

## 산업단지 대기질 관리, HAP인가 VOC인가?

### Air Quality Management in the Industrial Estate, HAP or VOC?

김 영 성

한국과학기술연구원 환경연구센터

(1999년 4월 6일 접수, 1999년 6월 10일 채택)

Young Sung Ghim

*Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology*

(Received 6 April 1999; accepted 10 June 1999)

#### Abstract

Problems of secondary pollution and hazardous pollutants have rapidly come to the front in our society during the past few years. More attention should be paid to monitoring and assessment in order to identify the nature of complicated problems, but our air-quality policy is hurriedly seeking for management strategies. A typical example is air quality management in the industrial estates such as those located in Yochon and Ulsan. Yochon Industrial Estate was designated as a special air-quality management area of volatile organic compounds (VOCs) in 1996. And VOCs in the air of Ulsan Industrial Estate has been specially controlled since 1997. In this paper, however, it is suggested that hazardous air pollutants (HAPs) rather than VOCs should have been managed in the industrial estates. History of studies on organic compounds in the air of the industrial estates is reviewed. A stepwise approach for air quality management in the industrial estates is recommended.

**Key words** : industrial estate, volatile organic compound, hazardous air pollutant, ozone, risk assessment

#### 1. 서 론

여천산업단지는 길지 않은 우리나라 대기 중 유기화합물질 관측의 역사에도 불구하고, VOC (volatile organic compound)가 문제되는 것으로 인정됨에 따라 1996년 9월 대기보전 특별대책지역으로 지정되었다. 또한 1997년 7월부터는 이미 특별대책지역으로 관리되고 있던 울산·온산 및 미포 산업단지에 대하여 VOC 규제를 추가하였다. 환경백서에는 VOC 즉, 휘발성 유기화합물질을 그 자체가 독성을

지니고 있을 뿐 아니라 환경기준 물질인 오존을 생성시키는 위해한 물질로 규정하고 있다(환경부, 1998). 그러나 보다 정확히 표현하면 VOC의 일부 성분이 인체와 환경에 위해하고, 광화학 반응성이 낮은 일부 성분을 제외한 대부분의 VOC가 오존을 생성시킨다. 따라서 미국 EPA에서는 VOC를 오존 생성물질로써 NOx와 함께 관리하고, 헥산, 벤젠, 1, 3-부타디엔 등 위해 성분들은 다른 유해물질과 함께 HAP (hazardous air pollutant)으로써 관리하고 있다.

VOC를 오존 생성물질로써 관리할 때와 일부지

만 HAP으로써 관리할 때의 차이점은, 전자의 경우 전체 성분의 광화학 반응성과 NOx와의 균형이 중요한 반면, HAP으로써 관리할 때에는 위해한 개개 성분들이 중요하다. 오존 생성물질으로써의 VOC 관리는 그 지역의 오존 농도를 통하여 가늠되지만 유해 성분 관리는 해당 성분의 농도으로써 평가된다. 여천 등 산업단지의 VOC 관리는 위해성 때문인가, 아니면 고농도 오존 때문인가?

## 2. 우리나라의 오존

1990년대 전반 여천을 비롯한 여수, 동광양 지역은 우리나라에서 연평균 오존 농도가 가장 높은 지역이었다. 특히 봄, 가을의 오존 농도가 높았고 일변화 폭이 작았다. 이와 같은 사실은 통상 광화학 반응에 의하여 오존 농도가 상승할 때, 기온이 높은 여름철 낮에 최고 농도가 높고 밤에는 농도가 0에 근접하여 일변화 폭이 큰 것과는 상반된 현상이었다. 김영성(1996)은 분기별 농도 빈도 분포를 조사함으로써 봄철 30 ppb 농도 범위의 오존이 외부로부터 유입되었을 가능성을 제시하였다. 박원훈 등(1996)은 여천의 오존 농도가 제주 및, SO<sub>2</sub>, CO 등 여타 오염물질의 농도가 월등히 낮은 인근 청정지역과 유사한 변화를 보임에 따라 여천 지역의 봄철 오존 고농도가 산업단지(이하 '산단'으로 약칭) 배출에 의한 광화학 반응의 결과가 아닌 것으로 판단하였다. 또한 김영성 등(1998b)은 봄, 가을 여천과 동광양의 VOC 농도를 비교하며, 여천의 VOC 농도 변화가 극지적이어서 이들 지역의 전반적 오존 농도 변화와 관련되지 않는다는 지금까지의 결론을 뒷받침하였다.

1990년대 후반, 정도의 차이가 있을 뿐 우리나라 어느 지역을 막론하고 오존 농도가 상승하는 추세에 있는 오늘의 현실에서 여천산단의 VOC 배출이 여전히 이 지역의 오존 농도 변화와 무관하다고 말하기는 쉽지 않다. 그러나 다음의 사실들을 살펴볼 때 여천지역의 광화학 오존 저감을 위하여 이 지역

의 VOC를 특별 관리한다는 것은 어색하다. (1) 1994년 이후 여천지역에서 100 ppb 이상 고농도 오존 발생이 증가하고 있다고는 하나 서울, 수도권에 비할 바는 아니다. 1994년 8월 광화문의 322 ppb를 비롯하여 100~200 ppb의 고농도가 빈번한 서울, 수도권의 오존에 대하여서는 경보제, 예보제 외에는 특별한 대책이 없는 상황에서<sup>1)</sup> 일부 산업단지를 대상으로 한 VOC 특별관리는 균형이 맞지 않는다 (2) 여천지역의 오존 농도 상승은 최근 남서해안과 강원도 강릉 등 우리나라에서 상대적으로 오염이 덜한 남서-북동축의 오존 농도 상승, 서울, 수도권 중 비교적 청정지역에 가까운 관악산의 농도 상승, 그리고 1995년부터 측정이 시작된 제주, 목포, 서산 등의 높은 평균 농도와 연관되었을 가능성이 높다 (김영성, 오현선, 1999).

울산이 위치한 남동해안의 오존 역시 증가 추세에 있기는 하나 남서해안 보다 덜하고, 광화학 오존 논의가 시작된 1990년대 이래 대도시 부산을 제외하고는 주목을 받은 일이 거의 없다. 결국, 여천, 울산을 막론하고 광화학 오존을 위하여 산업단지 VOC를 특별 관리할 이유는 없으며, VOC를 관리한다면 VOC 중 위해 성분 때문이다. 이와 같은 사실은 안규홍 등(1996)이 VOC 중 위해 성분 측정결과를 발표한 이후 산업단지의 VOC가 문제되었음을 감안하면 더욱 분명하여 진다. 이미 언급된 바와 같이 우리나라의 광화학 오존은 지역 규모의 동북아 오염과 국지 오염, 여름철 강우 현상들이 결합되어 어려운 난제 중의 하나이다(김영성 등, 1998a). 이에 비하면 산업단지 유해오염물질은 전적으로 국지적 문제이고, 위해 성분만을 관리하면 되므로 오히려 간편하다. 그러나 최소한 위해 성분이 무엇인지는 파악하여야 한다.

## 3. 대기 중 유기화합물질 관리의 문제점

HAP이든 VOC든 우리나라 대기 중 유기화합물질 관리의 문제점은 크게 두가지로 요약할 수 있다.

1) "미국·일본 등 선진 외국의 경우에도 오존 오염에 대해서는 획기적인 저감 방안이 없기 때문에 그 피해를 최소화하기 위하여 오존 경보제를 이미 오래 전부터 도입·시행하고 있다 우리나라에서도." (환경부, 1998) 1998년 6월 환경부와 서울시가 경쟁적으로 발표한 휘발성 유기화합물 규제 대책과 차량 부세 실시는 현상대로는 효과를 거두기 어렵거나 역효과의 가능성이 있음을 다른 문헌에서 지적하였다(김영성 등, 1998a).

첫째, 절대적 측정 자료가 부족하다. 이는 일차적으로 우리나라의 대기 중 유기화학 성분 측정의 역사가 짧기 때문이다. 개별적으로 실시된 모든 측정까지를 파악할 수는 없으나 공개된 자료를 토대로 할 때 우리나라에서 대기 중 유기화학 성분 측정이 시작된 것은 1994년부터이다. 비슷한 시기에 백성욱 등(1997)이 가정, 사무실, 식당 등의 실내·외 공기 중 방향족 화합물질을 측정하였고, 안규홍 등(1996)과 박원훈 등(1996)이 여천지역을 대상으로 각기 위해성 관점과 광화학 반응 관점에서 VOC 성분을 측정하였다. 산단 지역을 대상으로 한 측정은 더욱 많지 않아, 여천산단을 대상으로 한 앞의 두 연구 외에 김용표 등(1997)과 나광삼 등(1998)이 G-7환경기술연구개발사업의 일환으로 1996년부터 여천산단과 울산, 온산 산단을 측정하고 있고, 문길주 등(1997)이 여천산단의 영향을 살피기 위하여 주변 마을 대기 중의 위해 성분을 조사한 것이 현재까지 발표된 자료의 전부이다.

앞에서 이미 전제하였던 것과 같이 광화학 반응 관점의 VOC 성분 조사는 그 영향이 간접적이고 또한 여러 요인들의 영향이 중복되어 있으므로 성분 조사 자체가 큰 의미를 지니지는 않는다. 반면, 위해성 관점의 유기화학물질 성분 조사는 개개 성분의 영향이 직접적이라는 점에서 절대적 의미를 지닌다. 그러나 안규홍 등(1996)에 의한 연구는 문제를 제기하였다는 측면에서 역할을 인정하여 논외로 한다 하여도, 6개월 여 동안 지속된 문길주 등(1997)의 연구는 인력 등의 투자에 비하여 기간이 너무 짧았고, 3개년 계획의 김용표 등(1997)과 나광삼 등(1998)의 연구는 기간에 비하여 투자가 너무 적다. 아직 두 연구 모두 보고서만이 제출되었거나 제출되고 있을 뿐 연구가 종결된 것이 아니므로 단정 지을 수 없다. 그러나 위해성 평가를 시도한 Chang 등(1997)이나 정 용 등(1997), 이진홍 등(1997)의 결과를 볼 때 여천으로 지역을 한정하더라도 의견이 일치된 가운데 통일된 결론을 이끌어 내기에 측정 자료가 너무 부족하고, 제한된 자료조차도 시간적으로나 공간적으로나 적절히 분포되어 있지 않다.

이는 결국 현재의 대기 중 유기화학물질 규제나 관리가 막연한 당위성에 근거하고 있을 뿐 과학적 현실에 의하여 뒷받침되지 못하고 있음을 의미한

다. 여천을 비롯하여 울산, 온산 지역의 대기 중 유기화학물질을 관리하게 된 이유가 위해성 때문임에도 이들 지역에 시행 중인 VOC 관리 대책은 유해대기오염물질에 대한 대책이기보다는 이름 그대로 광화학 오존 저감을 위한 VOC 저감 대책에 가깝다(장성기, 1997). 그러나 광화학 오존에 관계되는 VOC 성분이 포괄적이기는 하나 유해대기오염물질과 일치하지 않는 부분이 더 많음을 고려할 때 현재의 대책은 최소한 효율적이지는 않다. 정상적이라면 문길주 등(1997)과 같은 연구에의 투자가 과학적 필요에 의하여 엄선된 항목에 대하여 2~3년 이상 지속되어야 하며, 문제가 되는 물질을 파악한 후 대책이 시행되어야 하며, 적어도 대책의 시험적 실시와 함께 조사가 병행된 후 수정, 보완 과정을 거쳐 확정 시행되어야 한다.

둘째, 배출 조사와 유해오염물질의 농도가 높아진 원인에 대한 조사가 충분치 않다. 우리나라에서는 대기 중 유기화학 성분 측정과 함께, 박원훈 등(1996)이 미국에서 조사한 석유정제공장의 배출 자료를 이용하여 여천산단의 VOC 배출을 추정할 바 있다. 국립환경연구원에서는 문길주 등(1997)에 의한 정밀 조사사업의 일환으로 현장 답사와 누출 점검, 배출량 산정 모델을 이용하여 역시 여천산단의 VOC 배출을 추정하였다. 국립환경연구원의 추정은 방법론에 있어 박원훈 등(1996)보다 월등히 상세하고 체계적이나, 이들이 제시한 연간 배출량 2,100톤은 박원훈 등(1996)이 최소한으로 추정한 7,200톤의 30% 수준이고, 1월부터 3월까지 3개월 간, 29개 대형 배출 업소의 확인 가능한 시설만을 대상으로 함으로써 조사가 부분적이었을 가능성이 크다.

그러나 보다 근본적으로는 산단에서 유통되거나 취급되고 있는 유기화학물질에 대한 조사가 충분치 못하다. 안규홍 등(1996)은 여천지역을 대상으로 현장 방문을 통하여 미국 EPA에서 규정한 유독물질과 인화물질을 중심으로 43개 업체의 생산, 저장 및 제조과정의 화학물질을 조사하였으나, 이후 최덕일 등(1996)의 진계와 비교할 때 물질별 편차가 너무 크고, 공정의 특성상 명백히 포함되었어야 할 성분이 누락되는 등 검증이 필요한 상태이다. 현재로서 가장 신뢰할 수 있는 자료 중의 하나는 유해화학물질 관리법에 의하여 각 업체들이 매년 보고하여 집계되는 유해화학물질관리협회의 성분별 취급량이

다. 그러나 유해화학물질 관리법에 466개의 유독물과 101개의 특정 유독물이 명시되어 있음에도 대부분이 고체나 비휘발성 액체로 대기 중 유기화학 성분에 영향을 줄 수 있는 것은 소수이다. 현재 환경부 유해물질과에서 실시하고 있는 화학물질 유통량 조사가 집계되고, 이어서 화학공학회가 주관이 되어 시안을 마련한 유해화학물질 배출자료 (TRI, Toxic Release Inventory) 조사가 성공적으로 마무리된다면 상황이 나아질 수도 있으나 지금 말할 수 있는 단계는 아니다(이화영, 1999).

마지막으로, 지금이라도 산업단지 유해오염물질의 농도가 높아진 원인에 대한 조사가 진행되어야 한다. 정상적인 운전 조건에서 순수하게 비산 배출에 의하여 대기 중 유해물질의 농도가 높아진 것이라면 다소간의 차이는 있을 수 있으나 현재의 환경부의 조치와 본 연구에서 지금까지 언급한 내용들이 어느 정도 합당할 수 있다. 그러나 김영성 등(1998b)은 정상적 비산 배출이 아닌 부주의에 의한 부정기적 소규모 누출에 의하여 농도가 높아진 것일 수 있다는 가능성을 제기하였다. 부정기적 누출에 의한 것이라면 (1) 몇개 혹은 단일 성분의 농도가 독립적이고 이례적으로 높아야 하고, (2) 비교적 간단한 주의로써 농도 상승이 억제될 수 있어야 한다. 김영성 등(1998b)은 (1)의 조건에 따라 부정기적 누출의 가능성을 제기하였으나 후속 연구가 뒤따르지 않아 (2)의 변화를 확인하지 못하고 있다. 어쩌면 산업단지 대기 중 유기화학물질에 대한 현재 환경부의 시책은 안전사고 예방과 더불어 주의로써 해결될 수 있거나, 소수의 문제가 되는 유해 성분만을 집중 관리하면 충분한 사안을 가장 포괄적인 방법으로 접근한 것일 수 있다.

#### 4. 맺음말

유기화합물이라는 통칭에도 불구하고 실제로는 대기 중에 수백가지 성분이 존재하고 이들 대부분이 비산 배출형태로 배출된다는 점에서 유기화합물질은 관리에 특별히 유의하여야 한다. 여천 동 산단 지역의 일차적 문제는 위해성이므로 산업단지 대기 중 유기화합물질은 우선적으로 위해성 저감 차원에서 접근하여야 함에도 환경부의 대책은 대상이 훨씬 광범위한 광화학 오존을 목표로 한 듯한 인상을

주고 있다. 대기 중 유기화학 성분 측정의 역사가 짧고 배출 조사가 충분치 않다면 대책의 시범적 실시와 더불어, 문제가 되는 유해성분에 대한 조사와 이들 농도가 왜 높아지고 있는지에 대한 조사가 병행되어야 하며, 이들이 어느 정도 밝혀진 후에 대상 성분과 시설의 범위를 좁혀 대책을 확정 시행하는 것이 올바른 순서일 것이다.

## 감 사

본 연구는 환경 위해성 평가 및 관리기술 개발을 위한 G-7 환경기술연구개발사업과 한국과학기술연구원 자체 지원 사업의 일환으로 수행되었습니다. 연구비를 지원하여 주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김영성(1996) 1991~1993년 사이 우리나라의 오존 농도 변화, 한국대기보전학회지, 12, 55-66.
- 김영성, 오현선(1999) 우리나라의 오존농도 변화 추이와 주요 인자, 한국대기환경학회 추계학술대회, 10, 29-30, 관동대학교(발표예정).
- 김영성, 김용표, 심상규, 문길주(1998a) 우리나라 광화학 오존 연구의 현황과 과제, 문제점, 한국 대기보전학회 1998년도 추계학술대회, 11, 13-14, 영남대학교
- 김영성, 송철한, 심상규, 김용표, 문길주(1998b) 여천 공업단지 봄, 가을 대기 중 휘발성 유기화합물 농도 비교 연구, 한국대기보전학회지, 14, 153-160.
- 김용표, 이종훈, 진현철, 문길주(1997) 여천공단 대기 중의 입자상 및 기체상 이온성분과 유기화합물의 농도, 한국대기보전학회지, 13, 269-277.
- 나광삼, 김용표, 진현철, 문길주(1998) 울산 대기 중의 입자상, 기체상 물질의 수용성 이온 성분과 휘발성 유기화합물 농도, 한국대기보전학회지, 14, 281-292.
- 문길주, 심상규, 김영성, 김용표, 김종수, 김진영, 진현철, 나광삼, 한은선, 김태양, 김현진, 오현선, 이종훈, 이승복(1997) 여천공단 환경오염대책 마련을 위한 오염실태 정밀조사 사업(대기오염 분야), 한국과학기술연구원 보고서, 국립환경연구원.
- 박원훈, 문길주, 심상규, 김영성, 김용표, 정관영, 송철한, 김진영, 오현선, 박세욱, 김성주, 최대기(1996) 여천, 동광양 지역 광화학 오존 농도 상승 원인 조사,

- 한국과학기술연구원 보고서 BSI1602-5688-6
- 백성옥 (1997) 국내 각종 실내·외 환경에서의 휘발성 유기화합물의 오염실태 국내 VOC 관리의 현황과 문제점, 한국대기보전학회 측정분석분과회 워크샵, 9. 12, 경기대학교 제 3장.
- 안규홍, 김형수, 박갑성, 강구영, 심상규, D. Blake, 박종세, 황요하, 고철환, 김종관, 소창호, 이상권, 노경수 등 (1996) 여천공단 주변마을 환경영향 및 대책에 관한 연구, 한국과학기술연구원 보고서 BSG0524-5560-6.
- 이진홍, 김윤신, 류영태, 유인석 (1997) 석유화학단지의 휘발성 유기화합물로 인한 인체 위해도 평가에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 13, 257-267.
- 이화영 (1999) 유해화학물질 환경배출량 보고제도, 화학공업과 기술, 17, 4-5.
- 장성기 (1997) 국내·외 휘발성 유기화합물질 (VOC)의 관리 현황, 국내 VOC 관리의 현황과 문제점, 한국대기보전학회 측정분석분과회 워크샵, 9. 12, 경기대학교, 제 1장.
- 정 용, 신동천, 최용욱, 이종태, 임영욱, 박성은, 김명수, 김연제, 명승운, 이효민, 김윤신, 조명행 (1997) 여천공단지역의 환경오염으로 인한 건강위해성 평가, 연세대학교 환경공해연구소.
- 최덕일, 정일득, 이석조, 나진균, 신찬기, 류홍일, 최성수 등 (1996) 여천공단 주변 환경오염실태 현지조사 결과보고서 (1단계), 국립환경연구원.
- 환경부 (1998) 환경백서.
- Chang, Y -S., M.M. MacDoneli, Y.S. Ghim, and K.C. Moon (1997) Incorporating Community Concerns into the Inhalation Risk Assessment for an Industrial Area in Korea, *Focus on Environmental Communication, ASME Environmental Communications Committee*, December 2-3, Miami, FL, U.S.A.