

PG1) 아파트 실내 환경에서 HONO 농도 측정 및 생성기작 연구 Determination of HONO Concentration and Investigation on Its Production Mechanism in an Indoor Environment of an Apartment

박승식 · 홍진의¹⁾ · 이재훈¹⁾ · 김영준¹⁾ · 조성용 · 김승재
전남대학교 환경공학과, ¹⁾광주과학기술원 환경공학과

1. 서 론

화석연료의 연소는 실내공기오염에 영향을 주는 가장 중요한 인자들 중의 하나로 인식되어 왔다. 기체연료 연소로부터 발생하는 실내 공기오염물질들은 NO₂와 다른 질소 화학종을 포함하며 실내 공기 질을 악화시키는 것으로 알려져 있다. 아질산(HONO)은 대기 광화학 스모그 생성에 중요한 OH 라디칼의 생성에 기여하는 물질로 알려져 있다. HONO의 산성도, 반응성, 및 수용액상의 용해도는 HONO의 잠재적인 인체 독성을 암시한다(Beckett et al., 1995). 따라서 HONO의 잠재적인 독성과 실내 HONO 오염원의 존재는 주거지역의 HONO 농도에 대한 측정의 필요성을 시사한다. 실내 HONO는 연소과정을 통해 직접 배출되기도 하지만, NO₂의 비균일 반응에 의해서도 생성되는 것으로 조사되었다(홍진의 등, 2007; Brauer et al., 1993). 집 내부와 다른 실내 환경에서 NO₂와 HONO의 동시측정결과에 의하면 HONO 농도는 환기 없는 연소 오염원이 가동 중인 실내 환경에서 높게 나타났으며, 시간 평균 HONO 농도는 대략 5-15ppb 수준이지만, 최고 HONO 농도는 100ppb 이상까지 측정되었다(Spicer et al., 1993; Brauer et al., 1990). 국내의 경우, 실내 HONO 측정에 대한 연구(홍진의 등, 2007)는 매우 부진한 상태에 있으며, HONO의 인체건강에 미치는 잠재적인 악 영향 때문에, 이에 대한 관리차원에서 실내 환경에서 HONO 측정 자료의 확보 필요성이 제기되고 있다. 또한 실내 HONO 농도의 일별변화 및 생성과정을 정확하게 규명하기 위해서는 24시간 기준의 측정보다는 시간분해도가 우수한 HONO 측정이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 많은 국민들이 거주하고 있는 아파트 실내에서 질소산화물(NO 및 NO₂) 및 HONO 농도를 거의 실시간으로 측정하여 실내 HONO의 생성 과정을 조사하고자 한다. 또한 가스레인지 상부에 설치된 환기 후드 팬의 작동여부가 연소과정 중 발생하는 오염물질의 실내 수준에 미치는 영향을 조사한다.

2. 연구 방법

본 연구에서 실내 HONO 농도 측정을 위한 실시간 측정시스템은 확산 스크리버 및 루미놀 화학발광 원리를 이용하며 측정 시간 분해도는 4분이다. 측정 시스템은 샘플링 부분, 자동 샘플주입부분, 및 분석 부분으로 구성되어 있다. 샘플링 부분에서는, 확산 스크리버가 HONO를 흡수하는데 사용되며 샘플주입 부분에서는 HONO가 일정시간간격으로 선택적으로 six-port 밸브에 의해 분석부분으로 주입된다. 분석 부분에서는, 원하는 물질인 HONO를 분석하기 위해 루미놀 화학발광법이 사용된다. 이 방법은 peroxyntrous acid(ONOOH) ($\text{HONO} + \text{H}_2\text{O}_2 \text{ (acidic medium)} \rightarrow \text{HONOO} + \text{H}_2\text{O}$)와 루미놀 반응물 ($\text{C}_8\text{H}_7\text{N}_3\text{O}_2$)과의 반응을 통해 생성된 화학발광의 원리를 이용한다(그림 1). 루미놀 반응을 통해 방출한 화학발광도가 광증폭관(PMT)을 통해 용해된 아질산염 농도로 정량화된다. 방출된 화학발광도의 파장은 약 350-650nm 범위에 존재하며, 화학발광 스펙트럼의 최고높이는 해석시스템의 신호로서 사용되는 전압(mV)에 의해 표현된다. HONO 측정시스템의 검출한계는 공 흡수용액 측정시그널의 표준편차의 3배 값으로 계산하였으며 120ppt이다. 또한 측정시스템의 분석 정밀도는 여러 HONO 농도범위에서 5% 이하로 계산되었다. 실내 HONO 측정은 광주광역시에 위치한 한 32평 아파트 실내 거실에서 2006년 6월 22일~6월 30일까지 수행되었다. NO와 NO₂는 미국 TEI사의 NO_x 측정 장비(모델 42C, 검출한계: 0.4ppb, 측정범위: 0-500ppb)에 의해 1분 간격으로 측정하였다.

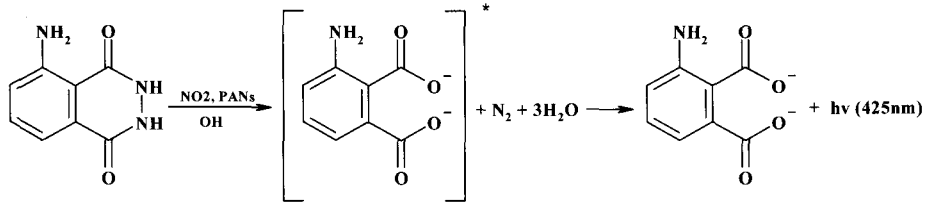


Fig. 1. Principle of chemiluminescence method of luminol reagent.

3. 결과 및 고찰

측정을 통해 구한 NO의 4분 평균농도는 0.4~214.3ppb(평균 4.3ppb), NO₂는 2.0~87.3ppb(평균 10.3 ppb), 및 HONO 농도는 0.3~7.7ppb(평균 1.8ppb)로 관측되었다. 표 1은 본 연구에서 측정된 NO₂와 HONO 농도를 기존의 다른 연구에서 얻어진 결과와의 비교를 나타낸다. 표 1에서 확인할 수 있듯이 실내 환경에서 HONO 농도는 확실하게 실내조건, 연소 오염원 존재 여부, 연소 오염원 종류, 연소시간, 측정주기 등에 의해 상당히 영향을 받음을 알 수 있다. 24시간 기준의 측정결과에 의하면 실내에 연소 오염원이 존재 시 HONO 농도가 높게 측정이 되었다. 실시간 측정결과(Brauer et al., 1990)에 의하면 24시간 기준의 측정결과와 유사하게 실내에 연소 오염원이 존재하는 경우에 높은 HONO 농도가 관측이 되었다. 본 연구를 통해 확인된 4분 평균 HONO 피크농도는 1.5~7.7ppb로서 본 연구와 동일한 아파트 실내거실에서 측정(홍진의 등, 2007)한 4분 평균 HONO 피크농도(9.3ppb)보다 약간 낮게 조사되었다. 이는 두 측정기간의 가스레인지 연소시간의 차이 때문으로 생각된다.

Table 1. Comparison of the results of NO₂ and HONO measurements to other studies.

Study	Combustion source	Measurement frequency	NO ₂ (ppb)		HONO (ppb)	
			peak	24-hr avg.	peak	24-hr avg.
Brauer et al. (1990)	No source	15 min	29	17	8	5
	Gas range	15 min	115	27	26	9
	Convective space heater	15 min	890-1020	187-231	105-106	41-42
Brauer et al. (1990)	No source	15 min	5.5	2.2	4.0	3.8
	Gas range	15 min	37	6.9	33	8.1
Brauer et al. (1991)	Unknown	24-hr	-	-	-	1-12
Spengler et al. (1993)	Gas range, stove, furnace	24-hr	-	60(24-115)	-	4.7(2-8)
Leaderer et al. (1999)	No source	24-hr	-	-	-	0.8(0.0-2.9)
	Gas stoves	24-hr	-	-	-	4.0(0.0-11.3)
	Kerosene heaters	24-hr	-	-	-	6.8(0.2-35.9)
	No source	24-hr	-	-	-	2.4(0.1-20.1)
	Gas stoves	24-hr	-	-	-	5.5(0.4-20.1)
Lee et al. (2002)	Gas range, etc	6-day	-	28(4.3-52.0)	-	4.6(0.1-21.1)
Hong et al. (2007)	Gas range	4-min	81.1	-	9.3	-
This study	Gas range	4-min	12.1-87.3	10(4.9-15.8)	1.5-7.7	1.7(0.7-2.6)

사 사

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(과제번호 R01-2005-000-10775-0) 및 광주과학기술원 환경모니터링 신기술 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

홍진의, 이재훈, 박승식 (2007) 실시 측정시스템을 활용한 실내 환경에서 HONO 농도 조사, 한국대기환

- 정확회지, 23(2), 191-202.
- Beckett, W.S. et al. (1995) Effect of nitrous acid exposure on lung function in asthmatics: a chamber study, *Environ. Health Perspect.*, 103, 372-375.
- Brauer, M. et al. (1993) Nitrous acid formation in an experimental exposure chamber, *Indoor Air*, 3, 94-105.
- Brauer, M. et al., (1991) Indoor and outdoor concentrations of inorganic acidic aerosols and gases, *JAWMA*, 41, 171-181.
- Brauer, M., P.B. Ryan, H.H. Suh, P. Koutrakis, and J.D. Spengler (1990) Measurements of nitrous acid inside two research houses, *Environ. Sci. Technol.*, 24, 1521-1527.
- Leaderer, B.P. et al. (1999) Indoor, outdoor, and regional summer and winter concentrations of PM₁₀, PM_{2.5}, SO₄²⁻, H⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, NH₃, and nitrous acid in homes with and without kerosene space heaters, *Environ. Health Perspect.*, 107, 223-231.
- Lee, K. et al. (2002) Nitrous acid, nitrogen dioxide, and ozone concentrations in residential environments, *Environ. Health Perspect.*, 110, 145-149.
- Spengler, J.D. et al. (1993) Nitrous acid in Albuquerque, New Mexico, homes, *Environ. Sci. Technol.*, 27, 841-845.