effectiveness of reducing illegal blood alcohol concentration (BAC) limits for driving: Evidence for lowering the limit to 0.05 BAC", J. Safety Research, 37, pp. 233-243.
 (5) Marion, P., Petra, G., Kathrin, L., and Walter, R., 2007, "Elimination rates of breath alcohol." Forensic Science International, 171, pp. 16-21.
 (6) Hlastala, M.P., 1998, "The alcohol breath test-a review.", American Physiological Society, pp. 401-408.
 (7) Federal Register, 1993, "Highway safety programs; Model specifications for devices to measure breath alcohol.", Federal Register/Vol.58, No. 179, pp. 48705-48710/Friday, September 17, 1993
 (8) Jones, A.W., Andersson, L., 1996, "Variability of the blood/breath alcohol ratio in drinking drivers." J. Forensic Science, 41, pp. 916-921.
 (9) Jones, A.W., Andersson, L., 2003, "Comparison of ethanol concentrations in venous blood and end-expired breath during a controlled drinking study.", Forensic Science International, 132, pp. 18-25.
 (10) Pavlic, M., Grubwieser, P., Brandstatter, A., Libiseller, K., Rabl, W., 2006, "A study concerning the blood/breath alcohol conversion factor Q: concentration dependency and its applicability in daily routine." Forensic Science International, 158, pp. 149-156.
 (11) Lindberg, L., Brauer, S., Wollmer, P., Goldberg, L., Jones, A.W., Olsson, S.G., 2007, "Breath alcohol concentration determined with a new analyzer using free exhalation predicts almost pre-

- cisely the arterial blood alcohol concentration.”, Forensic Science International, 168, pp. 200-207.
- (12) Nam, B.W., Yi, S.H., Seo, J.S., Lee, B.R. 2014, “Alcohol pharmacokinetics in Korean healthy male”, J. European College of Neuropsychopharmacology, 24, supplement 2, S661.
- (13) Altman, D.G., Bland, J.M. 1983, “Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies”, Statistician, 32, pp. 307-317.
- (14) Federal Register, 1992, “Model specifications for breath alcohol ignition interlock devices (BAIIDs)”, Vol.57, No.67, Tuesday, April 7.
- (15) National Research Council Canada, 2011, “Technical standard for vehicular breath alcohol interlock devices in Canada”, Project 54-A3948, August 9.