

부산지역 강우 중 저비점 유기염소 화합물의 특성에 관한 연구

옥 곤

부경대학교 지구환경과학부
(1996년 11월 2일 접수)

Characterization of Low-boiling Point Chlorinated Organic Compounds into Precipitation in Pusan, Korea.

Gon Ok

*School of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea
(Manuscript received 2 Noember 1996)*

In order to grasp a characterization of low boiling point chlorinated organic compounds, this study which were carried out at the 8 stations for precipitation samples in the Pusan area during the period from February to September 1995.

As a result, low boiling chlorinated organic compounds were estimated that it was dissolved by a portion of precipitation, and it be able to shift at the surface of the each.

Concentration of low boiling point chlorinated organic compounds in precipitation are increased with increase of temperature. and estimated that air pollution compounds of as a rule in atmosphere.

Key words:Low boiling point chlorinated organic compounds

1. 서 론

과학기술의 발전과 산업화에 의하여 다종다양한 합성 화학종이 생산되어 왔다. 그 중에서도 특히 농약이라든지 열 매체로서 널리 이용되어 온 화학 물질이 인체에 영향을 미치는 것 뿐만 아니라 생물계를 중심으로 자연 환경의 변화에 많은 악영향을 미치고 있다는 것이 지적되고 있다.

그 중에서도 저비점의 유기염소계 화합물은 전자 산업과 금속 부품의 탈지제, 의복의 세탁용제, 공업용의 용매로서 널리 사용되어 왔다. 또 폐기물 등의 소각의 과정에서 생성되어 대기 중에 배출되고 있는 것으로 알려져 있다(松野武雄, 1986 ; 花井義道·加藤龍夫·井手敬善, 1986).

이들의 저비점 유기염소계 화합물들의 특성

은 비점이 낮고, 사용 중 또는 사용 후에 대기 중으로 비산되어 대기오염을 유발시키는 원인이 되고 있다. 또한 이들 화합물은 지표 부근 대기에서의 체류 시간은 짧지만 중층 대기로의 진입에 의하여 성층권 오존층 파괴의 원인이 되는 염소량에 많은 기여를 하고 있으며, 이들의 사용량의 증가에 의하여 지구적 규모의 오염 물질로서 지적되고 있다(沖典男·山崎富雄·吉岡昌徳·奥野年秀, 1989 ; 秋元肇, 1989).

그리고 이들 화합물은 대기 중에서 산화되어 독성이 강한 포스젠의 주요 생성 전구체로서 작용하여 포스젠(COCl_2)화 되는 것으로 알려져 있다 (Ota, T. and Mizoguchi, I.n, L., Shanahan, I., Sidebottom, H. W., Treacy, J. and Nielsen, O. J., 1990 ; Helas, G, Wilson et al., 1992)

최근, Kindler등[1995]의 연구 결과에 의하면 성층권에서 생성된 포스겐이 대류권으로 다시 되돌아와 구름에 의하여 급속히 제거되어 성층권에서의 반응의 감소 효과도 있는 것으로 알려지고 있지만, 실질적으로 성층권 오존의 감소에 이들 염소계 화합물이 차지하는 비중은 크며 그 중에서도 클로로포름이 25%, 트리클로로에탄이 3%정도 기여하고 있다고 보고하고 있다.

卷出등[1981]은 일본의 北海道에서부터九州에 이르기까지 해안 근방의 15지점을 선정하여 대기 중의 저비점 유기염소계 화합물의 대기 중 농도를 비교 분석한 결과 지역적인 특성이 있는 것으로 보고하고 있으며 수질오염과도 관계가 있는 것으로 지적하고 있다.

이와 같이 저비점 유기 염소 화합물이 대기 중으로 방출된 후 대기로부터의 제거 과정 중의 하나로서 강우에 의하여 지표에 되돌아올 가능성을 배제할 수는 없다.

奥野등[1984]은 일본의 고베시 도심부 강우 중의 저비점 유기염소계 화합물을 분석한 결과 그 중에서 클로로포름의 농도가 가장 높게 나타났으며 빗의 호수 수중의 농도 경향과 일치하고 있다고 보고하고 있다. 그 이유는 강수가 육수의 최대의 공급원이며 강수 중에 포함되는 할로젠 화합물이 지하수 중의 할로젠 농도에 영향을 미칠 수 있다고 설명하고 있다.

본 연구는 강수 중에 포함되어 있는 저비점 유기염소계 화합물을 분석하여 강우 현상에 따라 그 특성의 변화를 조사함으로써 저비점 유기 염소 화합물의 대기오염 정도를 강우로부터 예측할 수 있는 기초 연구 중의 하나로서 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 시료 채취 기간 및 조사 지역

시료의 채취 기간은 1995년 2월부터 9월까지의 8개월 동안으로서 강우가 있는 날을 대상으로 289시료를 채취하였으며, 조사 지역은 부산시의 전지역을 공업지역, 상업지역, 주택지역 및 그 외의 상업지역으로 분류하여 8지점을 선정하였다. Fig.1에 조사 대상 지역을 나타내었다.

2.2 강우 시료의 채취 및 분석

강우 시료 채취 장치는 초기부터 후기 강우까

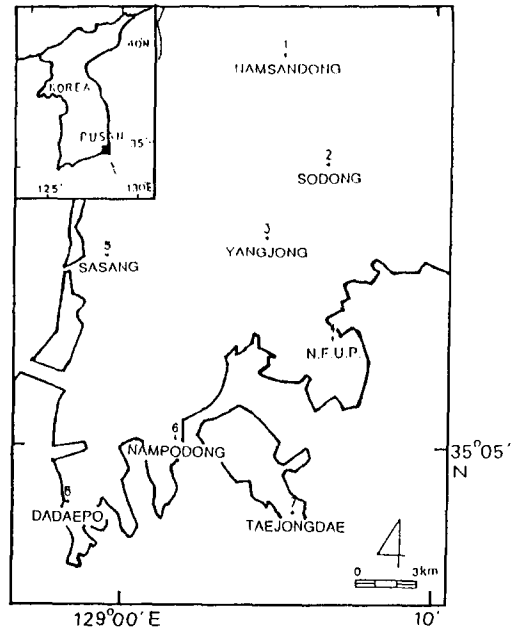


Fig. 1. A map of sampling sites.

지 6단계로 나누어 채취될 수 있도록 제작했다. 장치는 강우가 시작되면 자동적으로 덮개가 열려 강우가 채취되도록 구성되어 있다. 그리고 시료 채취 장치 내의 유입관은 PVC를 사용하였다. 강우 채취기 중의 시료 채취부는 105ml용량의 포집병 5개가 장착되어 있으며, 그 후단에는 2l 용량의 채취병을 사용하여 강우량에 따라서 교체할 수 있도록 했다. 105ml 채취병 상부에는 부유할 수 있는 구가 부착되어 있어 105ml이 되면 다음 병으로 강우가 유입될 수 있도록 구성되어 있음으로서 강우량에 따라 시료를 초기 강우와 후기 강우로 구분할 수 있게 되어 강우량에 따른 저비점 유기염소계 화합물의 특성을 파악할 수 있도록 되어 있다. 시료 채취 장치의 구성을 Fig.2에 나타내었다.

본 연구에서의 시료의 전처리 방법은 환경수 시료의 전처리 방법을 채택했으며, 일반적으로 환경수중의 저비점 유기 염소계 화합물의 분석에 이용되는 시료의 농축 조작 전처리 방법은 직접 농축법인 용매추출법과 흡착법을 들 수 있으며, 간접 농축법으로는 Head-Space법과 Purge-Trap법이 주로 채택되고 있다. 본 연구에 있어서는 간접 농축법인 Head-Space법을 채용하였다.

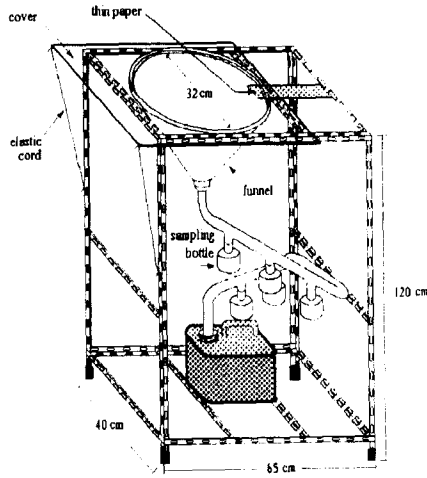


Fig. 2. Sampling apparatus of rainfall and dustfall.

우선, Head-Space용의 60ml 진공병을 150℃의 가열로에서 가열하면서 진공 펌프로 충분히 진공을 하였다. 완전히 진공상태로 됨으로서 진공병내의 오염 물질이 제거되게 하였다. 그후 이 진공병을 실온으로 냉각하고 강우 시료 30ml를 주사기로 주입한 후 질소 가스 30ml를 주입하여 대기압 상태가 되도록 하였다. 강우 시료 주입된 공병은 기액평형 상태가 되도록 25℃±1℃의 항온 수조에서 30분간 방치하여 그 기상 부분의 가스 1ml를 주사기로 분취하여 GC-ECD에 주입하였다.

본 연구에 사용된 가스크로마토그래피는 Shimadzu-14B였으며, 본 연구에서의 분석 대상 성분은 클로로포름(CHCl₃), 1,1,1-트리클로로에탄(C₂H₃Cl₃), 트리클로로에틸렌(C₂HCl₃)의 3성분으로 하였다. GC-ECD의 분석조건은 다음과 같다.

- GC-ECD : Shimadzu 14B
- Column : GS-Q 30m × 0.32mm i.d. × 0.25 μ m
- Col. Temp. : 130℃ hold
- Inj. Temp. : 200℃
- Det. Temp. : 280℃
- Inj. Method : Splitless
- Carrier gas : N₂ 40ml/min

3. 결과 및 고찰

3.1 시료 채취기 재질의 영향

본 연구 중에 사용된 시료 채취기 내의 유로관

이 PVC로 구성되어 있기 때문에 재질로부터의 저비점 유기염소계 화합물의 용출 가능성에 대한 검토를 실시하였다.

용출 시험 방법은 우선, 순수를 비이커에 넣어 가열하여 충분히 끓여 저비점 유기염소계 화합물이 존재하지 않도록 증발시킨 후 실온으로 냉각하였다. 그후 증발 처리한 순수 400ml에 황산을 가하여 pH를 5가 되도록 조절한 후 PVC관 100g을 넣어 용출 실험을 실시하였다.

용출 실험의 결과 24시간, 72시간, 168시간 이내에서도 분석 대상 성분은 검출되지 않았으며 2주 후의 경우에는 1,1,1-트리클로로에탄이 미량 검출되었지만, 실제의 우수 시료의 채취 과정에서는 우수가 채취관 내에서의 체류 시간은 수초 정도로 짧기 때문에 본 연구에서의 실제 시료 분석에 PVC로부터의 용출에 의하여 분석 결과에 미치는 영향은 없는 것으로 확인되었다.

3.2 강우량에 따른 각 단계별 성분 농도의 변화

Fig.2의 시료 채취 장치에서 알 수 있듯이 강우량별로 초기 강우와 후기 강우로 분류된 각 단계별에 따른 분석 대상 성분의 농도 변화를 그림 3에 나타내었다. 대기의 기온이 높은 8월의 경우에 있어서 교통량과 인구 밀집 지역으로서 생각할 수 있는 남포동과 도시의 중심에서 어느 정도 떨어진 남산동 지역에서의 각 단계별 클로로포름의 농도 변화를 비교해 보면, 남포동의 경우, 초기 강우인 1단계의 채취병에서는 7.48 μ g/l, 2단계의 채취병에서는 4.70 μ g/l, 3단계의 채취병에서는 3.86 μ g/l, 4단계의 채취병에서는 1.85 μ g/l, 5단계의 시료채취병에서는 10.87 μ g/l의 농도 변화를 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 이 지역에서의 강우 중 저비점 유기염소계 화합물의 강우량에 따른 농도 변화는 초기 강우로부터 서서히 농도가 감소한 뒤, 후기 강우의 5단계 채취 시료에서 농도가 증가하는 결과를 나타내었다. 한편, 남산동의 경우에는 같은 날의 강우 시료에서 초기 강우인 1단계의 채취병에서 클로로포름의 농도가 1.58 μ g/l, 2단계의 채취병에서 7.85 μ g/l, 3단계의 채취병에서 3.81 μ g/l, 4단계의 채취병에서 5.80 μ g/l, 5단계의 채취병에서는 1.83 μ g/l을 나타내었다. 남산동의 경우에는 남포동의 경우와는 다른 경향을 나타내고 있으며,

다른 지역에서의 분석결과치에서도 마찬가지로 각 단계별 농도의 변화는 일정한 양상을 나타내지 않았다. 또한 1,1,1-트리클로로에탄 및 트리클로로에틸렌의 경우에서도 같은 날 동일 지역에서 농도의 차이는 있지만 클로로포름과 마찬가지로 일정한 변화의 경향은 나타나지 않았다. 그림에서 알 수 있듯이 이들 두 지역에서의 강우량에 따른 강우 시료 중의 각 단계별 농도 변화의 경향은 분석 대상의 3성분이 동일 시료에서의 농도 변화는 유사성을 가지고 있으나 동일 성분이 각 지역에 있어서, 또 각 단계별의 강우량의 변화에 따른 유사성은 없는 것으로 나타났다. 이것은 강우량의 변화에 따른 희석 및 세정의 효과는 그다지 크지 않은 것으로 사료되며 강우량과의 상관성보다는 강우의 강도에 많은 영향을 받고 있다고 사료된다. 이것은 기-액 접촉의 강도가 이들 성분의 제거 과정에도 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.

또한 본 연구의 결과로부터 추정할 수 있는 것은 분석 대상이 되는 저비점의 유기염소계 화합물은 물리, 화학적 성질에 따라 대기의 기상 성분으로서 존재하고 있지만, 물과 공기와의 분배 계수를 고려하면 강우시에 가스상의 일부가 용해될 수 있다는 것을 나타낸다.

본 연구의 결과 이들 분석 대상 성분 중에서 강우 중 농도가 클로로포름이 가장 높은 농도를 나타내었으며 그 다음으로 1,1,1-트리클로로에탄, 트리클로로에틸렌의 순으로 나타났으며 이들 성분의 농도 차이는 화합물의 물에 대한 용해도와 실제 대기 중의 농도와 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 또한, 이들 화합물은 각 단계별 강우 시료에서 거의 검출되고 있는 것으로 보아 강우 현상에 의하여 대기 중으로부터 일시적으로 세정되는 것이 아니며 강우시에도 대기 중에서 기상 성분으로서 존재하고 있는 것으로 사료된다.

3.3 강우일에 따른 월별 농도 변화

강우일에 따른 농도 변화는 각 단계별 시료를 분석하여 그 총 농도로서 Fig.4에 나타내었다. 5월20일과 5월28일의 강우 시료에서 클로로포름의 농도 범위는 0.46~4.37 $\mu\text{g}/\text{l}$ 을 나타내었으며, 7월2일과 7월7일의 강우 시료에서의 클로로포름의 농도 범위는 0.95~3.73 $\mu\text{g}/\text{l}$ 을 나타내었으며, 8월10일과 8월30일의 강우시료 중

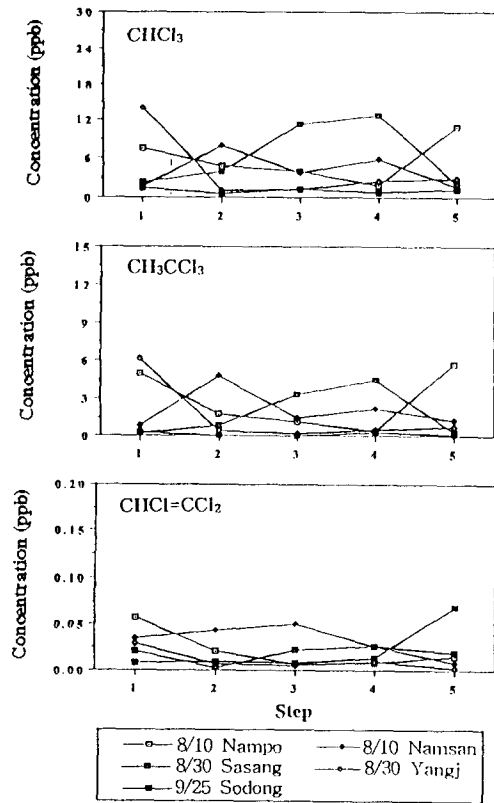


Fig. 3. Concentration variation of precipitation.

클로로포름의 농도는 1.15~9.85 $\mu\text{g}/\text{l}$ 을 나타내었으며 9월25일의 강우 시료에서의 클로로포름의 농도 범위는 0.83~2.47 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도 분포를 나타내었다.

그리고 1,1,1-트리클로로에탄의 경우에는 5월20일과 5월28일에 ND~0.14 $\mu\text{g}/\text{l}$, 7월2일과 7월7일의 강우 시료에서 ND~0.12 $\mu\text{g}/\text{l}$, 8월10일과 8월30일의 강우 시료에서는 0.03~0.26 $\mu\text{g}/\text{l}$, 9월25일의 강우 시료에서는 ND~0.03 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도 경향을 나타내었다. 또한, 트리클로로에틸렌의 경우에는 5월20일과 5월28일의 농도 범위는 0.014~0.093 $\mu\text{g}/\text{l}$ 을 나타내었으며, 7월2일과 7월7일의 농도 범위는 0.017~0.047 mg/l 을 나타내었으며, 8월10일과 8월30일의 강우 시료에서는 0.011~0.084 $\mu\text{g}/\text{l}$, 9월25일의 강우 시료에서는 0.006~0.034 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도 경향을 나타내었다.

이러한 농도 변화의 경향을 보면 5월~8월 사이의 기온의 증가와 더불어 강우 시료 중의 저비점 유기염소 화합물의 농도는 증가하는 경향을

나타내고 있으며 9월이 되면서 농도가 다시 감소하는 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 강우일에 따른 강우 중의 저비점 유기 염소 화합물의 농도는 5월에서 9월 사이에 8월이 가장 높게 나타나고 있으며 이것은 기온의 증가에 따라 이들 화합물이 대기 중으로의 비산량이 많아져 강우 현상시 대기 중 가스상으로서 존재하던 화합물의 일부가 용해되어 대기 중으로부터 제거되기 때문으로 사료된다.

3.4 각 지점별 농도의 비교

각 지점별 강우 중의 저비점 유기 염소 화합물의 농도 분포를 평균치로서 Fig.5에 나타내었다. 이들 화합물의 사용 분야는 광범위하며 대기 중의 농도는 지역적으로 차이가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에 있어서 클로로포름의 지역적 농도 분포를 보면 일시적으로 8월의 경우에 사상지역에서 강우 중 최고 농도가 $16.81\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도를 나타낸 경우도 있지만, 최저 $0.54\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도를 나타낸 경우도 있다. 그림에 나타낸 각 지점별 평균 농도에서 알 수 있듯이 사상지역이 평균 $3.93\mu\text{g}/\text{l}$ 로서 가장 높은 농도를 나타내었다. 이 지역은 공업지역으로서 유기 용제 등의 사용량이 많은 것에 원인이 있는 것으로 사료된다. 그 다음으로는 남산동으로서 평균 농도가 $3.30\mu\text{g}/\text{l}$, 대연동이 $3.04\mu\text{g}/\text{l}$, 남포동이 $2.93\mu\text{g}/\text{l}$, 태종대가 $2.56\mu\text{g}/\text{l}$, 양정이 $2.42\mu\text{g}/\text{l}$, 서동이 $2.31\mu\text{g}/\text{l}$, 다대포가 $1.80\mu\text{g}/\text{l}$ 의 순으로 나타났다.

또한, 1,1,1-트리클로로에탄도 마찬가지로 사상지역에서 가장 높게 나타났으며 그 평균 농도가 $0.17\mu\text{g}/\text{l}$ 이었다. 그 다음으로 대연동이 $0.096\mu\text{g}/\text{l}$, 남포동이 $0.087\mu\text{g}/\text{l}$, 양정, 서동 및 태종대가 각각 $0.069\mu\text{g}/\text{l}$, $0.064\mu\text{g}/\text{l}$ 및 $0.064\mu\text{g}/\text{l}$ 를 나타내었으며, 남산동과 다대포가 각각 $0.060\mu\text{g}/\text{l}$ 과 $0.059\mu\text{g}/\text{l}$ 의 순으로 나타났다.

그리고 트리클로로에틸렌의 경우에 일시적으로 최고 $0.27\mu\text{g}/\text{l}$ 을 나타낸 경우도 있지만, 평균적으로 지역적 농도 차는 그다지 나타나지 않았으며 평균적인 농도로서 $0.018\sim 0.039\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도를 나타내었다. 이 화합물은 금속 부품의 탈지 및 살충제, 의복의 세탁에 많이 사용되고 있으나, 지표 대기에서의 체류 시간은 다른 화합물에 비교하여 상당히 짧으며 중층 대기로의 진입

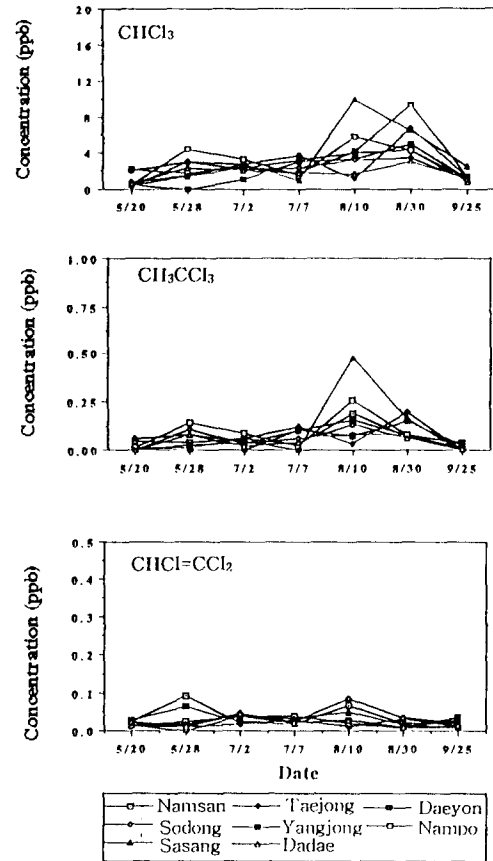


Fig. 4. Variation of mean concentration with rainfall day.

시 대기 중에서 비산 혼합되어 강우 중의 농도 차이가 그다지 크지 않은 것으로 사료된다.

이상의 분석 결과에서 알 수 있듯이 강우 중의 농도가 지역적으로도 사용량이 많은 공업지역등에서 일반적으로 높은 농도를 나타내고 있으며, 그 농도를 외국의 경우와 비교해 보면, 奥野 [1984]가 일본의 고베시의 도심부에서의 강우 시료를 분석한 결과 클로로포름이 $0.81\sim 5.56\mu\text{g}/\text{l}$ 의 분석치를 보고하고 있으며 강우 중의 이들 성분 중 클로로포름이 가장 높은 농도를 나타내고 있다고 설명하고 있다. 또한 1,1,1-트리클로로에탄의 경우에는 본 연구의 분석 결과치와 유사한 농도를 나타낸 것으로 보고하고 있다. 한편 前田 [1990]등이 일본의 쓰쿠바에 있는 위생원에서 강우 시료를 채취하여 분석한 결과와 외국의 독일과 영국의 분석 결과를 비교 검토한

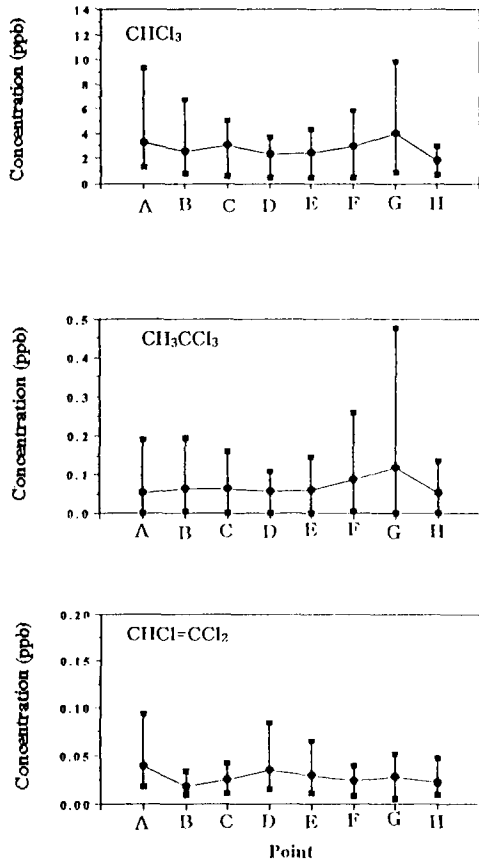


Fig. 5. Comparison of concentration in each point.

보고를 보면 일본의 경우, 1,1,1-트리클로로에탄의 농도가 최저 0.002 $\mu\text{g}/\text{l}$ ~최고 0.108 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 농도 경향을 나타내어, 기온의 저하와 더불어 농도의 감소 경향을 나타낸 것으로 보고하고 있으며, 독일의 경우에는 0.004 $\mu\text{g}/\text{l}$, 영국의 경우는 0.0014~0.004 $\mu\text{g}/\text{l}$ 으로 일본에서의 결과가 다소 높은 농도인 것으로 보고했다. 또한, 트리클로로에틸렌의 경우에는 前田의 분석 결과는 0.032~0.185 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이었지만, 독일에서는 0.004 $\mu\text{g}/\text{l}$, 스위스에서는 ND~0.1 $\mu\text{g}/\text{l}$, 미국의 경우에는 0.00078~0.0015 $\mu\text{g}/\text{l}$, 영국의 경우에는 0.00045~0.015 $\mu\text{g}/\text{l}$ 의 분석치로서 일본이 다소 높은 농도를 나타내었다고 설명하고 있으며, 이들의 농도와 본 연구에서의 농도를 비교하면 일본의 경우와는 그다지 농도의 차이는 크지 않지만 유럽의 일부 국가와의 농도차는 있는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 나라별 또는 지역적으로 발생

원으로부터의 사용량과 기온 등의 변화에 따른 휘발 비산량의 차이가 있기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구의 결과 대기 중의 저비점 유기염소계 화합물이 강우량에 따른 희석 및 세정 효과에 대한 일정한 경향은 나타나지 않았으나 대기 중 농도의 일부가 강우에 용해되어 대기 중으로부터 제거 과정을 거쳐 지표로의 이행 가능성이 확인되었다. 또한, 인위적으로 사용되어 방출된 저비점 유기염소계 화합물은 대기 중의 가스상 오염물질 중의 항상성 성분의 하나로서 광범위하게 분포하고 있으며 기온의 변화에 기인하여 기온이 높은 하절기에 대기 중으로의 휘발 비산량이 많아 가장 높은 농도를 나타내어 계절적 변화를 확인하였다. 그리고 강우 중의 저비점 유기염소계 화합물의 분석에 있어서 시료의 전처리법으로서 Head-Space법과 GC-ECD를 사용하여 분석이 가능하다는 것이 확인되었다.

감사의 글

이 연구는 한국학술진흥재단의 신진교수과제 연구 과제번호 E0051의 지원에 의해 이루어졌으므로 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 松野武雄, 1986, 環境中のトリクロロエチレン, 테트라클로로에틸렌及び 1,1,1- 트리 클로로에탄. 横浜國立大學環境科學研究 센터-紀要, 13, 9~13
- 花井義道、加藤龍夫、井手敬善, 1986, ゴミ焼却施設における鹽素化合物の生成課程に關する調査研究, 横浜國立大學環境科學研究 센터-紀要, 13, 37-49
- 沖典男、山崎富雄、吉岡昌徳、奥野年秀, 1989, オトサンプル-を用いた大氣中の ハロゲン 化炭化水素の測定, 兵庫縣 立公害研究所研究報告, 21, 53-58
- 秋元肇, 1989, 地球的規模の大氣汚染-成層圏オゾン層破壊と地救温暖化-, 大氣汚染 學會誌, 24(5, 6), 146-152
- 卷出義일、金井 豊、富永健, 1981, 大氣中のハロカ-ボン類の超微量分析, 日本化學 會誌., 1, 133-144
- 奥野年秀, 1984, 低沸点ハロゲン化炭化水素に

부산지역 강우 중 저비점 유기염소 화합물의 특성에 관한 연구

- よる環境汚染, 兵庫현? 立公害研究所 研究報告, 16, 23-34
- 前田恒昭、藤田昌彦, 1990, パージトラップ/キヤピラリー-GC/ECDによる降水中低沸点塩素化合物の分析, 島津科学計測ジャーナル, 2(4), 150-155
- Helas, G., Wilson, S. R., 1992, On sources and sinks of phosgene in the troposphere, *Atmos. Environ. Part A.*, 26(16), 2975-2982
- Kindler, T. P., Chameides, W. L., Wine, P. H., Cunnold, D. M. and Alyea, F. N., 1995, The fate of atmospheric phosene and stratospheric chlorine loadings of its parent compounds : CCL_4 , C_2CL_4 , C_2HCL_3 , CH_3CCL_3 , and CHCL_3 , *J. Geophysical Research.*, 100(D1), 1235-1251
- Nelson, L., Shanahan, I., Sidebottom, H. W., Treacy, J. and Nielsen, O. J., 1990, Kinetics and mechanism for the oxidation of 1, 1, 1-trichloroethane, *Int. J. Chem. Kin.*, 22, 577-590
- Ota, T. and Mizoguchi, I., Determination of the mechanism of the oxidation of the trichloromethyl radical by photolysis of chloral in the presence of oxygen, *Int. J.*
- Singh, H. B., 1976, Phosgene in the ambient air, *Nature.*, 264, 428-429
- Tuazon, E. C., Atkinson, R., Aschmann, S. M., Goodman, M. A. and Winer, A. M., 1988, Atmospheric reaction of chloroethenes with the OH radical, *Int. J. Chem. Kinet.*, 20, 241-265
- Wilson, S. R., Crutzen, P. J., Schuster, G., Griffith, D. W. T. and Helas, G., 1988, Phosgene measurements in the upper troposphere and lower stratosphere, *Nature.*, 334, 689-691