

CFC, 오존파괴의 主犯인가

CFC의 성층권 오존층 파괴여부 논쟁활발

関 英 基

(경희대 자연대교수/본지편집위원)

이 글은 미국의 과학잡지 'Science' (6월11일자)에서 발췌, 편역한 것임. <편집자>

염소불화탄소(CFC)가 성층권의 오존을 파괴하고 있다는 증거가 확실해지고 있음에도 불구하고 이 이론을 제기하고 있는 과학자들은 그들의 이론과 주장에 대한 대중의 비판에 시달리고 있다.

작년 6월 미국 매사추세츠공대(MIT)의 대기화학자인 마리오 모리나(Mario Molina)가 브라질 리우 데자네이로에서 열렸던 환경 정상회의에 앞서 열린 과학포럼에서 오존결핍에 관해 30분짜리 연설을 하도록 계획되어 있었다. 모리나는 1973년 그가 캘리포니아대학 어빈캠퍼스의 화학자인 셔우드 로우랜드(Sherwood Rowland)와 함께 성층권에서 CFC가 분해되어 염소를 방출하고 방출된 염소는 오존분자를 파괴할 것이라는 이론을 제시한 이래 오존연구에 있어 제1인자로 알려져 왔다. 그럼에도 불구하고 그는 그의 연설 바로 전에 있었던 엉뚱한 연설에는 잘 대비하지 못했다. 즉, 브라질의 한 기상학자가 만장한 과학자들에게 오존파괴이론은

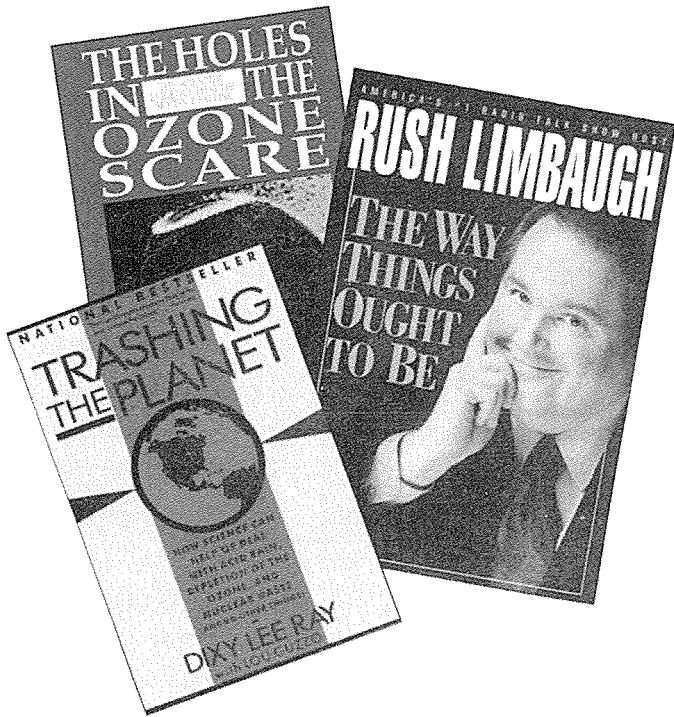


속임수라고 주장했다. 그는 『바다의 소금, 화산 그리고 생물자원의 연소에서 발생하는 염소가 성층권으로 상당량 올라가기 때문에 CFC는 오존층에 괄목할 만한 효과를 줄 수 없다』고 말했다.

이러한 예기치 못한 주장에 모리나는 말문이 막혔다. 사실은 그 기상학자의 주장이 지난 수년간 과학계에서 논쟁을 불러왔던 주제로서 이미 그러한 주장이 옳지 않은 것으로 판명되었다고 여기고 있던 모리나에게는 그의 연설은 의외의 도전이었다. 그럼에도 불구하고 모리나는 『그 친구가 반 시간동안 한 연설을 내가 똑같은 반 시간의 설명으로 청중들에게 그의 주장이 옳지 않다는 분위기를 갖도록 돌아서게 할 수는 없다. 만약 충분한

시간이 주어진다면 나는 그의 반대 주장을 조목조목 반박할 수 있을 것이다. 그의 주장은 합리적인 것같이 들린다. 그러나 그것은 사이비 과학이다』라고 말했다.

모리나가 겪은 이러한 경험은 최근 오존결핍을 연구하는 과학자들 대부분이 겪는 것으로 그들에게는 익숙한 일이다. 오존파괴에 대한 메커니즘(특히 남극에 연례적으로 나타나는 오존구멍에 대한)이 점점 명백해지지만 과학자들은 그들이 가는 곳에서만 그들의 이론에 근거가 없다는 공격적 비판에 직면하고 있다. 예를 들어 보수적인 이야기쇼의 진행자이고 요즘 베스트셀러 서적인 「사건이 이루어져야 할 길(The Way Things Ought to Be)」의 저자인 러쉬 림보우(Rush Limbaugh)는 CFC에 의한 오존의 파괴이론은 속임수라고 끊임없이 주장하고 있다. 전 워싱턴주 지사이고 원자력위원회 위원장이며 동물학자인 디시 리 레이(Dixy Lee Ray)도 그녀의 책 「행성을 쓰레기로(Trashing the Planet)」에서 똑같은 주장을 하고 있다. 저명한 잡지인 월



◇오존논쟁을 일으킨 책들

스트리트 저널과 내쇼날 리뷰는 교통부의 전 수석과학자였던 싱거(S.Fred Singer)의 「오존결핍 이론에 구멍을 뚫자」는 요지의 평론을 신기도 했다. 과학과 과학소설을 함께 출판하는 1백만부가 넘는 발행 부수를 가진 「옵니(Omni)」지의 지난 6월호에는 오존연구가 정치적인 동기를 가진 사기극임을 폭로할 것을 요구하는 특집 기사를 실고 있다.

이러한 질타가 세계의 지도적 대기 연구자들을 흔들리게 하지는 못했다. 그러나 최근 비판론자들이 언론의 기사를 지배하면서 「과학자들이 CFC의 오존 관계설에서 후퇴하고 있다」는 내용의 기사가 주요 언론에 실리고 있어 과학자들은 새로운 도전에 직면하고 있다. 그러한 예로 최근 워싱턴 포스트지는 1면에 CFC의 생산을 전 세계적으로 제한하는 몬트리얼 의정서에 관해서 『이 문제는 연구자들이

합해서 더 크게 의치고 있다고 선언하고 있다. 이미 오래전에 해결되었다고 많은 과학자들이 믿고 있는 오존전쟁이 다시 일고 있는 셈이다.

지금 대기과학자들이 당면하고 있는 그들에 대한 반격이 의미하고 있는 것은 그들이 연구하는 분야가 아직도 많은 과학적 불확실성을 가지고 있고 또 정치적으로도 뜨거운 문제임을 나타내고 있다. 하버드대학의 대기화학자인 앤더슨(Jim Anderson)은 『대중은 오존의 파괴가 일어나서 이에 대한 아무 희망도 없이 공포에 떨거나, 그렇지 않으면 오존의 파괴가 대량으로 일어나지 않아 전연 문제가 되지 않는다고 여기거나 하는 두가지 중 한쪽을 선택해야 하는 입장에 놓여 있다. 진실은 물론 그 사이 어디에 있을 것이다.』라고 피력하고 있다.

대기과학자들은 정치적으로 팽팽한 줄위를 강제로 걸기를 강요받고 있

심각한 피해가 있었다거나 지금 피해가 일어나고 있다는 확고한 증거도 포착하기 전에 먼저 규제부터 제정하게 만든 것으로 나타나고 있다.』는 기사를 실고 있다. 문선명 목사 소유의 보수계 신문인 워싱턴 타임즈는 포스트, 사이언스 그리고 다른 주요 간행물들이 오존결핍에 대한 위기론자들의 외침을 무시하는 데 목소리를

다. 그들은 재난의 잠재성을 보도하는 위험을 저지르던가, 과학적으로 보수적인 시나리오를 제시하여 그들의 비판자들이 아무 문제가 없어 더 이상 관심을 갖거나 연구할 필요가 없다는 반응을 나타내게 하던가의 두가지중 하나를 선택해야 할 입장에 놓여 있다.

림바우는 그의 여러 이야기쇼와 베스트셀러의 서적을 통해서 오존결핍의 시나리오와 연구진들을 가장 강력하게 비판하는 사람이다. 그가 말하는 소위 「오존사기(詐欺)」는 불필요한 연구비를 획득하려는 자기 도취적인 과학자들이 만들어낸 사기라고 과학자들을 비난하고 있다. 『과학자들은 항상 더 많은 연구비를 원해왔고 오늘날에는 정부에서 지원받기를 원하고 있다. 미 항공우주국의 우주개발 계획도 축소되고 있는 마당에 대기중에 염소의 양이 늘어났다고 해서 연구비를 늘려야 하는가? 우리는 분명히 이 문제도 연구해야 한다. 그러나 먼저 진실을 일반에게 알려야 한다.』고 그는 기술하고 있다.

림바우는 그의 주장에 대한 정보를 레이의 책 「행성을 쓰레기로」에서 얻고 있고, 레이는 오존의 결핍에 관한 정보를 싱거와 마두로(Rogeloi Maduro)의 저술에서 얻고 있다. 지질학의 석사학위를 가진 마두로는 「21세기 과학과 기술(21st Century Science & Technology)」지의 편집장이다. 마두로는 독일 작가 샤우어햄머(Ralf Schauerhammer)와 공동으로 저술한 「오존 위협의 구멍(The Holes in the Ozone Scare)」이란 책에서 성층권 염소의 기원에 관해서 길게 논하고 있다. 이 논평에서 그들은 자연 발생된 염소의 양이 CFC에 의해서

생긴 양보다 훨씬 많다고 주장하고 있다. 림바우가 소개한 오존결핍의 반대 논의의 요점은 간단하다. 즉, 그들은 『피나투보산이 폭발했을 때 방출된 오존파괴 화학물질의 양은 역사를 통해서 부도덕적이고 잔인하고 무감각적인 회사들이 제작한 모든 불화탄소의 양보다 천배이상이나 된다. 그럼에도 불구하고 오존파괴는 거의 일어나지 않았다. 또한 여러 화산들이 수십억년 동안 염소를 내뿜고 있음에도 오존은 지금까지 존재해 왔다.』고 말한다. 이에 대해서 대기과학자들은 『이러한 주장은 이미 중점적으로 연구되었고 그것이 사실이 아님이 판명되었다.』고 맞서고 있다.

이 문제에 대한 마두로의 논쟁은 이것으로 그치지 않고 『옴니』지에 실린 기사의 정보원(情報源)이 되기도 했다. 여기에 한술 더 떠서 「21세기 과학과 기술」지는 마두로 논점을 인용해서 몬트리얼 의정서의 파기를 청원하는 청원서를 과학자들에게 돌리고 있다. 이 청원서에 서명한 약 12명의 미국 과학자들 중에는 텍사스 농공대학(Texas A & M)의 노벨상 수상 화학자인 바턴(Derek Barton)과 콜로라도대학의 명예교수 벡크만(Peter Beckmann)도 있다. 바턴은 『나는 가상의 문제에도 겁을 먹는 사람중의 하나이기 때문에 서명했다. 나는 오존의 구멍과 전세계의 온난화는 넌센스라고 생각한다.』고 설명하고 있다. 「에너지에의 접근(Access to Energy)」이라는 뉴스레터를 편집하는 벡크만은 그의 정보 대부분을 마두로의 책에서 얻었다고 한다. 그는 『마두로가 그의 책에서 아주 좋은 자료를 발표했지만 불행하게도 그는 믿을 만한 사람은 아니다.』라고 말하고 있

다.

많은 대기과학자들도 마두로의 책 「오존 위협의 구멍」의 일부를 읽었다고 한다. 과학자들은 『이 분야의 전문가가 아닌 독자들이 어떻게 이 논쟁에 휘말리게 될 수 있었는가를 이 책으로부터 알 수 있었다.』고 말한다. 대기화학자 앤더슨은 『그들의 전술의 일부는 문제를 명확히 파악하지 못하고 데이터도 제대로 보지 못했지만 표면적으로는 책임있는 과학자들을 자기쪽으로 끌어들이려는 것이다.』고 주장하고 있다. 그러한 예로 국립과학재단의 한 관계자가 있다. 그는 『나도 이 책을 읽었는데 근거있는 이야기이다.』라고 소감을 말하고 있다.

반면, 이 분야 연구에 직접 참여하는 학자들은 이 주장은 시대에 뒤떨어진 과학논문을 선별적으로 사용해서 만들었거나 종종 문맥과는 상관없이 과학적 결과를 임의로 선택해서 만든 것이라고 주장한다. 그들의 최종 결과는 상식적인 것같이 보이지만 그 과정에서 과학적인 감각을 잃고 있다고 과학자들은 말하고 있다. 예를 들면, 오존 반격에 관한 미국과학협회(AAAS)의 연례회의에서 요즘은퇴한 로우랜드(Sherwood Rowland) 회장은 그의 연설에서 마두로의 책을 『이 분야의 모든 저질 논문을 수집하는 데 훌륭한 업적을 보인 책』이라고 불렀다. 이에 대해서 마두로는 『로우랜드와 그의 동료과학자들은 오존파괴이론의 요체를 뒤엎는 모든 중요한 연구를 조직적으로 무시해왔다.』고 반격하고 있다.

레이가 인용한 기사를 쓴 싱거조차도 염소의 자연 발생에 관한 마두로와 샤우어햄머의 주장을 반박하고 그들을 「새빨간 거짓말장이」라고 부르

고있다. 싱거는 오존결핍이론은 전체적으로 아직도 불확실한 점으로 점철되어 있는 것으로 믿고 있다. 그러나 그는 그 자신을 이 논쟁에 있어 「중간 어느 곳」에 있는 것으로 기술하고 있다. 대부분의 대기과학자들은 싱거가 데이터를 이해하고 관련된 과학자들과 대화를 모색하려는 노력을 하고 있다고 보고 있다. 싱거도 그가 한때 자연 발생된 성층권 염소가 인간에 의해서 만들어진 염소의 양을 압도한다고 믿었으나 데이터를 보고 나서는 확신을 갖게 되었다고 한다.

그럼에도 불구하고 비판자들과 논쟁을 벌이려는 과학자들은 곧 그들 자신이 이길 수 없는 위치에 있음을 발견하게 된다. 그 이유는 마두로와 림바우가 과학자들을 가리켜서 그들이 인정된 이론에 반하는 어떤 발견도 무시하거나 묻어버리려는 엄청난 음모에 참여하는 사람들의 일부라고 말하고 있기 때문이다. 예를 들면, 마두로와 샤우어햄머는 오존결핍이론을 주장하는 사람들이 오존연구에 관한 사실을 고의적으로 은폐하려 하고 있고, 이들이 지금 고위직에 있어서 과학잡지와 학회, 궁극적으로는 대중의 의견을 지배하는 힘을 가지고 있다고 비난하고 있는 사실이다. 대부분의 대기과학자들이 CFC에 의해서 오존결핍이 생겼다는 기본적인 발견에 동의하는 것은 음모가 얼마나 광범위하게 확산되었는가를 보여주는 증거로 생각되어지고 있다고 그는 말하고 있다.

과학자들은 이와 같이 왜곡되고 정치적인 분위기하에서는 과학적 연구에 최선을 다하고 올바른 대중정책을 추천하기도 어렵다고 토로하고 있다.

스탠포드대학의 대기모델 전문가인 스테판 슈나이더(Stephen Schneider)는 이 문제를 『파괴이론 옹호자들의 과장, 정치적인 흥미의 제물, 모든 것을 권투시합의 승부에 걸리는 언론매체의 기호, 이 더러운 일에 초연해서 방관자로 앉아 있으려는 동료연구자들 사이에 걸린』 것이라고 기술하고 있다.

아마도 연구계에 가장 해학적이고 당혹스러운 일은 목소리가 큰 비판자들이 오존결핍과학의 불확실한 점에 초점을 맞추고 있다는 점이다. 그들은 『성층권에서 CFC의 수준은 증가하고 있고 염소의 수준 또한 이에 비례해서 올라가고 있음은 잘 알려진 사실이다. 또한 남극의 오존구멍이 염소가 주체가 되는 화학작용에 의해서 일어남도 확실한 사실임』을 강조하고 있다.

그럼에도 불구하고 대기과학자들은 에너지부 대기화학프로그램의 오존계획 평론지 1993년 1월호에 실린 대로 현재의 세계적인 오존변화에 대한 지식은 불확실성으로 가득차 있다는 사실을 자유스럽게 인정한다. 이러한 불확실성증에는 북반구의 오존결핍이 자연적인 변화로서 대기순환에 따라 생기는 변화인가, CFC에서 나온 염소 때문인가, 또는 이 둘의 합쳐진 효과 때문인가 하는 것 등이 포함된다. 또 다른 중요한 불확실성은 이러한 오존의 결핍이 지표상의 자외선 플럭스를 측정할 만큼 증가시켰느냐 하는 것이다. 이 문제에 관한 유일한 연구는 1988년 「사이언스」지에 당시 국립암연구소의 스코트(Joseph Scotto)가 발간한 것이다. 이 연구에서 그는 미국의 8개 지점에서 자외선 광의 증가가 나타나지 않았으며 오히

려 조금 감소한 것으로 나타났다고 보고하고 있다. 그러나 그가 사용한 기기는 연도에 따른 변화를 측정할 수 있도록 만들어진 것은 아니었던 것으로 알려졌다.

이제 모든 사람이 공감하는 것은 더 많은 연구가 이루어져야 한다는 것이다. 현재 무엇을 해야 하느냐 하는 것은 과학정책적인 문제이다. 대비책을 마련하고 규정을 만들 만큼

성층권 염소의 기원에 대한 과학적 논쟁

오존 고갈에 대한 공공연한 논쟁의 초점은 성층권에서 염소불화탄소(CFC)의 역할이 자연 발생된 염소의 역할에 비해서 보잘 것 없다는 주장에 맞추어지고 있다. 만약 그것이 사실이라면 대기과학자들이 주장하는 대로 염소가 오존을 파괴하고 있지 않음을 의미한다. 왜냐하면 자연 발생된 염소는 태고때부터 성층권에 존재해 왔으나 오존층은 아직도 그곳에 있기 때문이다.

이러한 주장은 마두로와 샤우어햄머가 쓴 책에서 제시되었고, 전에 원자력위원회 위원이었던 레이와 이야기 쇼 사회자인 림바우에 의해서 알려지게 되었다. 그 후 이것이 지금 대기과학자들에 가해지는 반격의 근원이 되고 있다. 이 주장은 아주 간단하다. 즉, 마두로와 샤우어햄머의 계산에 따르면 매년 6억톤의 염소가 바다물에서 대기로 증발

하고, 화산으로부터는 3천6백만톤, 생물자원(biomass)의 연소로부터는 8백40만톤, 그리고 바다생물로부터는 5백만톤이 성층권으로 올라간다고 한다. 이에 반해서 CFC가 대기로 올라가는 양은 1년에 75만톤밖에 되지 않는다. 그러나 대기과학자들은 숫자를 따질 필요도 없이 이 염소의 대부분이 오존층에 영향을 줄 수 있는 성층권에 도달한다는 사실에 이의를 제기할 수 있는 이론적이고 관측적인 근거가 있다고 이러한 주장에 반론을 펴고 있다.

미 항공우주국(NASA) 랭글리연구센터의 콜리스(Linwood Callis)는 이 논쟁에 있어 하나의 결정적인 점을 지적하고 있다. 자연 발생된 염소는 물에 용해되므로 대기의 하층부에 있는 염소는 비에 녹아서 지상으로 내려온다는 것이다. 반면, CFC는 용해되지 않는 비활성화합물로 성층권까지 도달하여 염소를 방출한다. 무엇보다도 성층권 화학의 관측에 따르면 자연적으로 발생된 염소는 성층권의 염소함량을 크게 증가시킨다는 아이디어는 옳지 않다는 것이다.

UCLA대학의 대기화학자 터코(Richard Turco)에 따르면 만약 바다 소금이 성층권까지 올라갈 수 있다면 하부 성층권에 소금에서 분해되어 생긴 나트륨이 있어야 한다. 『그러나 그것이 거기 없다』고 터코는 딱 잘라

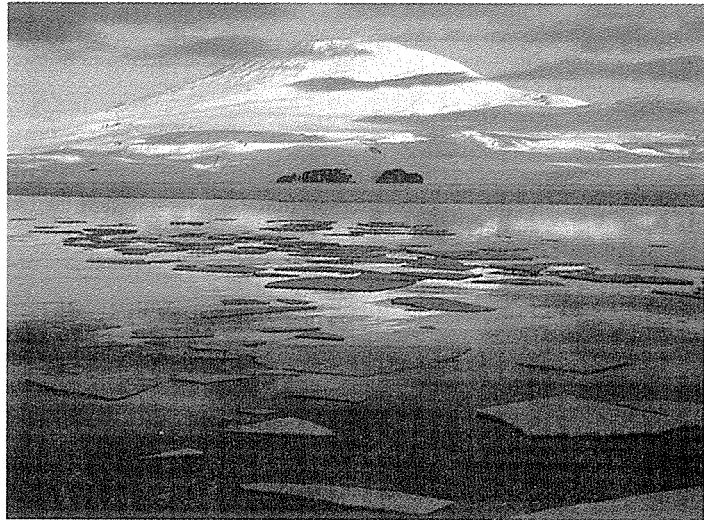
확실한 사실을 알려주는 연구는 무엇인가? 이러한 문제는 미국 에너지부(DOE)의 오존계획 평론지에 잘 기술되어 있다. 즉 『한편으로는 성층권과 세계적인 대류권의 오존변화에 대한

최근의 경향은 어느 정도 인류학적인 충격을 줄 것으로 나타나고 있다. 만약 이것이 계속되도록 그냥 내버려둔다면 광범위하고 수용 불가능한 위험을 초래할 것이다. 다른 한편으로는

현재 제안된 규제노력은 심각하고 쉽게 받아들여질 수 없으며 사회경제적인 충격을 가져왔고 또 앞으로 가져올 것이다.』

이 시점에서 어떤 대응책이 취해져

말하고 있다. 생물자원의 연소에서 발생된 염소도 상당히 중요하다. 그러한 염소는 염화메틸에 함유되어 있다. 마두로와 샤우어햄머는 1979년 「네이처」지에 발표된 대기화학자 크루첸(Paul Crutzen)과 그의 동료들의 논문을 인용한다. 이 논문에서 그들은 생물자원의 연소로 방출되는 염화메틸의 양은 매년 적어도 42만미터톤에 이를 것으로 추산하고 있다. 그들은 생물자원의 연소가 크루첸이 계산한 것보다 훨씬 많을 것이라는 근거에서 총량을 이 숫자의 20배 한 것으로 추산하고 있다. 그러나 크루첸 자신은 이 염소들이 성층권까지는 올라가지 못한다고 말하고 있다. 위성에 의해서 측정된 데이터는 성층권의 염소중 20%만이 염화메틸의 형태로 존재함을 밝히고 있어 크루첸의 말을 뒷받침하고 있다. 더 나아가서 크루첸과 함께 연구에 참여했던 국립해양대기국(NOAA)의 로버트(Jurgen Lobert)는 오늘날 전세계 생물자원의 연소에 대한 가장 정확한 추산에서 성층권에 있는 총 염화메틸의 1/4만이 생물자원 연소로부터 생긴 것이고 이 양은 전체 염소량의 5%밖에 되지 않는다고 한다. 물론 이것도 무시 못할 양이다. 그러나 CFC에서 생긴 양에 비하면 아무 것도 아니다. 이에 대해 림바우 등은 바다물과 생물자원이 성층권 염소의 주요원인이 아니라 하더라도



◇남극 오존 구멍을 일으킨 염소를 분출해 왔다고 생각되는 에레버스산. 대기화학자들은 이 주장이 근거없는 것이라고 말하고 있다.

CFC가 원인일 수 없는 또 다른 원인이 있다고 지적한다. 그것은 일반적으로 화산, 특히 1973년부터 계속 폭발하고 있는 남극의 화산인 에레버스산(Erebus)산이라고 주장한다.

화산 이론은 미국 지질조사소의 화산학자인 고 존스톤(David Johnston)이 「사이언스」지에 1980년 발표한 논문에서 제기되었다. 그는 알래스카에서 1976년 폭발한 오그스타인(Augstine)이 성층권으로 염화수소(HCl)를 17만5천톤 공급했다고 계산하고 있다. 그러면서 그는 70만년전 캘리포니아의 롱 밸리 칼데라의 비슈터프화산 폭발 때에는 1975년 전세계 산업계가 방출한 불화탄소에 함유된 염소량의 약 5백70배에 해당하는 2억 8천9백만톤의 HCl을 성층권으로 뿜어냈을 것으로 계산하고 있다.

레이는 그녀가 쓴 책 「행성을 쓰레기기로」에서 존스톤의 추산을 채택하고 이 엄청난 존스톤의 숫자를 1976년의 세인트 오거스틴산 폭발에 잘못 적용하고 있다. 또한 림바우는 레이의 이러한 틀린 주장을 인용하여 한술 더 떠서 비슷한 숫자를 피나투보산 폭발에 적용하고 있다.

에레버스산에 대해서 마두로와 샤우어햄머는 미시건공과대학의 로즈(William Rose)와 그의 동료가 1985년 「네이처」지에 발표한 논문을 인용하고 있다. 로즈 등은 이 논문에서 에레버스산은 매일 1천톤 이상의 염소를 내뿜는다는 추산을 했다. 마두로와 샤우어햄머는 『간단히 말해서 남극에서 측정된 염소는 이상할 것이 하나도 없다. 에레버스산은 끊임없이 염소를 비롯한 여러 가지 화산 가스의 거대

야 하느냐에 대한 의견은 당연히 다양하다. 예를 들어 싱거는 『과학적인 연구가 아직 상당히 불확실하고 오존 결핍이 가져올 해로운 효과가 잘 알려져 있지 않은 상태에서 몬트리얼

의정서가 너무 빠르게 통과되었다』고 비난하고 있다. 에너지부의 오존계획의 책임자인 패트리노스(Ari Patrinos)는 다른 많은 과학자들과 같이 대응책을 취할 필요가 있다고 싱

거와는 반대 의견을 제시하고 있다. 그는 『대기는 하나다. 그래서 우리는 때때로 보수적인 대응책도 마련해야 한다』고 대응책의 필요성을 옹호하고 있다.

한 구름을 내뿜고 있다』고 기술하고 있다.

대기과학자들은 이에 대해서 에레버스산은 비록 높이가 1만4천피트지만 남극의 성층권 바닥보다 수 킬로미터 낮다. 그리고 에레버스산은 성층권으로 염소가 올라갈 수 있을 만큼 폭발적으로 가스를 분출하지 않는다고 반박하고 있다. 미 항공우주국의 스톨라스키(Rich Stolarski)는 『에레버스산에서 올라오는 가스의 버섯구름 높이는 산 정상으로부터 0.5 킬로미터 정도밖에 되지 않는다. 대부분은 그 정도도 올라가지 못하고 옆으로 흩어진다』고 말한다. 그뿐 아니라 1985년 『네이처』지에 발표된 논문의 공동저자인 카일(Philip Kyle)은 『에레버스산은 최초로 보고된 양의 1/24인 1만5천톤의 염소를 매년 방출할 뿐』이라고 최근 발표하고 있다.

싱거는 오존파괴이론의 일부분에 대해서 회의를 제기했고, 이것이 비판자들에 의해서 그들의 주장을 정당화시키는 데 인용되었었다. 그러한 그마저도 화산에 대한 논쟁은 논쟁을 위한 논쟁이라고 일축하고 있다. 그는 『화산에 관한 문제는 데이터에 근거해서 결정되어야 한다』고 말하고 있다. 현재까지는 화산으로부터 성층권으로 방출되는 양에 대한 직접적인 실험 데이터를 얻는 탐사로부터 얻어진 결과는 화산이 비교적 미미한 역할을 할

뿐이라는 것이다.

미국 국립대기연구센터의 맨킨(Bill Mankin)과 커피(Michael Coffey)는 1982년 엘 치천의 폭발에서 방출된 가스의 표본조사를 했다. 그들에 따르면 성층권 구름중 HCl의 양이 다른 곳에 비하여 대략 40%에 상당하는 양적 증가가 나타났다고 한다. 이는 전세계적인 성층권 염소의 10% 증가를 나타내는 것으로 HCl가 매년 5% 증가하는 것에 비하면 상당히 큰 것이다. 그러므로 엘 치천이 2년동안에 성층권에 염소가 쌓이게 한 것같이 보인다. 비슷한 측정이 1991년 4월 피나투보산의 폭발 후에도 시도되었다. 그러나 맨킨에 따르면 이 화산에서 방출된 구름의 성격상 정확한 측정은 어려웠지만 이 화산도 HCl를 방출했는데 그 양은 엘 치천보다 적거나 비슷한 것으로 나타났다.

지구 전체적인 양에 있어서는 대기과학자들은 1985년 우주왕복선에 실려 올라간 ATOMS 측정기가 측정한 결과를 지적하고 있다. 이 기기는 CFC를 비롯해서 이것이 분해되어 생기는 물질까지 30여종의 분자를 측정하여 성층권의 전체 염소의 양을 결정했다. 항공우주국 랭글리센터의 린스랜드(Curtis Rinsland)에 따르면 염소는 성층권의 하층부에서 CFC에 묶여 있고 예측된 CFC의 파괴로 생기는 HCl와 불화수소(HF) 등의 부산물들은 오존

이론이 예측한대로 성층권의 상층부에 묶여 있었다고 한다.

린스랜드와 그의 동료들이 킷피크 천문대에서 관측한 결과와 리에즈대학의 대기물리학자인 젠더(Rodolphe Zander)와 그의 동료들이 스위스 알프스의 관측소에서 관측한 결과는 HCl과 HF가 킷피크에서는 과거 20년동안, 그리고 스위스 알프스에서는 40년동안 증가한 것으로 기록되어 있다. 두 결과 모두가 이 두 분자가 대기에서 서서히 증가했고 증가율은 HF가 HCl보다 지속적으로 높았음을 나타내고 있다. 이들중 HCl는 자연에 발생원인이 있을 수도 있으나 HF는 거의 전적으로 CFC의 광분해에 의해서 생성된다. 이러한 증가를 감시하여 HF와 HCl의 비율이 변하지 않으면 성층권의 HCl와 불소가 같은 물질, 즉 CFC로부터 생성되었다고 말할 수 있다.

싱거도 이제 젠더, 린스랜드 그리고 그의 동료과학자들이 성층권에서 염소와 불소의 양을 주의 깊게 추정했음을 인정하고 있다. 그는 이것이 적어도 한 가지는 분명하게 해주고 있다고 말한다. 그는 『CFC가 성층권의 염소를 만든 주범이다. 나는 출판된 데이터로부터 이러한 확신을 갖게 되었다』고 말하고 있다. 이것이 사실이라면 오존층이 오랫동안 많은 양의 염소에 견디면서 파괴되지 않았다는 비판자들은 그들의 근거를 상실하게 되는 셈이다.