



수술실 내의 아산화질소(N₂O) 노출평가

엄민용* · †백종배

*안동과학대학, †충주대학교

(2009년 7월 1일 접수, 2009년 12월 31일 수정, 2009년 12월 31일 채택)

Finite Element Analysis on the Strength Safety of a Fuel Tank for Highly Compressed Gas Vehicle

Min-Yong Uhm* · †Jong-Bae Baek

*Dept. of Nursing Science, Andong Science College, Andong 760-709, Korea

Dept. of Safety Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea

(Received 7. July. 2009, Revised 31. December. 2009, Accepted 31. December. 2009)

요 약

마취가스로 사용되는 아산화질소(N₂O)는 만성건강 잠재위험을 일으킬 수 있기 때문에 근무자를 보호하기 위해 아산화질소 노출을 감시하고 제어하는 것이 필요하다. 이 연구에서는 아산화질소 노출평가를 위해서 흡착제로는 molecular sieve 5A를 사용하였고 7ml vial에 보관한 후 heating block에서 100℃로 12시간 이상 가열하여 GC-ECD를 이용하여 분석, 평가하였다. GC-ECD에 의한 검량선 설명력계수(R²)는 0.9992이며 검출한계는 0.96µg/injection, 정량한계는 3.21µg/injection, 탈착효율은 평균 94.78 ± 4.50%이다. 과과는 각 농도대비 10% 범주 내에 있었다. GC-ECD에 의한 N₂O의 수술 전과 수술 중의 노출평가에서는 수술 전의 평균농도는 5.12ppm이고 수술 중의 평균 농도는 42.33ppm으로 수술 중의 아산화질소의 농도가 높게 나타났고 중대한 차이가 있다(P<0.05). GC-ECD에 의한 N₂O의 근무자의 근무위치에 따른 노출평가에서는 중대한 차이가 없고(P>0.005), 시료채취 법에서는 능동식 시료채취 법에서의 N₂O 농도가 높게 나타났다(P<0.05).

Abstract - Nitrous oxide, which is used as an anesthetic gas, has been shown to be a chronic health hazard. It is necessary to monitor and control the nitrous oxide exposure of the operating theaters staff. In this study, N₂O exposure level of the operating nurses is assessed with a GC-ECD. The nitrous oxide gas is collected on a molecular sieve 5A contained in a glass tube and desorbed for 12 hours at 100 °C in heating block. As a result of the test using GC-ECD, calibration curve's R² of N₂O is 0.9992, LOD is 0.96µg/injection, LOQ is 3.21µg/injection, desorption efficiency is 94.78 4.50% in average and break through is within 10% compared with the concentration. The average concentration before operation is 5.12ppm and it is 42.3ppm during operation. There are a significant difference showing that the P value is lower than 0.05. Assessing exposure level to nitrous oxide based on nurses' working positions, the exposure levels do not show significant difference(P>0.005). And N₂O in active sampling method is higher than passive sampling method(P<0.05).

Key words : operating rooms, nitrous oxide, molecular sieve 5A, GC-ECD.

†주저자:jbbaek@cjnu.ac.kr

교신저자:jbbaek@cjnu.ca.kr(qorwhdgo)

I. 서론

아산화질소(N₂O)는 마취제로 이용되는 무기화합물로 무색, 무취 가스로서 비교적 안정된 분자이며 비인화성이나 산소와 인화물질과 혼합될 때 연소작용을 도와줄 수 있는 물질이다.

우리나라에서 사용되고 있는 아산화질소는 반도체 산업과 마취제로 주로 사용되고 있으며 년간 총 사용량은 525,657kg으로 반도체 산업에서 438,048kg/년 마취제로 87,609kg/년의 아산화질소가 생산·사용된 것으로 보고되고 있다 ((주)아토, 2003). 의료용 아산화질소는 식품의약품안전청에서 정한 97%이상의 순도가 제조·시판되고 있으며, 현재 시중에 시판되고 있는 아산화질소의 순도는 98-99%이다. 아산화질소는 액화되어 저장되어 압력계로 가스양을 측정하지는 못하고 가스의 실중량(Net weight)으로 계산하는데 충전된 아산화질소는 40ℓ 용기 속에 약 20kg이 들어 있다¹⁾.

아산화질소는 단독으로는 외과적인 마취심도를 얻기 어려운 약제이나 진통작용을 증가시키며, 용해도가 낮으므로 흡입산소 농도조절을 통해 다른 흡입마취제의 유도가 빨라지며, 또한 다른 흡입마취제의 소요 농도를 감소시켜서 비교적 안전한 마취를 유도할 수 있어 흡입마취 시 기본적으로 사용되는 마취가스로 현재 널리 이용되고 있다[1,2].

아산화질소를 흡입 시 저혈압, 심부정맥, 산소결핍 뇌손상, 두통, 뇌부종 등의 증상이 나타나는 것으로 보고되었다. 동물실험에서의 임신에 대한 결함은 여러 문헌을 통해 확인되고 있으나, 인체 내에서 독성의 확실한 근거가 확립된 것은 아니지만 임신결함인 자연 유산은 수술실에 근무하는 여성이나 배우자인 부인에서 발생빈도가 높다고 한다[2,3,9,10,11]. 이와 같은 이유로 아산화질소에 대해 미국과 호주에서는 권고노출기준(REL)을 시간가중평균치(TWA) 25 ppm(45mg/m³)로 권고하고 있고, 미국, 벨기에, 덴마크, 뉴질랜드, 싱가포르, 베트남, 콜롬비아, 요르단, 아르헨티나, 불가리아, 그리고 우리나라에서는 허용농도(TLV)를 시간가중평균치 50ppm(90mg/m³)로 제시하고 있다. 또한, 유럽 각 국에서는 시간가중평균치(TWA) 100ppm (180mg/m³)을 권고노출기준으로 제시하고 있다[5,7,9].

우리나라에서도 마취제로 사용하는 아산화질소의 다양한 노출평가를 실시하여 병원환경도 환경·보건개념의 필요성을 인식하는 것이 필요하다. 따라서 이 연구에서는 수술실 간호사의 아산화질소(N₂O) 노출실태를 GC-ECD (Gas Chromatography with Electron Capture Detector)를 이용하여 분석, 평가하고자 한다.

II. 시료 채취 및 평가

2.1. 연구대상

이 연구에서는 Shinji Kumagai와 Shigeki Koda (AIHAJ, 1999)의 연구에서 제시된 GC-ECD를 이용하여 아산화질소를 분석하였다[5-8]. 이는 아직 국내에서는 수술실내 아산화질소의 다양한 노출평가를 측정할 사례가 없는 실정이다.

이 연구를 위한 실험대상은 000개 병상 규모의 수술실 5개를 갖추고 있는 종합병원에서 이루어졌으며 시료채취는 흡입 마취가 많이 이루어지는 수술실 2곳(Table 1)을 선정하였다. 지역시료(area sampling)

Table 1. Description of operating rooms.

| | A | B |
|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Equipment | AESTIVA/5 (USA, 2001) | Seneca 1272 (Germany, 1987) |
| Temperature | 27℃ | 27℃ |
| Humidity | 39% | 39% |
| Oxygen conc. | 21% | 21% |
| scavenging | Natural scavenging | None |
| air conditioning | None | Yes |
| Ventilation | Fan | Fan |
| Vol. of Nitrous Oxide | 2 ℓ/min | 2 ℓ/min |
| Vol. of Oxygen | 2 ℓ/min | 2 ℓ/min |
| Anaesthetic gas | Enflurane (5 ℓ/min→1.5~2 ℓ/min) | Sevoflurane (8 ℓ/min→2 ℓ/min) |
| Dimension | 580cm×790cm×280cm | 480cm×580cm×280cm |
| Door | 3 | 1 |

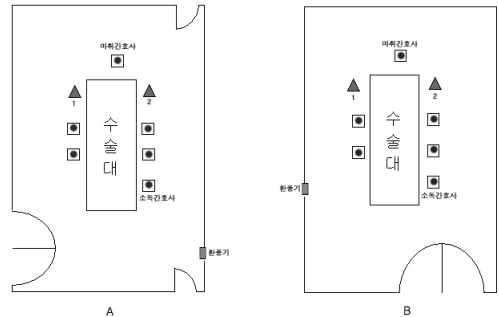


Fig. 1. Layout of operating rooms.

채취를 위하여 수술실 내에 높이 150cm의 2지점에서 수술 전과 수술중의 시료를 채취하였으며 개인시료(personal sampling) 채취는 마취와 소독 간호사의 호흡기 위치(Fig. 1)에서 시료채취가 이루어졌다.

2.2. 검량선 작성

아산화질소의 검량선을 작성하기 위해 온도 25℃, 습도 50% 조건에서 6개 Tedlar® bag(10 l)에 99% 질소를 채우고 각각의 가스샘플링백(Tedlar® bag)에 아산화질소를 0, 10, 25, 50, 100, 200ppm(0, 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0ml)을 기밀용 주사기(gas tight syringe)로 주입하였다. 잘 섞인 Tedlar® bag에 든 시료를 gas tight syringe를 이용하여 GC-ECD로 분석하여 검량선을 작성하였다⁸⁾.

2.3. 시료채취 방법 및 분석

흡착관은 내경 4mm, 외경 6mm, 길이 55mm인 유리관을 사용하였고 흡착제는 200mg의 molecular sieve 5A®(60/80 mesh, Supelco Inc., Bellefonte)를 사용하였다. 충전시킨 후 300℃ 회화로에서 질소를 흘리는 상태로 3시간을 두었다. 시료채취 후 흡착관을 7ml vial에 넣고 heating block에서 100℃로 12시간 이상 가열 하였으며 탈착된 아산화질소는 GC-ECD를 이용하여 분석하였다.

2.4. 탈착효율(Desorption efficiency)

10, 25, 50, 100, 200ppm의 아산화질소를 각 농도별 3개씩 15개의 흡착관에 개인시료 포집기 AMETEK(Alpha-2, USA)를 이용하여 0.2 l/min이내로 50분 동안 흘려주었다. 그리고 탈착효율(%)은 분석량을 주입량으로 나뉜 후 100을 곱하였다⁴⁾.

2.5. 통계학적 검정

수술 전과 수술중의 노출평가를 위해 SPSS (Statistical package for the social science) 10.0K를 이용하여 독립표본 T-검정을 하였다(n=20). 근무자의 위치별 노출평가는 비모수 검정인 Mann-Whitney 검정을 하였다(n=16).

III. 실험

GC-ECD에 의한 아산화질소의 검량선은 Fig. 2와 같으며, 검출한계(LOD)는 0.96µg/injection, 정량한계(LOQ)는 LOD의 3.33배인 3.21µg/injection이다.

탈착효율의 평균은 94.78%이고 표준편차는 4.50로 Table 2와 같으며, 지역시료(ambient sampling) 채취와 개인시료(personal sampling) 채취 2.무작위로 각각 5개씩 10개의 흡착관에 50mg의 molecular sieve 5A(60/80 mesh, Supelco Inc., Bellefonte)를 충전시킨 후 sampling 각 농도대비 10%범주 내에 있었다.

3.1. 수술 전과 수술중의 노출평가

수술 전과 수술중의 노출평가는 5일 동안 측정된 자료를 나타낸 것으로 수술 전의 시료채취시간은 오전 8시에서 10시까지 120분 동안 이루어졌으며, 수술중의 시료채취시간은 오전 10시에서 오후 5시까지 360분 동안 이루어졌다. 수술 전인 경우와 수술중의 농도 비교를 살펴보면 수술중의 아산화질소의 농도가 수술 전에 비해 높게 나타났음을 알 수 있으며 P값이 0.000으로 중대한 차이가 있다(P<0.05).

Table 2. Desorption efficiency.

| concentration (ppm) | desorption efficiency (%) |
|---------------------------|---------------------------|
| 10 | 90.75 |
| 25 | 89.09 |
| 50 | 97.16 |
| 100 | 98.50 |
| 200 | 98.38 |
| ※ mean : 94.78, SD : 4.50 | |

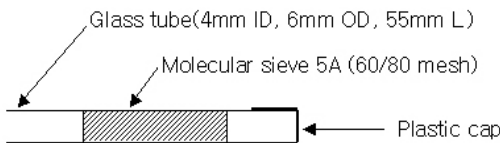


Fig. 2. Sampler.

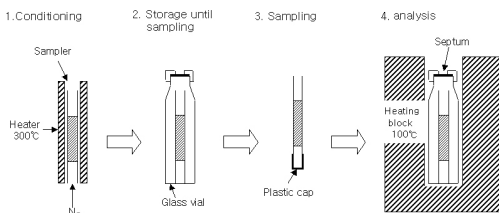


Fig. 3. Sampling and analytical procedure.

Table 3. Calibration data.

| concntration of nitrous oxide (ppm) | Peak area |
|-------------------------------------|-----------|
| 10 | 60.42 |
| 25 | 153.65 |
| 50 | 273.43 |
| 100 | 533.11 |
| 200 | 1007.51 |

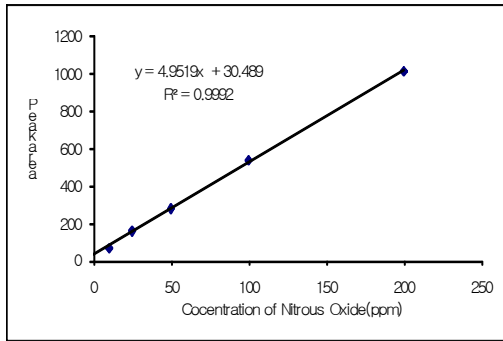


Fig. 4. Calibration curve of nitrous oxide by GC-ECD.

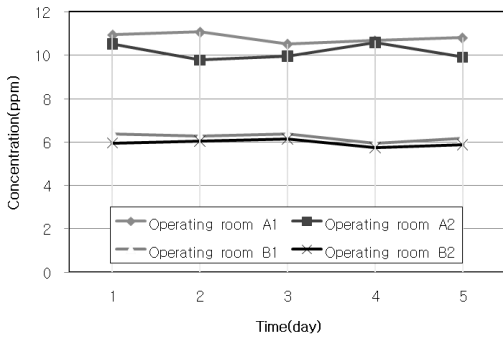


Fig. 5. Concentration of pre-operation time.

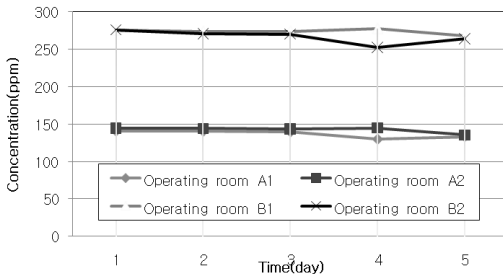


Fig. 6. Concentration of operation time.

3.2. 근무자의 위치별 노출평가

수술실 근무자의 근무위치에 따른 노출평가이다. 마취간호사의 위치에서 소독간호사의 위치보다 아산화질소의 농도가 비교적 높게 나타났다. 통계학적 검정에서는 P값이 0.093이므로 중대한 차이가 없다 (P>0.05).

Table 4. Concentration of workplace position by active sampling.

| operating specialty | workplaces | TWA | | |
|---------------------|------------|-------|----------------------|-----|
| | | (ppm) | (mg/m ³) | |
| anesthesia nurse | GS1 | B | 252.57 | 455 |
| | GS2 | B | 231.43 | 417 |
| | NS | A | 26.67 | 48 |
| | OBYG | B | 282.86 | 509 |
| scrub nurse | GS1 | B | 35.78 | 64 |
| | GS2 | B | 14.39 | 26 |
| | NS | A | 47.88 | 86 |
| | OBYG | B | 75.43 | 136 |

IV. 고찰

우리나라에서 사용되고 있는 의료용 아산화질소(N₂O)는 식품의약품안전청에서 정한 97%이상의 순도가 제조·시판되고 있으며, 현재 시중에 시판되고 있는 아산화질소(N₂O)의 순도는 98-99%이다. 아산화질소(N₂O)는 액화되어 기통 속에 저장되어 압력계로 가스량을 측정하지는 못하고 가스의 실중량(Net weight)으로 계산하는데 충전된 아산화질소(N₂O)는 40ℓ 기통 속에 약 20kg이 들어 있다. (단일의료, 2002)

일반적인 아산화질소의 분석방법은 NIOSH (NM AM, 6600)와 OSHA 에서 현장용 분광광도계(Long-pathlength portable infrared spectro photometer)를 이용한 분석방법을 제시하고 있으나 이 연구에서는 Shin-ji Kumagai와 Shigeki Koda(AIHAI, 1999)의 연구에서 제시된 GC-ECD를 이용하여 아산화질소를 분석하였다. 이는 아직 국내에서는 수술실내 아산화질소(N₂O)의 다양한 노출평가를 측정할 수 있는 실정이므로 작업환경관리 평가 측면에서 비용의 효율성과 유용성을 가질 것이라 사료된다.

본문 연구결과를 살펴보면 수술 전과 수술중의 노출평가에서 수술실A와 B의 경우 수술 전에는 수술실A가 아산화질소(N₂O)의 농도가 높게 나타났으나 수술 중에는 수술실B가 20%정도 더 높게 나타났다. 뿐만 아니라, 마취 간호사와 소독간호사의 노출평가에서도 보여 지듯이 통계학적인 유의한 차이는 없지만 (P>0.05), 마취간호사 위치에서 일반적으로 아산화질소(N₂O)의 농도가 높게 나타났다. 그런데 수술실 A에서는 마취간호사 위치보다 소독간호사의 위치에서 active sampling인 경우는 41%, passive sampling인 경우는 15배정도 농도가 높게 나타났다. 체적의 차이, 출입문 등 다양한 변수들을 고려해 볼 수 있으나 기존

의 연구 결과들과 상황을 고려해보면, 공통분모로 scavenging system 유무를 들 수 있다고 판단된다. 실제 scavenging system은 수동형과 음압을 이용한 능동형의 두 가지가 있는데 scavenging system을 적절히 사용하면 설치 전보다 수술실내 공기 오염율을 1/10 이하로 줄일 수 있다고 한다. 근무자의 위치별 노출평가에서는 통계학적인 유의한 차이가 없다는 것은 바꿔 말하면, 수술실내 어떤 위치에서도 아산화질소(N_2O)의 노출이 이루어진다는 반증이 될 수 있을 것이다. 수동식 시료채취법과 능동식 시료채취법의 노출평가에서는 능동식 시료채취 법에서 아산화질소(N_2O)의 농도가 높게 나타났다($P<0.05$). 이는 수동식 시료채취 법에서의 고려사항인 온도와 습도, 공기의 정체, 최소한의 기류가 0.05-0.1m/sec 형성 되어야 하는 등의 여러 요인들이 있어 만족할만한 측정치를 얻을 수 없었던 것으로 판단된다. 이 연구의 또 하나의 제한점이 될 수 있는 Head Space Analysis와 수동식 시료채취 법에서의 탈착효율이다. Shinji Kumagai와 Shigeki Koda (AIHAJ, 1999)의 연구에서는 regression equation으로 $CHS=0.48$ TCTA head space 농도와 test atmosphere의 농도를 0.48로 보정되었으나 이 연구에서도 0.48을 보정했다.

이 연구는 수술실이라는 제한성과 특수성을 갖는 지역에서 이루어 졌으며 연구 결과치 들이 우리나라 수술실 전체의 값을 대표하는 대표성을 갖는 데는 다소 무리가 있다고 판단되지만, 일반적인 종합병원 규모의 수술실내 아산화질소(N_2O)의 노출평가를 했다는 데는 큰 의의를 가질 수 있을 것이다. 이 연구에서는 NIOSH나 OSHA의 권고노출 기준을 시간가중평균치(TWA)로 제시하고 있는데 수술실 같은 연속성이 제한된 작업장인 경우는 실시간 측정치를 제시하는 것이 더 바람직하지 않을까 사료된다.

V. 결 론

이 연구는 수술실이라는 제한성과 특수성을 갖는 지역에서 이루어 졌으며 연구 결과치 들이 우리나라 수술실 전체의 값을 대표하는 대표성을 갖는 데는 다소 무리가 있다고 판단되지만, 일반적인 종합병원 규모의 수술실내 아산화질소의 노출평가를 했다는 데는 큰 의의를 가질 수 있을 것이다.

연구결과를 살펴보면 중요한 몇 가지를 알 수 있다. 수술 전과 수술중의 노출평가에서 수술실A와 B의 경우 수술 전에는 수술실 A가 아산화질소의 농도가 높게 나타났으나 수술 중에는 수술실B가 20%정도 더 높게 나타났다. 뿐만 아니라, 마취와 소독 간호사의 노출 평가에서도 보여 지듯이 통계학적인 중대한 차이는 없지만($P>0.05$), 마취 간호사

위치에서 일반적으로 아산화질소의 농도가 높게 나타났다. 그런데 수술실 A에서는 마취간호사 위치보다 소독간호사의 위치에서 농도가 41% 높게 나타났다. 체적의 차이, 출입문 등 다양한 변수들을 고려해 볼 수 있으나 기존의 연구 결과들과 상황을 고려해보면 scavenging system 유무를 들 수 있다.

참고문헌

- [1] 김동수, “마취과학핵심분석”, 99-123, (1993)
- [2] 대한마취과학회, “마취과학”, 1-9, 107-127, 73-129, (1991)
- [3] 최영규, 이봉재, 이두익, “아산화질소가 혈청 B12, folate대사 및 조혈기능에 미치는 영향”, 대한마취과학회지, 27, 1300-1308, (1994)
- [4] 백남원, 박동욱, 윤충식, “작업환경측정 및 평가”, 28-48, 56-97, 167-221, (2001)
- [5] <http://www.cdc.gov/niosh/rtecs/qx149970.html>
- [6] <http://www.inchem.org/documents/pims/pharm/nitrusox.htm>
- [7] <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id166/id166.html>
- [8] Shinji Kumagai, Shigeki Koda, “Passive Sampling and Head Space Analysis for Quantitative Determination of Nitrous Oxide Exposure”, American Industrial Hygiene Association Journal, 60, 458-46, (1999)
- [9] G. Wiesner, M. Harth, W. Jurczyk, P. Sobczynski, K. H. Hoerauf, J. Hobbhahn, K. Taeger. “A follow-up study on occupational exposure to inhaled anaesthetics in Eastern European surgeons and circulating nurses. Int Arch Occup Environ Health”, 74, 16-20, (2001)
- [10] Accorsi A, Barbieri A, Raffi GB, Violante FS, “Bio-monitoring of Exposure to Nitrous Oxide, Sevoflurane, Isoflurane and Halothane by Automated GC/MS Headspace Urinalysis. Int Arch Occup Environ health”, 74, 541-548, (2001)
- [11] De-Amici D, Ceriana P, Lodola L, Rolandi L, Zecca E, “Qualitative Characteristics of Human Exposure to Air Chemical Pollutants in Operating Rooms”, G Ital Med Lav, 18, 145-149, (1996)