

알코올이 선박운항능력에 미치는 영향에 관한 기초연구(I)

김홍태^{†*}, 양찬수*, 양영훈*, 이봉왕*, 이창민*, 이재환^{**}

해양(연) 해양시스템안전연구소*
충남대학교 선박해양공학과^{**}

Effects of Alcohol Exposure on Ship Operational Ability

Hongtae Kim^{†*}, Chan-Soo Yang*, Young-Hoon Yang*, Bong-Wang Lee*,
Chang-Min Lee* and Jae-Hwan Lee^{**}

Maritime & Ocean Engineering Research Institute/KORDI*
Naval Architecture & Ocean Engineering/Chungnam National University^{**}

Abstract

It has been estimated that up to 80% of all marine accidents have human elements as a cause. Out of these, human elements of crew fatigue is one of the main causes of marine accident. Crew fatigue involves sleep, schedule, workload, off-time, alcohol, health and stress. With a ship handling simulator, the effect of alcohol on ship operational performance is studied for each 0.05 and 0.08 % blood alcohol concentrations(BAC). The main effect of alcohol was found that ship operational performance was significantly impaired by alcohol compared to that in the non-alcohol condition. The results of this research can be used as basic data to minimize marine accidents.

※Keywords: Ship operational ability(선박운항능력), Human element(인적 요인), Human error(인간 과실), Fatigue(피로), Alcohol(알코올), BAC(혈중알코올 농도)

1. 서론

우리나라 해양사고의 80% 내외가 직접 또는 간접적으로 인적요인에 기인한 것은 이미 알려진 바이다. 이러한 현상은 국내에 국한된 문제가 아

니라, 전 세계적으로도 비슷한 경향을 보이고 있다. 이에 따라 1990년대 초반에 들어서 이러한 인적요인에 기인하는 사고의 원인을 줄이기 위하여 국제적인 차원에서 국제해사기구(International Maritime Organization ; IMO)와 해운관련 단체 및 세계 각국의 연구기관 등에서 이 분야에 대한 관심과 연구, 조사가 이루어지고 있다. 최근 국내에서도 인적요인으로 인한 사고를 줄이기 위해 다양한 관심이 모아지고 있다(김홍태 등 2004, 양찬

접수일: 2005년 1월 2일, 승인일: 2005년 6월 11일

† 주저자, E-mail: kht@moeri.re.kr

Tel:042-868-7236

수와 김홍태 2004).

선박운항에 있어서 운항 과실, 항해 장비의 취급 불량, 피로 등의 요인이 인적 요인의 범주에 속하는 것으로 파악되고 있다. 이 가운데 피로요인은 장시간 소요되는 선박의 운항과정에서 발생할 수 있는 사고발생의 주된 요인이다. 이러한 피로의 유발요인은 수면시간, 운항일정, 업무량, 휴식시간, 알코올 섭취, 건강상태(질병), 근로 및 승선여건 및 각종 스트레스 등이 포함된다.

상선의 경우 사고가 발생하면 막대한 인명 및 재산 손실로 이어지며, 환경오염 등을 발생시킨다. 따라서 사고에 영향을 줄 수 있는 인적 요인 중 하나인 알코올 섭취가 선박 운항자의 운항 능력에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구가 이루어져야 한다.

본 논문에서는 이러한 피로유발 요인들 중에서 알코올이 선박운항능력에 미치는 영향을 알아보기 위해, 선박운항 시뮬레이터를 이용한 실험을 수행하였다.

2. 알코올과 인간수행능력

항공기 조종, 자동차 운전, 선박 운항 등과 같은 복잡한 작업의 수행을 위해서는 높은 수준의 인지 기능(cognitive function)과 정신 운동학적 능력(psychomotor skill)을 요구하는데(Finnigan and Hammersley 1992), 알코올은 섭취했을 때뿐만 아니라 술에서 깨어난 후에도 이러한 작업 수행도를 낮추는 경향이 있다(이원영 2002, Aksnes 1954). 특히 비행기 조종사들의 알코올의 섭취는 치명적인 사고로 이어질 수 있다(Newman 2000). 여기서, 인지 기능은 인지구조의 구성요소로 인지구조 변용을 좌우하는 중요한 역할을 한다.

인간 수행도에 있어서, 알코올은 인지 기능과 정신 운동학적 능력에 영향을 미쳐, 대부분의 위험을 감수할 수 있다고 판단하는 상태에 이르게 되어 자신의 행동의 결과에 대해서 충분한 예측을 하지 못하게 된다(Modell and Moints 1990). 또한 술 마신 다음날에도 알코올의 영향이 남아 있으므로 경계 소홀, 집중력 감소, 걱정 증가의 현상이 나타나며(Levine and Karras 1977), 항공기 조종,

자동차 운전과 같은 업무를 위해 요구되는 정보 처리, 기억, 언어 표현력, 반응시간, 주의, 경계, 업무의 추리와 인식 등과 같은 인지적 기능 대부분에 영향을 미친다. 심각한 영향을 미치는 것으로는 정보 처리와 기억, 특히 작업기억 또는 단기 기억에 영향을 미치며, 입력, 회상, 정보 구조, 반응시간의 증가를 이끌어 많은 과실을 유발시킨다. 알코올은 주의력을 감소시키며, BAC(Blood Alcohol Concentrations) 0.015%일 때 두 개의 정보 채널을 동시에 모니터링 하는 것과 같은 주의력 분산을 요구하는 작업에서 수행도 감소의 원인이 된다. 그리고 낮은 알코올 농도는 어떠한 대상을 추적(tracking)하는 작업과 같은 정신 운동의 수행도를 감소시킨다(Newman 2000).

2.1 자동차 운전에서 알코올의 효과

1978년 미국 NHTSA(National Highway Traffic Safety Administration)에서는 처음으로 알코올이 자동차 운전에서 미치는 영향에 대하여 종합적으로 연구를 수행하였다. 또한 Moskowitz and Fiorentino (2000)에 의해 기존 연구에 대한 보다 광범위한 분석이 이루어졌다.

한편 도로교통안전관리공단에서 개발한 운전자 교통 소양교육 프로그램을 보면 BAC 0.05%이하에서는 긴급 사태 대처 상황에서 반응시간이 길어지고, 시력이 15% 정도 감소한다. BAC 0.08% 이상에서는 시력의 약 25%가 감소하고, 집중력이 명백히 떨어지게 된다(도로교통안전관리공단 1999).

또한 음주에 따른 사고 위험도를 보면 BAC 0.05%는 음주를 하지 않았을 때보다 사고 확률이 2배, 만취상태인 0.10%는 6배, 0.15%는 25배로 증가한다. 즉, 알콜도수 24도의 술을 2잔 반(120ml)을 마시고 운전을 하면 마시지 않은 사람보다 사고 발생률이 약 2배까지 증가할 수 있는 것으로 보고되고 있다(도로교통안전관리공단 1999).

2.2 항공기 조종에서 알코올의 효과

각국의 알코올 관련 항공기 사고를 살펴보면 영국의 경우 1964~1973년 사이에 11.6%가 알코올

로 인한 사고였으며(UnderwoodGround 1975), 핀란드는 1961~1970년 사이에 12%(41명의 파일럿 중 5명)가 알코올과 관련되었다. 또한 호주에서는 1977년 9%가 알코올과 관련된 것으로 밝혀졌다(Moskowitz and Fiorentino 2000). 그러나 치명적인 항공기 사고에 있어서 조종사들의 10~30% 가량이 피와 조직에서 알코올 성분이 확인되었으며(Modell and Moints 1990, Burton and Jaggars 1974, Ryan and Mohler 1979), 1965년 미국 남서부 지역에서의 치명적 항공기 사고들의 30%에서 BAC가 0.015%보다 높은 것으로 보고되었다(Ryan and Mohler 1972).

1971년 FAA(Federal Aviation Administration)에서는 알코올에 의한 항공기 사고를 막기 위하여 비행 8시간 전 음주 금지규칙(the 8-hour "bottle-to-throttle rule")을 도입하였고, 이 덕분에 1970년대에는 사고 발생률이 13~19%까지 감소한 것으로 보고되었다(Ryan and Mohler 1979, Ryan and Mohler 1972, Lacefield and Roberts 1975).

비행에 있어 알코올이 주는 영향에는 공간 방향 상실이 있으며, 이는 "지형 등의 기준점에 대한 비행 속도 또는 고도 및 비행기의 상태를 정확하게 해석하는 데 있어 조종사의 능력저하"로 표현할 수 있다. 만약 방향 감각 상실 상태가 즉시 인지되지 못하면 항공기 제어 불능 상태로 이어지게 된다. 또한 몸의 위치감각이나 운동감각을 중추에 전달하는 전정 기관에 좋지 않은 영향을 주며, 안구의 운동능력을 감소시킨다.

실험을 통한 결과를 보면 Aksnes(1954)는 미량의 알코올 섭취가 비행연습장치(link trainer)에서 파일럿의 수행도를 감소시킨다는 것을 발견하였다. BAC 0.05%일 때 복합적인 기술을 요하는 과제(complex skill-based task)를 수행하는 데 있어 수행도가 충분히 감소되고, 0.02%에서도 감소됨을 보고하였다. 이후 다양한 레벨에서의 BAC에서 파일럿의 수행도에 대한 연구가 이루어졌으며 마찬가지로 수행도가 감소함을 보였다. BAC가 0.08% ~ 0.10% 범위에서는 시뮬레이터에서의 파일럿 수행도가 전체적으로 감소됨을 보였으며, 무선 통신의 감소, 의사소통의 애러 증가, 조종석에

서의 모니터링 주의 감소, 경계 실패, 부족한 의사결정, 기본적인 조종 기술들의 저하 그리고 비행(flying) 절차 방법의 오류 등을 포함한 수행도가 감소됨을 보고하고 있으며, 낮은 BAC에서도 파일럿의 수행도가 감소한다는 것을 발견하였다.

Billings et al.(1991)은 보잉 727기 시뮬레이터를 사용하여 알코올을 섭취 후 항공기를 1시간 동안 운항하게 하였다. 그 결과 알코올의 섭취량에 따라 주의 경계의 실패, 비행 절차 및 계획의 오류들이 증가하는 것을 발견하였으며, 수행도 감소는 가장 낮은 BAC 수준에서도 발견되었다고 보고하였다.

Smith and Harrise(1994)는 BAC 0.04%보다 낮은 상태에서 비행사들의 무전 교환 능력이 명확하게 감소됨을 찾아냈으나, 비행 기술 등은 명확하게 감소하지 않았다고 보고하였다. 그러나 다른 연구에서 BAC가 0.02% 보다 작을 때에도 항공기의 이착륙에서 파일럿의 수행도가 낮아짐을 발견하였다.

Ross et al.(1992)은 BAC 0.04%와 그 이하에서 비행 수행능력이 감소하였고, Billings et al.(1991)은 경비행기 "Cessna 172"를 사용하여 BAC 0.04%, 0.12%의 두 레벨에 대해서 실험을 하여 0.04% 일 때 비음주 상태일 때보다 두 배 이상의 비행절차 오류와 1번의 비행 조종능력 상실이 있었으며, 0.12%일 때 세 배 이상의 비행절차 오류와 16번의 비행 조종능력 상실이었다고 보고하였다.

2.3 선택운항에 있어서 알코올의 효과

선택운항 분야에서, 알코올이 항해사의 운항능력에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다. 시뮬레이터를 이용한 제한적인 연구가 부분적으로 수행되었는데, 이를 정리하면 다음과 같다.

Howland(2001)는 상선의 운항 시에 BAC 0.04%가 충돌 회피에 어떠한 영향을 주는지를 알아보기 위하여, 100시간 이상의 시뮬레이터 경험이 있는 38명의 해양대학 학생들을 대상으로 실험을 수행하였다. 이 연구에서는 알코올에 의한 선택운항 능력의 변화를 알아보기 위하여, 주어진 시나리오를 가지고 비음주 상태와 음주 상태에서의 시뮬레

이선 수행능력을 분석하였다. 또한 음주 상태에서 실시한 시뮬레이션에서는 피실험자 중 몇 명에게는 알코올 성분이 없는 음료수를 알코올 음료로 인식시켜(placebo, 이하 플라시보) 수행능력 실험을 실시하였다. 실험결과 BAC 0.04%에서 수행능력이 감소하였으나, 음주를 한 피실험자들은 수행도가 음주 전보다 좋아졌거나, 차이가 없다고 대답하여, 이는 BAC 0.04%에서는 자신의 수행능력 감소를 인식할 수 없다는 것을 보여주고 있다. Fig. 1은 비음주 상태인 day1 실험과 음주 혹은 플라시보 상태에서 실시한 day2 실험과의 수행능력을 보여주고 있다. 높은 점수일수록 수행능력이 좋은 것을 의미한다. 플라시보 상태에서는 수행능력에 차이가 없으나, 음주상태에서는 수행능력이 감소한 것을 보여주고 있다.

또한 Fig. 2는 day1 과 day2에서 실시한 시뮬레이션에서 피실험자들에게 알코올(BAC 0.04%) 이 수행능력에 영향을 주었는가에 대해 질문을 하였으며, 70% 이상이 시뮬레이션 수행능력에 알코올의 영향이 없거나 오히려 수행능력이 좋다고 답한 것을 보여주고 있다.

Marsden and Leach(2000)는 알코올과 카페인 이 항해능력에 미치는 영향을 알아보기 위해, 12명의 선원을 대상으로 비음주 상태와, 음주상태, 카페인만 섭취상태, 음주와 카페인을 동시에 섭취한 상태로 4가지 조건에 대해서 실험을 실시하였다. 그리고, 알코올을 40%인 위스키 75ml와 무설탕

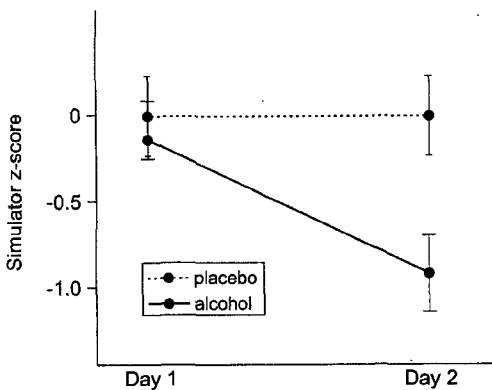


Fig. 1 Observer-rated performance (z-scores) in the simulator

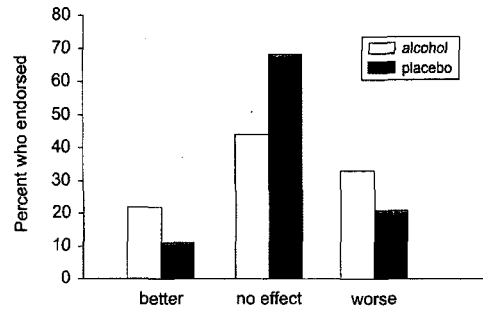


Fig. 2 Self-evaluation of performance affected by alcohol

의 커피 250mg을 제공하였다. 실험은 비슷하게 생긴 영어문자의 조합을 찾는 VST(visual search task)와 해도상에 표시된 기호 및 수심, 위험지역을 찾는 Chart Search(navigational search), 항해 중 발생하는 문제를 해결하는 Navitask(navigational problem-solving task)에 대한 수행도 평가실험을 실시하였다. 실험 결과, VST 작업에서는 4가지 조건에서 차이가 없었으며, Chart Search 및 Navitask 작업에서는 비음주 상태 수행도가 다른 3가지 조건일 때 보다 좋은 결과를 보였다.

3. 국내 음주 운항 관련 규정 및 현황

우리나라에서의 음주운항 기준은 해상교통안전법 제 2장 8조 2에 명시되어 있으며, 술에 취한 상태의 기준은 BAC 0.08%로 규정하고 있다. 음주 운항시 적발되면 5톤 이상 선박의 경우는 2년 이하의 징역 또는 1,500만원 이하의 벌금, 5톤 미만 선박의 경우는 300만원 이하의 과태료에 처해진다. 미국 항만과 수역내 알코올 규정에는 음주 상태의 BAC를 0.04%로 규정하여 우리나라보다 엄격하게 적용하고 있다. 국내 주요 대형 선사에서는 음주 상태의 BAC를 0.04%로 규정하고 알코올 교육을 선내에서 실시하여 음주운항을 금지하고 있다(양영훈 등 2004).

Table 1은 최근 5년간 음주운항 단속 현황이다(해

Table 1 No. of Violators for ship operation under the influence of alcohol

구분	측정건수	적발건수
'00	12,480	38
'01	11,489	62
'02	9,358	49
'03	11,211	61
'04.6.30현재	7,578	32
계	52,515	242

Table 2 Mean and Maximum BAC at the time of violation

구분	평균 BAC	최대 BAC
'00	0.15%	0.34%
'01	0.16%	0.34%
'02	0.17%	0.41%
'03	0.15%	0.5%
'04.6.30현재	0.13%	0.24%
평균	0.15%	0.37%

양경찰청 2004). Table 1에서 보는 바와 같이 최근 5년간 음주 운항 측정 건수는 총 52,515건이며, 이에 대한 적발 건수는 총 242건으로 매년 평균 40건 이상 적발되고 있다. 여기서 음주운항 단속기준은 BAC 0.08%이다.

Table 2에는 최근 5년간 음주운항 단속에 적발된 운항자의 연도별 평균 BAC와 최대 BAC를 나타내었다(양영훈 등 2004). 최근 5년간 음주운항 단속에 적발된 운항자의 평균 BAC는 0.15%로 국내 음주운항 단속 기준인 0.08%보다 약 2배 정도 높은 수치를 나타내었으며, 최대 BAC는 0.5% 이었다.

4. 알코올에 의한 선박운항능력 저하 실험

선원의 피로에 직접적 영향을 미치는 요인으로서 현재까지 알려진 것은 알코올/약물, 수면시간,

스트레스, 근로 및 승선여건, 휴식시간, 건강상태, 운항일정, 업무량 등이 대표적인 것이다. 이러한 요인들 중에서 실험을 통한 정량적 측정이 가능한 것은 알코올/약물 및 수면 등과 관련된 한정된 범위 정도이며, 대부분의 나머지 요인에 대한 분석은 직접 인터뷰나 설문지 등을 통한 조사방법이 유효하다.

본 연구에서는 선원 피로 유발요인 중 정량적 측정이 용이한 알코올이 선박운항능력에 미치는 영향을 평가해 보고자 다음과 같은 실험을 실시하였다.

4.1 실험방법

4.1.1 피실험자

실험은 시뮬레이터 사용 경력 100시간 이상자로 승선경력이 있는 목포해양대학교 4학년 학생 8명을 대상으로 실시하였다. 피실험자의 주량은 소주 반병 이상이었으며, 평균나이는 23.1세, 평균 체중은 66kg 그리고 평균신장은 175cm였다. 실험 전일부터 피실험자는 흡연, 커피, 알코올, 각성제나 흥분제 등을 복용하지 않도록 하였다.

4.1.2 실험장비

모의 항행 선박 운항 실험은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 자체 기술로 개발하여 운영하고 있는 3차원 전기능 선박운항 시뮬레이터시스템(FMBS: Full Mission Bridge Simulator)을 이용하여 수행되었다. 이 시스템은 5개의 구형(Spherical) 화면을 사용하여 수평 시야각 225도의 전경을 선박 운항자에게 실시간으로 제공한다. Fig. 3은 본 시뮬레이터 시스템의 선교 모습을 보여주고 있다. 선교에는 조타기, 엔진 텔레그래프(좌현 및 우현), 레이더 등의 항해 장비와 선속지시기, rpm 지시기, 선회속도 지시기, 타각 지시기, 풍향/풍속 지시기 등을 갖추고 일반적인 선박의 선교에서 제공하는 모든 기능을 제공한다.

Fig. 4는 시뮬레이션의 개요 및 환경조건의 예를 나타낸 것이다. 자선이 정해진 항로(항로폭 300m)를 반시계방향으로 선회하여 제자리로 돌아오면 종료하였다. 시뮬레이터에 의한 시각적 문

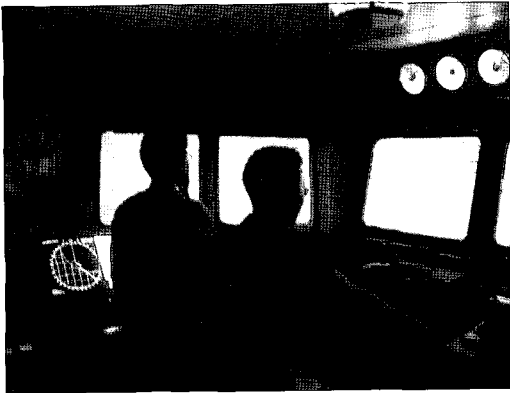


Fig. 3 Image of a ship bridge of the simulation system

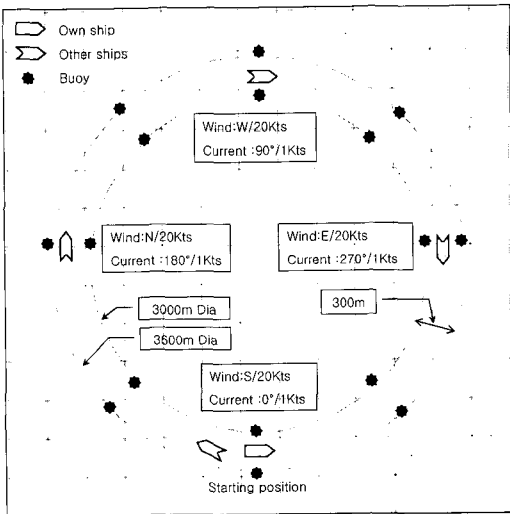


Fig. 4 Scenario used in the experiment

제점을 줄이기 위하여 레이더와 시뮬레이터 화면을 동시에 이용하도록 하였다. 자선은 길이 84m, 선폭 9.7m인 군함이고, 타선은 정장 380m, 선폭 55m인 12,000TEU 컨테이너 선박이다. 또한 항로의 식별 및 위치를 명확히 하기 위하여 레이더에 격자선, 부표, 선박이 나타나도록 하였다. 학습 효과를 줄이고, 피실험자의 적극적인 참여를 유도하기 위하여 외력(바람과 조류)은 90도 간격으로 변경시키고 최종적인 합력은 동일하도록 조절하였다. 초기 시작 위치에서 반시계 방향으로 출발하여 약 3~4분 간격으로 타선과 조우하게 하였으며, 항로를 향해하여 시작 지점으로 돌아오는데

모두 8번 타선과 조우하게 하였다.

알코올 섭취를 위한 재료로서 40도 보드카와 탄산음료를 준비하였다. 두 재료를 정확한 비율로 혼합하기 위해 실험용 비이커를 사용하였으며, 피 실험자들이 음료 섭취시 냄새를 맡지 못하도록 하기 위하여 뚜껑이 있는 컵을 준비하였다. BAC를 측정하기 위하여 원바이오사에서 제작한 휴대용 음주측정기(CA-2000 Model)를 사용하였다. 심전도를 측정하기 위하여 LAXTHA 사에서 제작한 측정기(QECG-3 Model)를 사용하였으며, 이것은 표준 유도를 통한 심전도를 측정할 수 있는 장치이다. LAXTHA 사에서 제작한 Telescan 프로그램을 사용하여 피실험자의 심전도 데이터를 획득하여 사후분석을 실시하였다.

4.1.3 실험계획

실험변수로 독립변수(independent variable)는 3수준의 알코올 농도(BAC 0.0, BAC 0.05 그리고 BAC 0.08)이며, 종속변수(dependent variable)는 심박수(heart rate)와 심박변이도(heart rate variability)와 같은 생체신호, 운항시간 및 선속과 같은 시뮬레이터 수행도, 그리고 주관적 작업부하를 사용하였다. 본 실험은 피실험자 8명이 3가지 수준의 독립변수에 대해 반복적으로 실험을 수행하는 개체내 실험설계(within subject experiment design)로 계획되었다.

탄산음료만으로 만들어진 음료를 섭취한 경우를 BAC Zero로 설정하였고, 탄산음료에 알코올농도 40%의 주류를 4:1로 희석한 음료를 섭취한 경우를 BAC 0.05-0.06%로, 그리고 탄산음료에 알코올 농도 40%의 주류를 3:1로 희석한 음료를 섭취한 경우를 BAC 0.08-0.09%인 것으로 설정하였다(Marsden/Leach 2000, IBMV 1974). 알코올의 섭취 효과를 알아보기 위해 알코올의 혼합 여부는 말하지 않았다.

본 실험에서는 작업부하 측정기법으로 일반적으로 사용하고 있는 생리학적 측정방법, 수행도 기준 측정방법 및 주관적 측정방법을 사용하였다. 즉, 알코올이 선박운항 능력에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 위의 3가지 범위를 모두 포함할 수 있도록 심전도 측정기를 이용한 생체신호, 시

물레이터를 이용한 수행도 및 NASA-TLX(Nasa Taskload Index)를 이용한 정신부하 측정을 수행하였다.

4.1.4 실험절차

피실험자들은 다른 실험자가 본 실험에 임하는 동안 대기소에서 편안하게 쉬도록 하였다. 이 중 다음 실험에 참가할 피실험자에게 실험용 음료를 제공하여 섭취하도록 한 후 대기하도록 하였다. 피실험자는 실험 준비실에서 휴식을 취하는 동안 제공된 음료를 약 5분간에 걸쳐 섭취하게 된다. 약 30분 후 시뮬레이터실에 입실하여 몸에 심전도 장비를 장착 후 의자에 앉아 편히 쉬게 하였다. 이때 실험하기 전의 심박수를 5분간 측정하였으며 측정이 끝난 후 모의 항행 실험을 실시하였다. 모의 항행 실험을 실시하는 동안에도 심박수를 계속 측정하였다. 모의 항행 실험에서의 시나리오를 끝마치고 난 후 다시 5분간 실험 후의 심박수를 측정하였다.

시뮬레이터 실험 종료 후, 피실험자의 주관적 작업부하를 측정하기 위해 NASA-TLX를 사용하였다. NASA-TLX는 미국 항공우주국(National Aeronautics & Space Administration)에서 개발된 방법으로, 대형 시스템에서의 작업수행 과정에서 발생하는 작업부하를 평가하기 위해 개발되었는데, 개념 및 사용방법의 용이성으로 인하여 최근

에 많은 분야에서 사용되고 있다. NASA-TLX는 Table 3과 같이 정신적 요구(mental demand), 신체적 요구(physical demand), 시간적 요구(temporal demand), 수행도(performance), 노력수준(effort) 및 좌절수준(frustration)의 6가지 평가기준에 의하여 작업부하를 평가할 수 있는 주관적 평가기법이다(차두원과 박범 1997).

1인당 총 실험시간은 약 50분이었으며, 전체적인 실험기간은 2주에 걸쳐 3일간 진행되었다.

4.2 실험결과

4.2.1 생체신호 측정 결과

Fig. 5와 Fig. 6은 알코올 섭취에 따른 심박변이도와 심박수의 변화를 나타내고 있으며, 이에 대한 비교분석을 위해서, 5% 유의수준의 pairwise t-test를 실시하였다. pairwise t-test는 짝지어진 데이터의 쌍 (X1, Y1), ..., (Xn, Yn)이 서로 독립적으로 측정될 때, 두 모평균 간에 차이가 있는지를 통계적으로 검정하기 위한 방법이다. 이 검정법에서는 각 쌍마다 나타나는 두 개의 관찰값의 차이를 기초로 검정을 수행한다.

심박변이도는 시간에 따른 심박의 주기적인 변화를 나타내는 생체신호로서, 순간적인 심박동 간격의 변동을 측정하여 교감 신경과 부교감 신경 사이의 상호 작용을 통하여 정신생리학적 반응을 잘 나타낸다는 점에서 운전피로도 측정에 적합한 것으로 보고되고 있다(성홍모 등 2003). 또한 심박수는 해상작업의 작업부하를 평가하기 위한 생체신호로서 가장 많이 사용되고 있다.

Fig. 5와 Fig. 6의 Box Plot에서 굵은 막대는 Quartile을 나타내는 것으로서, 막대의 상단(Q₁)과 하단(Q₃)은 다음과 같은 의미를 갖는다.

$$Q_1 = 25^{th} \text{ percentile}, Q_3 = 75^{th} \text{ percentile}$$

또한 상한선은 최대값과 (Q₃ + 1.5 IQR) 중 작은 값을 나타내고, 하한선은 최소값과 (Q₁ - 1.5 IQR) 중 큰 값을 나타낸다. 여기서, IQR = (Q₃ - Q₁)을 나타내며, 상한선과 하한선 사이의 영역을 벗어나는 데이터는 이상점으로 처리한다.

Table 3 Evaluation Criteria of Workload in NASA-TLX

Scales	End Points	Descriptions
정신적 요구	낮음/높음	정신적, 지각적 활동이 얼마나 요구되는가 (사고, 결정, 기억, 계산 등)
신체적 요구	낮음/높음	신체적 활동이 얼마나 요구되는가 (밀기, 제어하기, 돌리기 등)
시간적 요구	낮음/높음	과제들이 일어나는 비율 또는 속도에 기인한 시간적 압력을 느끼는가
수행도	낮음/높음	설정된 과제의 목표를 얼마나 성공적이라고 수행했다고 생각하는가
노력	낮음/높음	당신의 수준을 성취하기 위해 얼마나 열심히 하였는가
좌절수준	낮음/높음	과제를 수행하는 동안 당신은 얼마나 불안정감, 낙담, 초조감, 긴장감을 느꼈는가

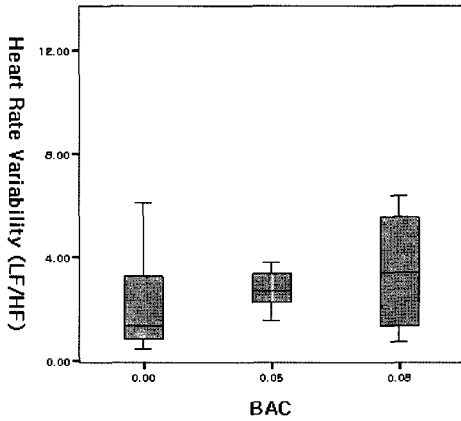


Fig. 5 Changes in HRV following alcohol intake

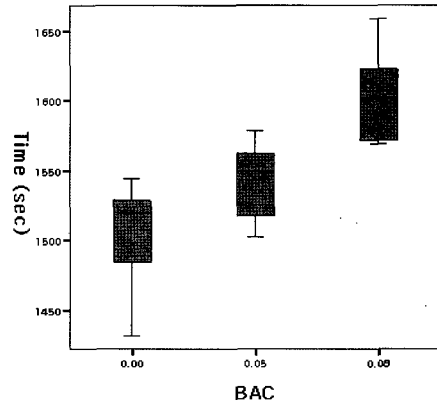


Fig. 7 Total ship operation time based on alcohol intake

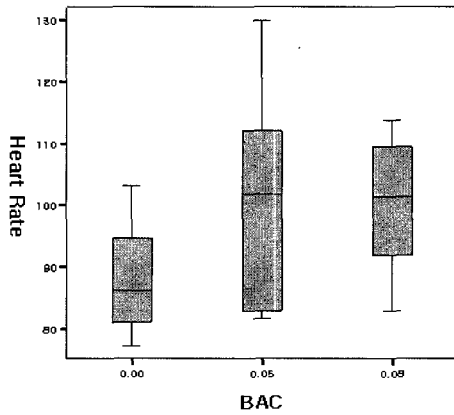


Fig. 6 Changes in heart rate following alcohol intake

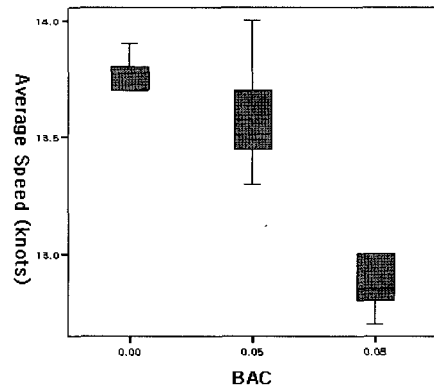


Fig. 8 Average ship speed based on alcohol intake

Table 4 Summary of bio-signal (P-Value)

실험인자	심박변이도의 차이	심박수의 차이
BAC 0.0 BAC 0.05	0.425	0.043*
BAC 0.00 BAC 0.08	0.069	0.009*
BAC 0.05 BAC 0.08	0.305	0.936

(* , 유의수준 0.05에서 유의함)

분석결과, 심박변이도는 Table 4에서 보는 바와 같이 알코올 섭취에 따라 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

같은 방법으로 분석한 심박수에 대한 결과에서는 Table 4에서 보는 바와 같이 알코올 섭취에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 알코올 섭취 유무에 따라 심박수가 변화하는 것으로 나타났다. BAC 0.05%와 BAC 0.08% 간의 심박수의 차이는 나타나지 않았다.

Table 5 Summary of simulator test(P-Value)

실험인자	운항시간의 차이	평균선속의 차이
BAC 0.0 BAC 0.05	0.078	0.104
BAC 0.00 BAC 0.08	0.020*	0.002*
BAC 0.05 BAC 0.08	0.047*	0.000*

(* , 유의수준 0.05에서 유의함)

4.2.2 시뮬레이터 수행 결과

Fig. 7과 Fig. 8은 알코올 섭취에 따른 운항시간과 평균선속의 변화를 나타내고 있으며, 이에 대한 비교분석을 위해서, 5% 유의수준의 pairwise t-test를 실시하였다.

분석결과, 시뮬레이터를 통한 전체운항시간은 Table 5에서 보는 바와 같이 알코올 섭취에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. BAC 0.00%와 BAC 0.05% 간의 전체운항시간의 차이는 나타나지 않았다. 같은 방법으로 분석한 평균선속에 대한 결과에서도 Table 5에서 보는 바와 같이 알코올 섭취에 따라 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. BAC 0.00%와 BAC 0.05% 간의 평균선속의 차이는 나타나지 않았다.

즉, 전체 운항시간과 평균선속에서 모두 BAC 0.00%와 BAC 0.05% 간의 차이는 나타나지 않았으나, 나머지 부분에서는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

4.2.3 주관적 작업부하 측정 결과

Fig. 9의 알코올 섭취에 따른 정신적 부하의 변화에 대한 비교분석을 위해서, 5% 유의수준의 pairwise t-test를 실시하였다. 분석결과, Table 6에서 보는 바와 같이 피실험자별로 알코올 섭취에 따라 작업부하의 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 작업부하의 변화에 있어서 BAC 0.00%와 BAC 0.05% 간의 차이는 나타나지 않았으나, 나머지 부분에서는 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

Fig. 10의 알코올 섭취에 따른 작업부하의 세부 항목별 변화에 대한 비교분석에서도 알코올의 농

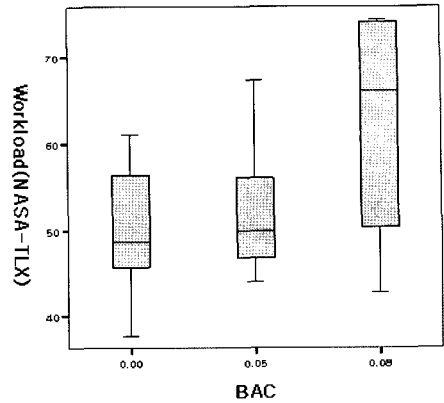


Fig. 9 Change in mental workload based on alcohol intake

Table 6 Summary of subjective workload (P-Value)

실험인자	작업부하의 차이
BAC 0.0 BAC 0.05	0.340
BAC 0.00 BAC 0.08	0.005*
BAC 0.05 BAC 0.08	0.012*

(* , 유의수준 0.05에서 유의함)

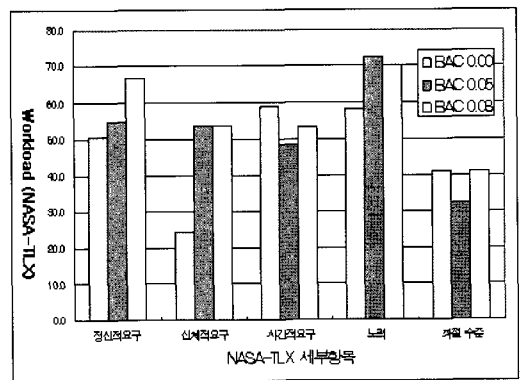


Fig. 10 Change in subjective workload by detailed factor based on alcohol intake

도에 따라 세부항목별로 차이가 있는 것으로 나타났다. 특히, 피실험자들이 “정신적 요구”항목과

“노력” 항목에서 높은 정신적 부하를 느끼는 것으로 나타났다.

5. 결론 및 토의

본 연구에서는 선박운항자의 피로 유발요인들 중에서, 알코올이 선박운항능력에 미치는 영향을 알아보기 위해, 선박운항 시뮬레이터를 이용한 실험을 수행하였다. 8명의 20대 피실험자를 대상으로, BAC의 변화(0.0, 0.05, 0.08)에 따른 선박운항능력의 차이를 실험을 통하여 검증하였다.

알코올이 선박운항 능력에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 1) 심전도 측정기를 이용한 생체신호, 2) 시뮬레이터를 이용한 수행도 및 3) NASA-TLX를 이용한 주관적 작업부하를 측정하였다.

생체신호 측정결과 중에서 알코올의 섭취에 따른 심박변이도는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 심박변이도의 측정을 위한 작업의 대상이 일반적으로 운전자가 앉아있는 정적인 작업일 경우에 측정값의 신뢰도가 높은 것으로 알려져 있어서, 선박운항과 같이 부분적인 동적작업을 수반한 작업에는 적절하지 않은 것을 알 수 있었다. 한편 심박수에 대해서는 알코올을 섭취하지 않은 BAC 0.0%와 알코올을 섭취한 BAC 0.05% 및 BAC 0.08% 사이에 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 즉, 심박수는 정신적인 스트레스 및 긴장, 작업부하로 인한 피로상태를 객관적으로 측정하기에 적절한 생체신호로 판단할 수 있었다. 하지만 BAC 0.05%와 BAC 0.08%에서 심박수의 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다.

시뮬레이터 수행과정에서 측정된 운항시간과 평균선속에 대해서는 알코올을 섭취하지 않은 BAC 0.0%의 미량을 알코올을 섭취한 BAC 0.05% 사이의 차이를 제외하고는 모든 경우에서 유의한 차이를 나타내었다. 즉, 알코올의 섭취는 전체 운항시간과 선속에 영향을 미치지만, 소량의 알코올(BAC 0.05)은 시뮬레이터 수행도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

또한 NASA-TLX를 이용한 주관적 작업부하 측정결과에서는 시뮬레이터 수행결과와 마찬가지로 알코올을 섭취하지 않은 BAC 0.0%와 미량의 알

코올(low-dose alcohol)을 섭취한 BAC 0.05% 사이의 차이를 제외하고는 모든 경우에서 유의한 차이를 나타내었다. 즉, 알코올의 섭취는 선박운항자의 작업부하에 영향을 미치지만, 미량의 알코올(BAC 0.05)은 작업부하에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 보다 정확한 주관적 작업부하의 측정을 위해서는 NASA-TLX의 세부항목을 선박운항작업에 맞게 수정하여 사용하는 것이 옳을 것으로 판단된다.

이러한 결과분석을 통하여 알코올의 섭취가 선박운항자의 신체적, 정신적 능력을 상당히 저하시키는 것으로 파악되었다. 특히, 알코올의 섭취가 심박수와 같은 생체신호의 변화는 물론 시뮬레이터 수행도와도 직접적인 연관성이 있는 것으로 나타났다. 또한 피실험자 본인이 작성한 주관적 작업부하 평가에서도 알코올의 섭취가 정신적 부하를 증가시키는 것으로 분석되었다.

본 연구에서 분석된 결과는 선박운항자의 피로 유발요인 가운데 주요 원인의 한가지인 알코올의 영향을 정량적으로 평가하는 한정된 범위를 포함하고 있으나, 수면과 작업부하 등의 유발요인을 추가적으로 고려한 해상근무 피로도 모델의 개발을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

앞으로 항해경력을 갖춘 선박운항자를 대상으로 추가적인 실험을 계획하고 있으며, 시뮬레이터 수행과정에서 얻을 수 있는 운항계적 및 타사용 빈도 등의 측정치를 추가적으로 분석할 계획이다. 또한 본 연구에서 제시한 선박운항 시뮬레이터를 이용한 인간과실 정량화 방법론의 활용을 통해서, 인간과실에 의한 해양사고의 발생을 근본적으로 줄이기 위한 다양한 기초연구를 수행할 계획이다.

후 기

본 논문의 내용은 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 기본연구사업으로 수행중인 “해양위해도 통합관리시스템 기반기술개발”과 “한국과학재단지원 첨단조선공학연구센터”의 연구결과 중 일부임을 밝히며, 국립목포해양대학교 해상운송학부의 실험지원에 감사드립니다. 또한 논문의 심사와 정에서 많은 조언을 해 주신 심사위원들께도 깊은

감사를 드린다.

참 고 문 헌

- 김홍태, 양찬수, 박진형, 이종갑, 2004, "인적요인 측면에서의 해양위해도 저감," 대한조선학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 816-821.
- 도로교통안전관리공단, 1999, 운전자 교통소양 교육 프로그램 개발, p.228.
- 성홍모, 차동익, 김선웅, 박세진, 김철중, 윤영로, 2003, "HRV 분석을 이용한 운전피로도에 관한 연구," 의공학회지, 제 24권, 제 1호, pp. 1-8.
- 양영훈, 양찬수, 김홍태, 이봉왕, 공인영, 2004, "알코올에 의한 선박운항 능력 저하에 관한 기초연구," 선박해양기술, 38호.
- 양찬수, 김홍태, 2004, "해양사고 요인분석에 관한 고찰," 대한조선학회 춘계학술대회 논문집, pp. 810-815.
- 이원영, 2002, 음주운전감소를 위한 연구과제, 도로교통안전관리공단.
- 차두원, 박병, 1997, "항법장치 시뮬레이터 기반의 RNASA-TLX를 이용한 항법장치 운전자 정신부하 평가에 관한 연구," 산업공학지, 제 10권, 제 1호, pp. 145-154.
- 해양경찰청, 2004, 음주운항단속 관련 통계자료 (최근5년간).
- Aksnes, E.G., 1954, "Effect of small doses of alcohol upon performance in a link trainer," J. Aviat Med 25:680-8.
- Billings, C.E., Denosthernes, R.L., White, T.R., and O'hara, D.B., 1991, "Effects of alcohol on pilot performance in simulated flight," Aviat. Space Enviro. Med., 62:233-235.
- Burton, R.R. and Jaggars, J.L., 1974, "Influence of ethyl alcohol ingestion on target "task during sustained +Gz centrifugation," Aerospace Med, 45:290-296.
- Finnigan, F. and Hammersley, R., 1992, "The effects of alcohol on performance" in: Smith A.P., Jones D.M.(eds). Handbook of Human Performance(vol.2). Academic Press; London, pp. 73-125.
- Howland, J., 2001, "Effects of low-dose alcohol exposure on simulated merchant ship piloting by maritime cadets," Accident Analysis and Prevention, Vol. 33, pp. 257-265.
- IBMV, 1974, "Indiana's Driver Manual," Indiana Bureau of Motor Vehicles.
- Lacefield, D.J. and Roberts, P.A., 1975, "Blossom CW. toxicological findings in fatal civil aviation accidents ; fiscal years 968- 1974," Aviat Space Environ Med. 6:1030- 1032.
- Levine, J.M. and Karras. L., 1977, "Effects of alcohol on human accommodation. Aviat Space Environ Med. 48:612-616.
- Marsden, G. and Leach. J., 2000, "Effects of alcohol and caffeine on maritime navigational skills," Ergonomics, Vol. 43, No. 1, pp. 17-26.
- Modell, J.G. and Moints, J.M., 1990, "Drinking and flying- the problem of alcohol use by pilots. New Engl J Med. 23:455-461.
- Moskowitz, H. and Fiorentino, D., 2000, "A review of the literature on the effects of low doses of alcohol on driving-related skills (Final report)," NHTSA, DOT HS 809 028.
- Newman, D.G., 2000, "Alcohol and human performance from an aviation perspective : a Review," March, Australian Transport Safety Bureau.
- Ross, L.E., Yeazel L.M. and Chau A.W., 1992, "Pilot performance with blood alcohol concentrations below 0.04%," Aviat Space Environ Med. 63:951-956.
- Ryan, L.C. and Mohler, S.R., 1972, "Intoxicating liquor and the general aviation pilot in 1971," Aerospace Med. 43:1024-6.
- Ryan, L.C. and Mohler, S.R., 1979, "Current role of alcohol as a factor in civil aircraft accidents," Aerospace Med. 50:275-279.
- Smith, F. J. and Harrise, D., 1994, "The effects of low blood alcohol levels on pilot'sprioritization of tasks during a radio

- navigation task," Int J Aviat Psych. 4:349- 358.
- UnderwoodGround, K.E. 1975, "Alcohol associated with fatal light aircraft accidents, UnitedKingdom 1964-1973," Aviat Space Environ Med. 46:1275-1279.



< 김 홍 태 >



< 양 찬 수 >



< 양 영 훈 >



< 이 봉 왕 >



< 이 창 민 >



< 이 재 환 >