

地下商街 室內外 및 地下鐵의 온도와
습도에 따른 Formaldehyde 거동(II)

權 禹 澤

서울保健專門大學 環境管理科

**Behavior of Formaldehyde Concentration by
Temperature and Humidity of Indoor and Outdoor in
Underground Shopping Center and Subway(II)**

Woo-Taeg Kwon

*Department of Environmental Science and Technology,
Seoul Health Junior College, Sungnam, Korea*

Abstract

Formaldehyde has been in widespread industrial use since World War II. Numerous sources of formaldehyde are present in the indoor environment. Additionally, the current trend toward tighter, more energy efficient buildings with lower ventilation rates has led to increase concentrations of this and other pollutants generated indoors.

In this paper, the field survey was carried out once a month from January to March, 1994 to measure indoor and outdoor formaldehyde concentration in several underground locations in Seoul.

The results could be summarized as follows :

1. At Yang-jae underground shopping center, the mean formaldehyde concentration was 77.8ppb for indoor and 68.4ppb for outdoor. At Ban-po underground shopping center, it was 175.8ppb for indoor and 127.3ppb for outdoor. At Jam-shil underground shop-

- ping center, it was 135.2ppb for indoor and 34.6ppb for outdoor. Indoor the No.2 subway line, it was 105.6ppb.
2. The formaldehyde concentration using Berge equation was as follows : At Yang-jae underground shopping center, the mean formaldehyde concentration was 85.99ppb for indoor and 72.75ppb for outdoor. At Ban-po underground shopping center, it was 254.17ppb for indoor and 138.14ppb for outdoor. At Jam-shil underground shopping center, it was 249.13ppb for indoor and 36.87ppb for outdoor. Indoor the No.2 subway line, it was 131.73ppb.
 3. The result of correlation analysis indicated that the relationship between temperature and formaldehyde concentration is very high ($\gamma=0.831\sim0.974$).
 4. Also, the relationship between humidity and formaldehyde concentration is variant ($\gamma=0.246\sim0.999$).
 5. The mean formaldehyde concentration indoor and outdoor Ban-po underground shopping center and indoor Jam-shil underground shopping center and indoor the No.2 subway line exceed the American Society of Heating, Refrigeration, Air-conditioning Engineers(ASHRAE) standard of 100ppb($120\mu\text{g}/\text{m}^3$).

I. 序 論

Formaldehyde는 세계2차대전 이후 산업전반에 사용되어 날로 그 사용량이 증가추세에 있으며, urea-와 phenol-formaldehyde 수지를 합성하는데 있어서 중요한 화학물질이다. 이들 樹脂가 처음에는 접착제로서 하드보드, 섬유판, 합판 적층플라스틱을 만드는데 사용되었으며, 특히 urea-formaldehyde는 塗裝 공정, 제지생산, 斷熱材생산에 사용되어 왔고¹⁾, 섬유제품에서는 주름을 방지하며 의류의 형태 안정성과 방염성 등에 사용되어 왔다¹⁻³⁾.

경제발전과 인구의 도시집중은 생활공간의 부족을 야기시켰으며 이를 극복하기 위한 건축기술이 발달함으로 도심지역을 중심으로 각종 건축물이 고층화, 지하화, 대형화하고 있

며 이러한 실내공간을 사용하거나 이용하는 사람들이 급격히 증가하고 있고 특히 동절기에는 각 건물마다 에너지 효율을 높이기 위해 환기량을 줄이려는 경향이 나타나고 있는데 이는 실내의 formaldehyde를 비롯하여 다른 오염물질의 농도를 증가시키는 요인이 되고 있다.

대기중에 발생하는 formaldehyde의 기전은 樹脂에 포함된 formaldehyde중 반응하지 않은 formaldehyde의 방출과 수지의 분해에 의해서 진행된다. 하드보드와 합판을 재료로 건축한 건물에서 formaldehyde의 첫번째 반감기는 일반적으로 4~5년 정도로 규명되었고, UFFI(Urea-Formaldehyde Foam Insulation)로 건축한 건물에서의 formaldehyde의 반감기는 1년 정도로 밝혀졌다⁴⁾.

Formaldehyde는 저분자의 가장 반응성이 높은 aldehyde로서 殺菌劑나 防腐劑로 오래전부터 사용되어 왔으며 인체에 暴露되었을 때 눈, 코, 호흡기에 자극을 誘發하고 농도에 따라 두통, 메스꺼움, 흉부압박감 등을 일으킨다고 보고되어 있다⁵⁻⁷⁾. 또한 인간에 대한 발암성은 아직까지 확실히 규명되지는 않고 있으나 최근의 독성학 연구에 의하면 formaldehyde에 폭로된 rat에서 鼻腔粘膜細胞癌의 발생을 확인한 바 있고, 실제로 인간에 대한 발암현상은 한 직물처리공장에서 낮은 농도의 formaldehyde에 25년간 폭로된 57세의 남자에게서 발생된 것이 보고되었다^{8, 9)}.

본 연구는 1994년 1월에서 3월까지의 3개월에 걸쳐 매월 1회씩 의류를 주로 취급하는 지하상가 및 지하철의 실내의 formaldehyde 농도등을 분석하였으며 이들 분석 결과가 실내의 환기시설 및 운영 그리고 지하상가 근로자의 보건향상에 대한 기초자료를 제공하고자 함에 목적이 있다.

II. 調査研究의 方法

1. 調査대상 지점의 선정 및 시료포집시간

본 조사는 서울시내에 있는 3곳(양재, 반포, 잠실)의 지하상가와 지하철 2호선 순환선내(잠실~잠실~한양대~잠실)를 選定하여 대상으로 하였으며 지하상가는 상가내부와 지하상가 외부에서 각각 한 지점을 선정하여 공기를 捕集하였으며, 지하철에서는 2호선의 잠실에서 출발하여 한바퀴 돌아서 한양대까지 갔다가 반대로 잠실구간까지의 전철내에서 공기를 포집하였다. 시료 포집시간은 매회마다 일정하였으며, 양재지하상가에서는 12:00~

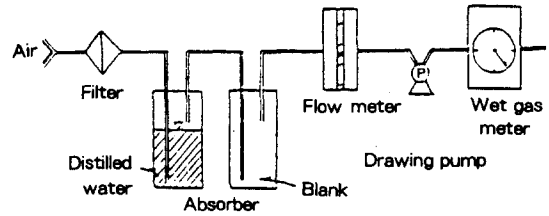


Fig. 1. Formaldehyde sampling system

14:00, 반포지하상가에서는 15:00~17:00, 잠실지하상가에서는 18:00~20:00, 지하철 2호선 전철내에서는 20:30~22:30까지 시료를 포집하였다.

2. 調査방법

본 조사의 시료포집과 분석은 Methods of Air Sampling and Analysis(Third Edition)의 116.Determination of Formaldehyde Content of the Atmosphere(Colorimetric Method)¹⁰⁾에 의해 遂行하였고, 온도와 습도는 현장에서 측정하였으며 유량은 시료포집전과 포집 후에 측정하여 평균값으로 하였다. 이때 사용한 기기는 Table 1과 같다.

Table 1. Apparatus

| Item | Apparatus |
|--------------|---|
| Temperature | Digital Thermo/Hygrometer (SK-80TRH) |
| Humidity | |
| Flow rate | Flow meter (Dwyer RMA-22-SSV) |
| | Wet gas meter (Shinagawa Seiki NWK-1A) |
| | Handy sampler(Kimoto HS-7) |
| Sampler | |
| Formaldehyde | UV-Spectrophotometer (Shimadzu UV-160A) |

(1) 시료의 포집방법

Handy sampler를 사용하여 흡수액(증류

수) 20ml에 공기중의 formaldehyde를 포집 하였으며 pump에 의한 공기흡입유량은 1ℓ/min으로 2시간 포집하였다. 또한 공기포집 위치는 지상으로부터 1.5m지점이었으며 formaldehyde 포집장치는 그림 1과 같다.

(2) 시료의 분석방법

Formaldehyde의 농도측정은 formaldehyde가 포집되어 있는 흡수액 4ml에 1% chromotropic acid 0.1ml와 conc. H₂SO₄ 6ml를 추가하여 발색시켜서 Spectrophotometer(Shimadzu UV-160A)로 580nm에서 흡광도를 측정하여 분석하였다.

III. 實驗結果 및 考察

1. Formaldehyde의 농도

각 지점에서 3개월간 월1회씩 測定한 for-

maldehyde의 농도는 Table 2와 같으며, Fig. 2는 각 지점에서의 실내, 실외의 3개월 평균 formaldehyde의 농도를 나타낸 것이다.

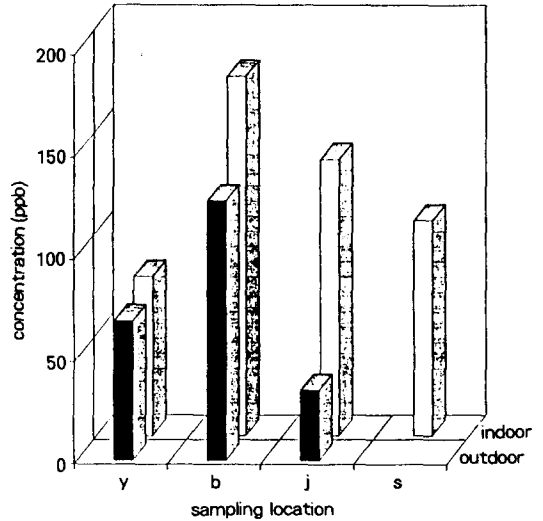


Fig. 2. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations at sampling location (y; Yang-jae, b; Ban-po, j; Jam-shil, s; Subway)

Table 2. Formaldehyde concentrations at sampling location

| Location | | Month | | | | Mean |
|----------|---------|---------|----------|-------|-------|------|
| | | January | February | March | | |
| Yang-jae | indoor | 64.5 | 79.8 | 89.2 | 77.8 | |
| | outdoor | 51.4 | 68.6 | 85.2 | 68.4 | |
| Ban-po | indoor | 160.7 | 152.9 | 213.7 | 175.8 | |
| | outdoor | 118.5 | 120.9 | 142.5 | 127.3 | |
| Jam-shil | indoor | 137.5 | 120.8 | 147.2 | 135.2 | |
| | outdoor | 17.2 | 37.8 | 48.7 | 34.6 | |
| Subway | indoor | 95.2 | 102.5 | 119.2 | 105.6 | |

(1) 실내의 formaldehyde 농도

양재지하상가의 실내평균 formaldehyde 농도는 77.8ppb(64.5~89.2), 반포지하상가의 실내평균 formaldehyde 농도는 175.8ppb

(152.9~213.7), 잠실지하상가의 실내평균 formaldehyde 농도는 135.2ppb(120.8~147.2), 지하철 2호선 전철내의 평균 formaldehyde의 농도는 105.6ppb(95.2~119.2)로 나

타났다.

(2) 실외의 formaldehyde 농도

양재지하상가의 실외평균 formaldehyde 농도는 68.4ppb(51.4~85.2), 반포지하상가의 실외평균 formaldehyde 농도는 127.3ppb(118.5~142.5), 잠실지하상가의 실외평균 formaldehyde 농도는 34.6ppb(17.2~48.7)로 나타났다.

2. 온도와 습도를 보정한 formaldehyde의 농도

Godish 등¹¹⁻¹³⁾의 연구보고에 의하면 일정한 조건에서 온도와 습도를 달리했을 때 방출되는 formaldehyde의 농도가 변화한다고 했는데 Table 3은 Berge가 제안한 공식을 적용하여 각 지점에서 측정한 평균 formaldehyde의 농도를 나타낸 것이다. 또한 Fig. 3은 각 지점에서의 온도와 formaldehyde 농도의 상

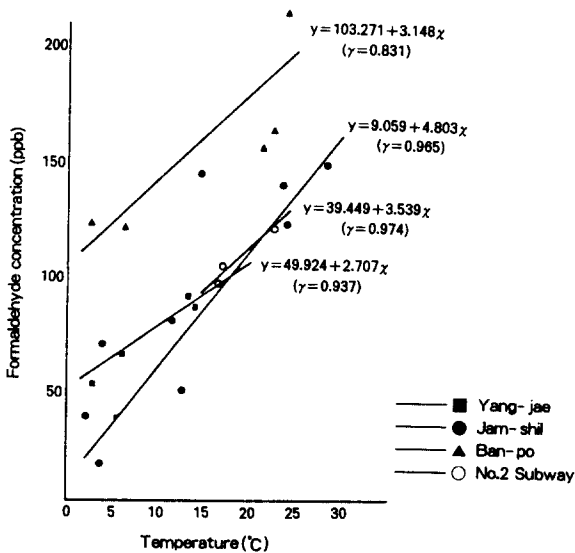


Fig. 3. Relationship between formaldehyde concentration and temperature

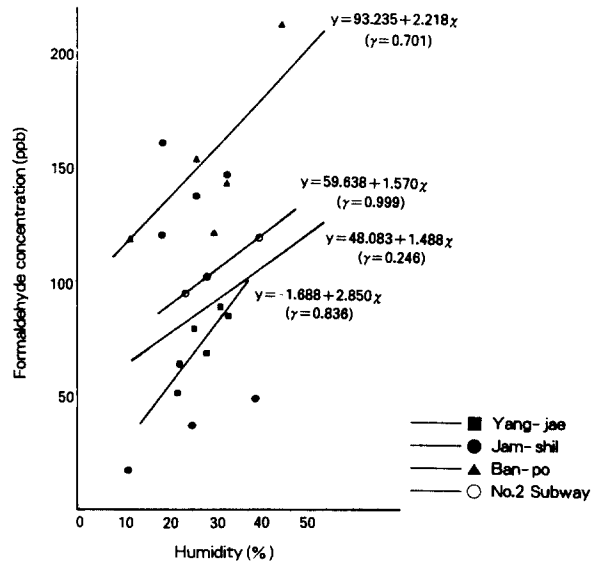


Fig. 4. Relationship between formaldehyde concentration and humidity

관관계를 나타낸 것이고 Fig. 4는 각 지점에서의 습도와 formaldehyde 농도의 상관관계를 나타낸 것이다.

(1) Berge equation에 의해 보정한 formaldehyde 농도

양재지하상가의 실내평균 formaldehyde 농도는 85.99ppb, 실외평균 formaldehyde 농도는 72.75ppb, 반포지하상가의 실내평균 formaldehyde 농도는 254.17ppb, 실외평균 formaldehyde 농도는 138.14ppb, 잠실 지하상가의 실내평균 formaldehyde 농도는 249.13ppb, 실외평균 formaldehyde 농도는 36.87ppb, 지하철 2호선 전철내의 평균 formaldehyde의 농도는 131.73ppb로 나타났다.

(2) 온도와 formaldehyde 농도의 상관관계
온도와 formaldehyde 농도의 상관관계는 높은 것으로 나타났으며 양재 지하상가는 r값

Table 3. Formaldehyde concentrations before and after correction by Berge equation*

| Location | Mean Temperature (°C) | Mean Relative Humidity (%) | Mean Formaldehyde Concentration(ppb) | | |
|----------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------|--------|
| | | | Before Correction | After Correction | |
| Yang-jae | indoor | 10.2 | 25.57 | 77.8 | 85.99 |
| | outdoor | 6.9 | 26.93 | 68.4 | 72.75 |
| Ban-po | indoor | 22.9 | 28.73 | 175.8 | 254.17 |
| | outdoor | 7.8 | 23.83 | 127.3 | 138.14 |
| Jam-shil | indoor | 25.5 | 24.90 | 135.2 | 249.13 |
| | outdoor | 6.1 | 24.53 | 34.6 | 36.87 |
| Subway | indoor | 18.7 | 29.30 | 105.6 | 131.73 |

이 0.937, 반포지하상가는 γ 값이 0.831, 잠실지하상가는 γ 값이 0.965, 지하철은 γ 값이 0.974로 나타났다.

(3) 습도와 formaldehyde 농도의 상관관계
습도와 formaldehyde 농도의 상관관계에서 양재지하상가는 γ 값이 0.836, 반포지하상가는 γ 값이 0.701, 잠실지하상가는 γ 값이 0.246, 지하철은 γ 값이 0.999로 나타났다.

* Berge equation

$$C_x = \frac{C}{[1 + A(H - H_0)] e^{-R(1/T - 1/T_0)}}$$

C_x ; Corrected concentration (ppb)

C ; Test concentration (ppb)

A ; Coefficient of humidity (0.0175)

H ; Test relative humidity (%)

H_0 ; Standardized relative humidity (50%)

R ; Coefficient of temperature (9799)

T ; Test temperature (K)

T_0 ; Standardized temperature (298K)

3. 考 察

본 연구는 지하상가와 서울시민의 발이되고 있는 지하철의 실내외 오염도를 분석하였는데 이는 섬유물질 및 건축물 단열재 그리고 흡연 및 난방기의 사용에 의해 formaldehyde가 氣體狀으로 發散하여 공기오염을 가중시키고 인체에 害를 준다는 가정하에서 遂行하였다. 지하상가의 formaldehyde 농도분포는 실내에서 64.5~213.7ppb로 權¹⁴⁾이 92년 1~3월에 조사한 83.0~188.0ppb 그리고 金 등¹⁵⁾이 88년 8월에 조사한 69.5~186.7ppb와는 거의 유사한 결과가 나왔으나 高¹⁶⁾가 88년 4~5월에 조사한 72.0~416.0ppb와는 농도분포에서 차이를 나타내고 있는데 이는 계절적 차이 및 장소 그리고 시료포집 시점에서의 氣象要素(온도, 습도, 기류 등)의 차이에 의한 것으로 분석되며, 실제 formaldehyde의 농도는 17.2~142.5ppb로 權이 조사한 89~139ppb, 金 등이 조사한 74.2~118.7ppb, 高가 조사한 26.0~240ppb와는 농도분포에서 차이를 나타내고 있는데 이는 실외의 기상변화가 실내의 기상변화보다 더욱 크기 때문으로 분석된다. 또한 지하철의 formaldehyde 농도분포는 95.2~

119.2ppb로 權이 조사한 75.0~87.0ppb와 金 등이 조사한 38.9~108.9ppb보다 높게 나타나고 있는데 이는 날로 지하철내의 실내오염도가 증가하기 때문으로 분석된다.

반포지하상가 실내외와 잠실지하상가의 실내 그리고 지하철내 평균 formaldehyde의 농도는 각각 175.8ppb, 127.3ppb, 135.2ppb, 105.6ppb로 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigeration, Air-conditioning Engineers)¹⁷⁾에서 기준으로 하는 100ppb를 상회하고 있는데 formaldehyde는 인체에 폭로되었을 때 눈, 코, 호흡기에 자극을 유발하고 농도 및 사람에 따라 두통, 졸음, 불편증, 메스꺼움, 기침, 천식 등을 유발하며 만성적 노출에 의해서 확실히 규명되지는 않고 있으나 발암성 및 DNA¹⁸⁾ 손상을 일으킨다고 보고하고 있다.

온도와 formaldehyde 농도관계는 Godish의 보고와 같이 γ 값이 0.831~0.974로 높은 상관관계로 나타났으며 高가 조사한 γ 값 0.923과 비슷한 정도로 나타났으나 金 등이 조사한 γ 값 0.05~0.22와는 많은 차이를 나타냈다. 또한 습도와 formaldehyde 농도관계는 Godish가 보고한 것과 같은 높은 상관관계를 나타내지 않았지만 γ 값이 0.246~0.999로 金 등이 조사한 -0.33~-0.47의 역상관 관계와는 많은 차이를 나타냈으며 잠실지하상가에서의 습도와 formaldehyde의 상관관계가 매우 낮게 나타난 것은 잠실지하상가 실외의 장소선정에서 문제가 있었던 것으로 판단된다.

본 연구로서는 실내오염정도를 파악하는데 formaldehyde 항목으로만은 미약하므로 실내 환경의 행정적 지침 마련과 실내오염의 정화대책을 위해 차후연구에서는 조사항목의 추가와

더욱 세밀한 연구를 해야 할 것으로 판단된다.

IV. 結 論

본 연구는 서울시내의 지하철역에 위치한 3개의 지하상가(양재, 반포, 잠실)와 지하철 2호선 구간을 대상으로 하여 1994년 1월부터 3월까지 월1회씩 formaldehyde의 오염도를 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 아래와 같다.

1. 지하상가별 평균 formaldehyde의 농도는 양재의 실내외에서 각각 77.8ppb, 68.4ppb, 반포의 실내외에 각각 175.8ppb, 127.3ppb, 잠실의 실내외에서 각각 135.2ppb, 34.6ppb로 나타났으며, 지하철 2호선 전철내의 평균 formaldehyde 농도는 105.6ppb로 나타났다.
2. Berge equation에 의해 보정한 평균 formaldehyde 농도는 양재의 실내외에서 각각 85.99ppb, 72.75ppb, 반포의 실내외에서 각각 254.17ppb, 138.14ppb, 잠실의 실내외에서 각각 249.13ppb, 36.87ppb로 나타났으며, 지하철 2호선 전철내의 평균 formaldehyde 농도는 131.73ppb로 나타났다.
3. 온도와 formaldehyde 농도의 상관관계는 $\gamma=0.831\sim0.974$ 로 높은 것으로 나타났다.
4. 습도와 formaldehyde 농도의 상관관계는 $\gamma=0.246\sim0.999$ 로 다양하게 나타났다.
5. 반포지하상가의 실내외와 잠실지하상가의 실내 그리고 지하철 2호선 전철내의 formaldehyde 농도는 ASHRAE에서 기준으로 하는 100ppb를 상회하고 있으므로 적절한 환기시설 및 정화시설이 切實하게 요구되며 특히, 반포 지하상가 외부(강남터미널

부근)의 적절한 교통량 분배가 요구된다.

V. 謝 辭

이 연구를 수행하는데 있어 많은 조언과 실험기자재를 제공해 주신 유영식 교수님과 최한영 교수님께 감사를 드리며, 또 시료포집을 하는데 적극적인 동참을 하여 준 임용래 선생님과 진영구, 정영기, 구본승, 이양주, 김대섭, 하성민 군에게 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

1. Richard A. Wadden and Peter A. Scheff, Indoor air pollution, John Wiley & Sons, p27, 1983.
2. Jonathan M. Samet and John D. Spengler, Indoor air pollution a health perspective, Johns Hopkins Univ., pp223~225, 1991.
3. 高光奭, 서울시內 一部 地下商街에서의 空氣中 Formaldehyde 濃度에 關한 調查研究, 서울大學校 保健大學院 碩士學位論文, pp1~2, 1988.
4. Hart, R.W., Terturro, A., and Neimeth, L., Report of the consensus workshop on formaldehyde, Environ. Health perspect, 58, pp323~381, 1984.
5. 상계서(1), pp27~30.
6. 상계서(2), pp237~244.
7. 상계서(3), p1.
8. 상계서(2), pp226~237.
9. Chester L. Leach, Steven G. Oberg, R. P. Sharma and David B.Drown, A nose - only inhalation exposure system for generation, treatment and characterization of formaldehyde vapor, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 45, 4, pp269~273, 1984.
10. James P. Lodge, JR., Methods of air sampling and analysis third edition, Lewis, pp274~278, 1988.
11. Thad Godish and Jerome Rouch, An assessment of the Berge equation applied to formaldehyde measurements under controlled conditions of temperature and humidity in a mobile home, JAPCA, 35, 11, pp1186~1187, 1985.
12. Thad Godish and Jerome Rouch, Mitigation of residential formaldehyde concentration by indoor climate control, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 47, 12, pp792~797, 1986.
13. Thad Godish, Residential formaldehyde sampling-current and recommended practices, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 46, 3, pp105~110, 1985.
14. 權禹澤, 地下商街 室內外 및 地下鐵의 Formaldehyde 汚染度에 對한 研究, 서울保健專門大學 論文集, 12, pp103~106, 1992.
15. 金潤信, 金美卿, 室內外 포름알데히드 濃度에 關한 調查研究, 韓國環境衛生學會誌, 15, 2, pp1~9, 1989.
16. 상계서(3), pp7~11.
17. 상계서(2), p5.
18. Henry d'A. Heck, Mercedes Casanova-Schmitz, Parker B. Dodd, E.Neil Sch-

achter, Theodore J. Witek and Tarik
Tosun, Formaldehyde(CH₂O) concentra-
tions in the blood of humans and fi-

rscher-344 rats exposed to CH₂O under
controlled conditions, Am. Ind. Hyg.
Assoc. J., 46, 1, pp1~3, 1985.