

잎의 可視的 被害에 따른 오존에 對한
미류나무(*Populus deltoides*) 클론間 感受性 比較¹

李在千^{2*} · 金仁植² · 呂珍基² · 具永本²

Comparing of Clonal Sensitivity of *Populus deltoides* to
Atmospheric Ozone with Use of Visible Foliar Injury¹

Jae-Cheon Lee^{2*}, In-Sik Kim², Jin-Kie Yeo² and Yeong-Bon Koo²

요 약

오존 환경에 클론간 감수성을 비교하기 위하여 미류나무(*Populus deltoides* Marsh.) 10클론을 walk-in type인 4개의 chamber에 대조구, 50ppb, 100ppb, 150ppb 등 4가지 처리로 하루 8시간씩 21일간 계속하여 노출한 후 조기 낙엽율과 잎의 가시적 피해를 조사하였다. 조기 낙엽율은 처리전과 비교할 때 저농도에서 고농도 순으로 처리농도에 따라 점진적으로 증가하여 150ppb 처리구에서는 50% 이상의 높은 낙엽율을 보였다. 잎의 가시적 피해는 대조구와 50ppb 처리구에서는 나타나지 않았으나, 100ppb 처리구에서는 피해잎 출현율(LA)은 17.3%, 피해면적(AA)은 6.5%로 본당 전체 피해율(LAA)은 1.6%로 나타났고, 150ppb 처리구에서는 피해잎 출현율 34.1%, 피해면적 17.5%로 전체 피해율 7.4%를 보였다. 잎의 가시적인 피해현상이 나타난 100ppb와 150ppb 처리구에서는 클론간에 피해의 차이를 보여 수종내 클론간의 감수성 차이를 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

Experiments were conducted to compare ozone sensitivity among clones. Ten clones of *Populus deltoides* Marsh. were exposed in walk-in type chambers to charcoal-filtered air, 50ppb, 100ppb, and 150ppb ozone for 8h day⁻¹ for 21 consecutive days. Occurrence of premature leaf-fall, and visible foliar injury expressed as adaxial stipple were measured after termination of ozone exposure for 3 weeks. Rate of premature leaf-fall increased progressively according to ozone exposure levels. As a result, rate of premature leaf-fall was estimated over 50% at 150ppb ozone. In the charcoal-filtered air and 50ppb ozone treatments, visible foliar injury was not found. But injury was estimated as LA; 17.3%, AA; 6.5%, and LAA; 1.6% to 100ppb ozone treatment and LA; 34.1%, AA; 17.5%, and LAA; 7.4% to 150ppb ozone treatment. Clonal differences of sensitivity within the species were manifested by significant clone differences of adaxial stipple(LAA) in 100ppb and 150ppb ozone treatments

Key word : *Populus deltoides*, walk-in chamber, visible foliar injury, premature, sensitivity, adaxial stipple, ozone, clone

¹ 接受 2000年 8月 3日 Received on August 3, 2000.

審査完了 2001年 2月 9日 Accepted on February 9, 2001.

² 임업연구원 임목육종부 Department of Tree Breeding, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea.

* 연락처 E-mail : jaeclee99@foa.go.kr

서 론

대기권의 오존은 산림생태계에서 임목의 활력이나 임산물 생산에 영향을 미치는 대기 오염원중 단일 오염원으로서 가장 치명적인 영향을 미치는 오염원으로 알려져 있다(Skelly, 1980). 오존은 직접 대기 중에 배출되지 않으나 공단지역이나 대도시와 같은 오염원 밀집 지역에서 배출된 일차 오염원들이 전조하고 높은 기온 조건에서 강한 태양광선과 광화학 반응으로 인하여 고농도로 형성된 후 기압골 영향을 받아 먼 거리를 이동하는 특성 때문에 오염원에서 멀리 떨어져 있는 산림지역에 까지 도달하여 피해를 준다(Comrie, 1994; Hayes and Skelly, 1977).

오존에 의한 잎의 가지적 피해증상은 임목에서도 침엽수와 활엽수간에 차이가 있다. 특히 활엽수에서는 피해증상이 뚜렷하여 일찍부터 제어된 환경내에서 다양한 조건으로 많은 수종들을 대상으로 실험을 하였으며 피해증상으로 초기에 잎 표면에 조그만 검은 반점(axial stipple)이 나타나 점점 확대되면서 조직을 괴사시키고 나아가 잎 두께에 영향을 미칠뿐 아니라(Berry, 1971; Harward and Treshow, 1975; Bennett 등, 1992) 엽육세포의 치사량은 잎의 가지적 피해와 직결되며 엽내 오존축적과 밀접한 상관성이 있는 것으로 밝혀졌다(Evans 등, 1996).

일부지역 산림감소의 주된 요인이 대기오염원 중에서도 오존이라고 인식한 미국에서는 오존에 대한 연구를 중점적으로 실시하고 있으며, 경제적으로 주요한 수종을 대상으로 인위적으로 제어된 환경 조건에서 수종간이나 수종내 가계간 혹은 클론간의 내성을 비교하는 연구(Kress and Skelly, 1982; Simini 등, 1992; Davis and Skelly, 1992)와 생장과 생리적 반응(Wiselogel 등, 1991; Coleman 등 1995; Fredericksen 등, 1996b; Kull 등, 1996)에 관한 연구 등을 실시하였다. 한편 대기중의 오존 농도가 증가함에 따라 오존에 민감한 수종들은 자연상태에서도 잎의 가지적 피해증상을 보여 일부 국립공원의 피해실태나(Chappelka 등, 1997), 종자를 공급하는 채종원의 현지 피해조사를 실시하여 내성 클론을 선발하기에 이르렀으며(Lee 등, 1999) 아울러 피해현상을 구체적으로 이해하기 위하여 나무의 크기에 따른 주변의 미기상이나 환경조건과의 관계를 구명하는 연구(Edwards 등, 1994; Fredericksen 등, 1995, 1996a)도 진행되고 있다.

우리 나라에서도 대기 중 오존농도가 '90년 이후 완만한 증가추세로 서울시에서 처음으로 1995년 7월부터 오존 경보제를 실시하여 인체 및 생활환경의 피해를 최소화하고, 대기오염에 대한 시민의 동참을 유도하는 한편 오존 저감대책에도 힘쓰고 있는 실정이다(서울특별시, 1998a, b). 최근 우리 나라 전체 오존의 환경기준 초과 현황을 보면 1시간 기준인 100ppb 초과 횟수는 1998년 532회에서 1999년 728회로 36.8% 증가하였으며, 8시간 기준인 60ppb 초과 횟수는 522회에서 1999년 1,019회로 95.2%나 크게 증가하였다(환경부, 2000). 이미 오존의 유해성을 인식하여 많은 연구가 수행되고 있는 선진국과는 달리 상대적으로 대기 중 오존농도가 낮았던 국내에서는 오존이 수목에 미치는 영향을 연구한 결과로 생리적 반응에 관한 연구가 주를 이루고 있으며 노출농도에 따른 가지적 피해율을 조사한 연구는 미진한 실정이다(김현석과 이경준, 1995; 김종욱과 김준호, 1995; 우수영, 1998).

본 연구에서는 우리 나라에서도 대기 중 오존농도가 점진적으로 증가되어 민감한 일부 수종에서는 오존의 피해가 예측되는 만큼 먼저 실내검증으로 노출농도를 달리하였을 때 처리농도별로 조기 낙엽율과 잎의 가지적 피해율을 조사하여 오존이 수목에 피해를 줄 수 있는 오존노출 농도에 따른 피해반응과 같은 처리농도에서도 종내 클론간 서로 다른 내성변이를 확인함으로써 내성 개체 선발의 가능성을 규명하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

본 실험에 사용한 미류나무 10클론은 임업연구원 임목육종부 채수포에서 1999년 3월 초순 직경 1.5-2.0cm 내외의 가지를 채취하여 길이 15cm로 삼수를 조제하였다. 퍼얼라이트와 피트모스를 1:1(v/v)로 혼합한 배양토를 2ℓ 포트에 채우고 클론당 40개씩 총 400개(40개/클론 × 10클론)의 삼수를 포트에 삼복하여 임목육종부 환경제어실내의 자연광 은실 내에서 실험에 사용할 때까지 온도 25±2℃와 습도 60±10% 조건을 유지하며 포트의 상태에 따라 관수를 하였다.

2. 오존발생장치

오존은 여과장치를 통과한 대기중의 공기에서 산

소를 취하여 ozone generator(Model H450, Harim Engineering, Inc., Korea)에서 corona discharge 방식에 의하여 발생시킨 후 활성탄과 Furafil® 이 혼합된 zero air system(Model 701, API, Inc., USA)을 통과한 공기와 혼합되어 gas exposing system(Model H800, Harim Engineering, Inc., Korea)에 의하여 각 chamber로 보내지며, 각 chamber내의 오존농도는 photometric O₃ analyzer(Model 400, API, Inc., USA)에 의하여 측정되어 설정된 농도가 유지될 수 있도록 PWM(Pulse Width Modulated)방식을 이용하여 컴퓨터에 의하여 자동 제어되었다. 측정기의 기계적인 오차를 줄이기 위하여 1주일 간격으로 calibration을 실시하였다. 모든 측정된 값은 컴퓨터로 전송된 후 HARE 600 data logger(Harim Engineering, Inc., Korea)에 3초 간격의 평균값으로 저장하였다.

3. 오존처리

환경변화의 충격을 완화하기 위하여 오존처리 1주일전 각 클론별로 40본 중에서 생장이 고르고 활력이 있는 20본씩 총 200본(20본/클론×10클론)을 먼저 선발한 후 4개의 처리구별로 각각 클론당 5본씩 총 50본(5본/클론×10클론)을 chamber내로 옮겼다. Chamber는 walk-in type으로 16.2m² (3m×3m×1.8m)인 인공광형실로 처리기간 중 550μ mol m⁻²s⁻¹의 광조건과 온도 25±1℃, 습도 60±5%를 유지하였다. 흡입구와 배출구에는 여과필터와 카본필터를 삽입하여 외부로부터 오염된 공기가 chamber내로 유입되는 것을 막았으며 chamber에서 오염된 공기가 대기 중으로 직접 배출되는 것도 차단하였다. 처리는 대조구로 사용하기 위한 clean room과 50ppb, 100ppb, 150ppb 등 4가지 농도로 제어하였으며 실험 기간 중 실측값은 clean room은 5ppb 이하의 농도를 보였으며, 3처리구에서는 평균 3-5ppb 내외의 오차를 보였다. 오존처리는 오전 9시부터 오후 5시까지 하루 8시간씩 9월 6일부터 9월 26일까지 3주간 계속하여 실시하였다.

4. 피해조사

1) 낙엽율

처리전 조사한 잎 수와 3주간 처리 후 잔존 잎 수를 조사하여 다음과 같이 낙엽율=(처리 전 잎 수-처리 후 잎 수)/처리 전 잎 수×100의 식에 의하여 계산하였다. 시험기간 중 신초의 생장으로 개

엽(開葉)되어 잎 수가 증가되는 개체도 있었으나 일부에 지나지 않아 이번 조사에서는 고려하기 않고 최종 잎 수만을 조사하였다.

2) 잎의 가시적 피해

오존의 피해증상 중 잎 표면에 나타나는 검은 반점(adaxial stipple)을 대상으로 조사하였으며, 이 증상이 잎 표면에서 차지하는 비율을 백분율로 환산하였다. 피해면적을 환산하는 과정에서 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위하여 먼저 PC 프로그램(Forest Health Expert System)을 통하여 환산 능력을 배양한 전문가에 의하여 수행되었으며, 피해율은 Horsfall-Barratt의 등급에 따라 조사하였다(Horsfall and Barratt, 1945; Nash 등, 1992). 즉 한 나무의 전체 잎 중 피해 받은 잎의 비율(LA)를 구한 다음, 피해 받은 잎 중 피해면적의 비율(AA)을 구하였다. 한나무 전체의 피해율(LAA)은 다음과 같이 LAA(%)=LA×AA/100의 식을 사용하여 계산하였다(Lee 등, 1999).

5. 통계처리

자료분석은 SAS를 사용하여 ANOVA(GLM)을 실시하고, 유의차가 인정되는 경우 유의수준 5%에서 Duncan's multiple range test를 통해 비교하였다(SAS, 1985).

결과 및 고찰

1. 오존 처리구별 잎 수

오존 처리전 각 처리구별 평균 잎 수는 18개 내외로 처리구간 유의성이 없었으나 3주간 처리 후에는 농도가 증가할수록 잎 수가 급격히 감소하여 처리구간 유의성이 인정되었다(Figure 1). 처리구 내 클론간에도 처리 전에는 변이가 심하여 잎이 많은 클론은 잎이 적은 클론의 2배 가까이 되었으나 처리 후에는 조기 낙엽율이 증가하면서 고농도에서는 처리구내 클론간 잔존 잎 수의 변이 폭이 감소하였다(Table 1).

오존처리 후 100ppb 처리 구에서는 79-IL-07클론이 50.5%의 감소율을 보였으며 79-IL-04클론과 79-21-01클론도 50%와 48%로 처리 전에 비해 절반으로 감소하였다. 반면 낮은 낙엽율을 보인 클론은 79-IL-16클론으로 16.2%에 불과하였으며 79-13-04클론과 79-13-10클론도 26.3%와 27.5%의 감소율을 보였다.

Table 1. Number of leaves of *P. deltooides* clones at initial and final exposure to different ozone concentrations for three weeks.

Clone	Initial exposure				Final exposure			
	Control	50ppb	100ppb	150ppb	Control	50ppb	100ppb	150ppb
79-IL-10	19.2bc (2.16)	20.8b (2.77)	20.2bc (2.77)	21.4b (1.51)	18.6b (2.07)	16.4b (3.36)	13.0a (1.58)	10.2a (1.30)
79-21-01	25.0a (4.30)	24.8a (2.38)	24.6a (3.43)	24.6a (1.51)	24.0a (4.63)	21.2a (3.42)	12.8a (0.83)	9.4ab (1.14)
79-IL-16	17.0bc (1.58)	16.2c (2.94)	14.8d (1.30)	17.0c (1.41)	16.2b (2.16)	12.8bc (1.92)	12.4a (1.34)	9.2abc (1.30)
79-13-04	12.0d (0.70)	16.2c (3.63)	16.0d (3.16)	15.0c (4.06)	11.6c (0.54)	13.0bc (3.67)	11.8a (2.38)	9.0abc (1.00)
79-14-02	17.6bc (1.14)	17.4bc (1.14)	18.0cd (0.00)	17.4c (1.34)	17.0b (1.87)	13.0bc (1.22)	12.6a (1.81)	9.0abc (0.70)
79-IL-18	17.4bc (2.07)	18.0bc (1.58)	20.4bc (3.20)	17.2c (1.48)	17.0b (2.54)	12.8bc (2.38)	12.8a (1.92)	8.8abc (1.92)
79-13-10	17.4bc (1.51)	15.0c (2.00)	16.0d (3.39)	15.8c (2.04)	16.6b (1.14)	10.0c (1.00)	11.6a (2.60)	8.6abc (1.67)
79-IL-04	19.2bc (1.30)	18.6bc (1.14)	22.0ab (1.58)	21.0b (2.44)	18.2b (1.30)	15.0b (1.58)	11.0a (2.91)	8.4abc (1.14)
79-IL-07	20.0b (1.58)	18.8bc (1.92)	21.0bc (3.39)	17.8c (0.83)	17.8b (1.92)	14.8b (1.92)	10.4a (0.89)	7.6bc (1.14)
79-IL-03	16.0c (3.39)	16.2c (4.71)	15.2d (1.30)	15.6c (1.34)	15.0b (3.67)	12.6bc (3.64)	10.0a (2.64)	7.4c (1.14)
Mean	18.0	18.2	18.8	18.3	17.2	14.2	11.8	8.8

Each value is the mean of 5 determinations, and the standard deviation is shown in parentheses. Values followed by the different letter within a column are significantly different at the 5% probability level by the Duncan's multiple range test.

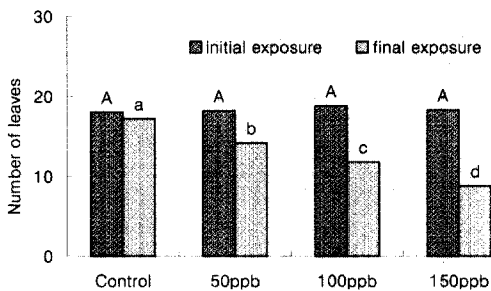


Figure 1. Number of leaves of *P. deltooides* each treatment at initial and final exposure to different ozone concentrations for three weeks. Bars with the different letter are significantly different at the 5% probability level by the Duncan's multiple range test.

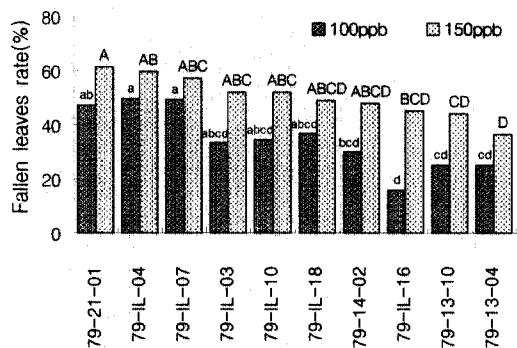


Figure 2. Fallen leaves rate of *P. deltooides* clones at 100ppb and 150ppb ozone for three weeks. Bars with the different letter are significantly different at the 5% probability level by the Duncan's multiple range test.

150ppb 처리 구에서도 79-21-01클론이 61.5%로 가장 높은 낙엽율을 보였으며 79-IL-04클론과 79-IL-07클론도 60%와 57.4%로 나타나 절반이 상의 감소율을 보였고, 가장 낮은 낙엽율을 보인 79-13-04클론이 40%였으며 79-13-10클론과 79-IL-16클론도 45.6%와 45.9%로 나타나 높은 낙엽율을 보였다(Figure 2).

이와 같이 100ppb 처리구에서 낙엽율이 높은 상위 3클론과 낙엽율이 낮은 하위 3클론이 150ppb 처리구에서도 순위의 변동은 있으나 동일한 클론들로 나타나 이는 클론의 특성을 보여주고 있다.

또한 오존 처리 전에 비하여 처리 후에 잎수가 감소되는 현상과 처리후 저농도보다 고농도에서 잎수가 현저히 감소되는 현상을 보이는 것은 수목이 외부의 스트레스를 극복하며 환경에 적응하기 위

하여 생존에 필요한 최소한의 잎만 보유하고 나머지 잎을 제거하였거나, 외부로부터 흡입되는 오염원을 최소화하기 위하여 외부가스 흡입의 주 통로인 기공을 보유하고 있는 잎을 제거함으로써 스트레스를 최소화하려는 데서 오는 결과로 추정된다. 잎의 황화현상(chlorosis)으로 인한 조기낙엽증상과 잎 표면에 나타나는 작은 검은 반점(stipple) 증상은 *Prunus serotina*와 *Liriodendron tulipifera* (Simini 등, 1992; Davis and Skelly, 1992), *Fagus sylvatica*(Mikkelsen 등, 1996), *Betula pendula* (Pääkkönen 등, 1997), 교잡종포플러(우수영, 1997) 등에서 확인되었으며, 수종간에서 뿐만 아니라 수종내 클론간에서도 오존의 영향으로 잎이 감소되는 현상이 확인되었다(Keller, 1988, Pääkkönen 등, 1993, Pearson, 1995).

Table 2. Mean number of injury leaves, LA, and AA of *P. deltoides* clones at 100b and 150ppb ozone for three weeks.

Clone	100ppb			150ppb		
	Number of injury leaf	LA ¹⁾ (%)	AA ²⁾ (%)	Number of injury leaf	LA(%)	AA(%)
79-IL-03	2.8abc (1.92)	31.0a (19.81)	9.8ab (9.49)	4.4ab (0.89)	59.5a (7.16)	37.4a (17.85)
79-IL-07	3.4ab (2.07)	33.1a (19.62)	14.8a (10.52)	3.2abc (0.83)	43.8ab (16.35)	32.4a (16.92)
79-IL-04	3.6a (2.07)	30.1a (18.60)	13.6a (11.23)	5.0a (0.70)	59.8a (6.43)	27.4ab (13.83)
79-13-04	1.6abcd (1.51)	15.7ab (15.06)	4.8ab (5.01)	3.0bc (1.87)	32.7bc (20.46)	21.2abc (19.61)
79-IL-18	1.8abcd (1.48)	15.1ab (12.78)	6.0ab (4.24)	2.6bc (1.67)	33.0bc (24.17)	11.0bc (9.27)
79-13-10	1.6abcd (2.30)	15.2ab (20.81)	4.5ab (5.74)	2.0c (1.22)	24.4bc (18.07)	9.8bc (9.49)
79-IL-16	2.2abcd (1.48)	18.6ab (13.16)	5.4ab (4.44)	1.8c (1.78)	21.9bc (22.31)	9.8bc (10.40)
79-14-02	0.8cd (1.09)	6.3b (8.79)	1.8b (2.68)	2.4c (1.51)	26.6bc (16.35)	9.8bc (9.49)
79-IL-10	0d (0.00)	0b (0.00)	0b (0.00)	1.4c (1.34)	15.1c (14.67)	8.6bc (10.43)
79-21-01	1.0bcd (1.41)	7.6b (10.56)	4.8ab (6.57)	2.2c (1.30)	24.1bc (14.65)	7.2c (5.01)
Mean	1.9	17.3	6.5	2.8	34.1	17.5

¹⁾ LA : Average percentage of injured leaves. ²⁾ AA : Average percentage of injured area.

Each value is the mean of 5 determinations, and the standard deviation is shown in parentheses. Values followed by the different letter within a column are significantly different at the 5% probability level by the Duncan's multiple range test.

2. 잎의 가시적 피해

비교구와 50ppb 처리구에서는 가시적인 피해를 발견할 수 없었으나 100ppb 처리구의 79-IL-10클론을 제외한 모든 클론과 150ppb 처리구 모든 클론에서 피해증상을 관찰할 수 있었다(Table 2). 전체 잎 중 피해증상을 보이는 잎의 출현율(LA)은 100ppb 처리구에서는 평균 17.3%를 보였으며, 150ppb 처리구에서는 평균 34.1%로 100ppb 처리구에 비하여 약 2배에 가까운 출현율을 보였다. 피해증상을 보이는 잎 중 피해면적(AA)도 100ppb 처리구에서는 평균 6.5%를 보였으나, 150ppb 처리구에서는 평균 17.5%로 100ppb 처리구에 비하여 약 3배에 달하는 피해면적을 보여 처리농도가 높아질수록 피해증상을 보이는 잎의 출현율보다는 피해면적이 증가되는 경향을 보였다.

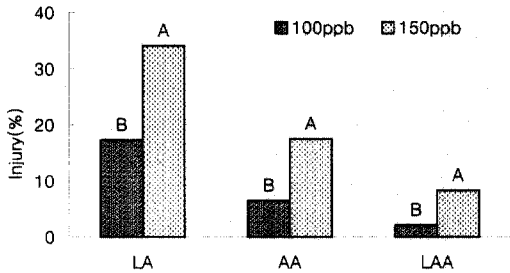


Figure 3. Foliar injury(LA, AA, LAA) of *P. deltooides* at 100ppb and 150ppb ozone for three weeks. Bars with the different letter are significantly different at the 5% probability level by the Duncan's multiple range test.

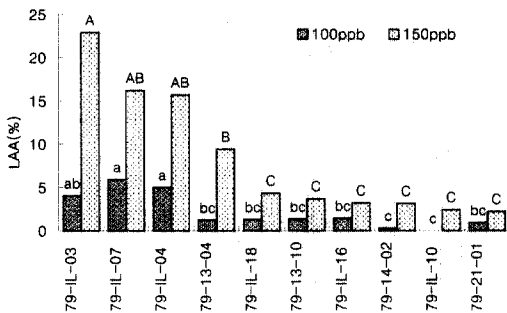


Figure 4. Foliar injury(LAA) of *P. deltooides* clones exposed to 100ppb and 150ppb ozone for three weeks. Bars with the different letter are significantly different at the 5% probability level by the Duncan's multiple range test.

전체 잎의 피해율(LAA)로 환산했을 때 100ppb 처리구에서는 피해율이 낮게 나타나 클론평균 1.6%에 불과하였으나 150ppb 처리구에서는 피해율이 다소 증가하여 처리구 클론평균 7.4%로 처리농도가 증가할수록 피해율이 증가하고 있는 것을 관찰할 수 있었다(Figure 3).

처리구내 클론간에도 차이가 심하여 100ppb 처리구에서 피해 잎의 출현율(LA)이 가장 높은 클론은 97-IL-07클론으로 33.1%를 보였으며, 97-IL-03클론과 97-IL-04클론에서도 각각 31.0%와 30.1%로 높게 나타난 반면 97-IL-10과 같이 피해증상이 전혀 없는 클론도 있었다. 피해 받은 잎 중 피해면적(AA)에서도 피해 잎의 출현율이 높았던 클론들이 많은 피해를 보였다. 전체 잎의 피해율(LAA)에서는 전반적으로 모든 클론이 5%미만으로 낮게 나타났다.

150ppb 처리구에서는 피해율이 다소 증가하여 모든 클론에서 피해증상을 보였으나 100ppb 처리구에서의 유사한 클론특성을 보였다. 피해잎의 출현율(LA)에서는 97-IL-04클론과 97-IL-03클론이 59.8%와 59.5%, 97-IL-07클론이 43.8%로 나타나 순위의 변동은 있으나 100ppb 처리구에서와 같이 3클론이 높게 나타났다. 피해받은 잎 중 피해면적(AA)에서도 같은 클론들이 많은 피해를 보였으며, 전체 잎의 피해율(LAA)에서는 97-IL-03클론이 가장 많은 22.3%를 보였으며 97-IL-04클론과 97-IL-07클론이 뒤를 이어 16.4%와 14.2%로 100ppb 처리구보다는 피해율이 다소 증가하였다(Figure 4).

처리농도에 따라 순위의 변동은 있었으나 100ppb 처리구에서 피해율이 높았던 클론들이 150ppb 처리구에서도 피해율이 높게 나타나 본 실험에 사용된 10클론 중 3클론(97-IL-03, 97-IL-04, 97-IL-07)이 상대적으로 오존에 민감한 클론으로 추정되었으며, 79-IL-10클론이 10클론중 가장 내성이 강한 클론으로 나타나 같은 처리구 내에서도 클론간 유의성을 관찰할 수 있었다. 이와 같은 클론특성은 종자보급을 위하여 조성된 뱀나무류 클론 채종원에서 가시적 피해율을 2년간 조사한 결과에서도 조사 년도간에 피해율의 차이는 있었으나 내성클론과 감수성클론이 같은 경향으로 나타나 클론간 유의성이 확인되었다(Lee 등, 1999).

오존에 대한 수목의 반응이 유전적으로 존재한다는 사실은 물푸레나무류 천연집단간 연구(Steiner and Davis, 1979)와 포플러 집단 내 연구(Kamosky,

1977; Berrang 등, 1991)에서 확인되었으며 또한 산지간 뿐만 아니라 산지 내에서도 변이가 크게 나타나 산지선발과 아울러 산지내 가계선발을 병행함으로써 오존에 내성을 가진 개체의 육종가능성이 제시되었다(Karnosky and Steiner, 1981).

이와 같이 대기오염에 의한 수목의 반응 중 수종간이나 수종 내에서 변이는 유전적인 지배를 받고 있다는 것은 이미 잘 알려진 사실로 본 연구에 사용된 미류나무에서도 클론간에 변이를 보여 내성클론 선발의 가능성을 확인할 수 있었다.

결 론

미류나무 10클론을 대상으로 비교구와 3가지 농도의 오존조건으로 3주간 처리 후 낙엽율과 잎의 가시적 피해를 조사하였다.

처리구별 평균 잎 수가 오존 처리 전 비슷하였으나 처리 후에는 고농도 처리구에서 조기 낙엽율이 급격히 증가하여 처리구간 유의성이 인정되었다. 처리구내 클론간 잎 수에서는 오존 처리 전 변이가 크게 나타났으나 처리 후 고농도에서는 모든 클론의 잔존 잎 수가 3개 내외의 차이만 보여 이는 생존에 필요한 최소한의 잎만 보유하고 나머지 잎을 제거하는데 오는 결과로 추정된다. 잎의 가시적 피해증상은 50ppb 처리구에서는 관찰되지 않았으나 100ppb 처리구에서는 한 클론을 제외한 모든 클론에서 관찰되어 100ppb 이하에서도 가시적인 피해의 가능성을 보였다. 피해를 많이 받는 클론과 적게 받는 클론이 100ppb와 150ppb 두 처리구에서 같은 경향으로 나타나 이는 클론의 특성으로 클론간 내성차이를 확인할 수 있었으며, 이는 앞으로 오존에 대한 내성클론(품종) 선발이 가능할 것으로 생각된다.

인 용 문 헌

1. 김종욱·김준호. 1995. 오존에 대한 신갈나무 잎의 순광합성능의 반응. 한국생태학회지 18(2): 265-273
2. 김현석·이경준. 1995. Open-top chamber 내에서 오존에 폭로시킨 1년생 느티나무(*Zelkova serrata* Makino) 묘목의 생리적 반응에 관하여. 한국임학회지 184(4): 424-431.
3. 서울특별시. 1998a. '98 오존 경보제 추진대책. pp. 72.
4. 서울특별시. 1998b. 오존주의보 발령시 이렇게 합시다. pp. 14.
5. 우수영. 1997. 오존 환경에 대한 잡종 포플러 묘목의 가스 교환과 생장에 관한 연구. 한국생태학회지 20(4): 239-244.
6. 우수영. 1998. 오존 환경이 잡종 포플러의 생장과 기공개폐에 미치는 영향. 한국임학회지 187(1): 50-56.
7. 환경부. 2000. 1999년 12월 대기환경월보. pp. 15-20.
8. Berrang, P., D.F. Karnosky and J.P. Bennett. 1991. Natural selection for ozone tolerance in *Populus termuloides*: an evaluation of nationwide trends. Canadian Journal of Forest Research 21: 1091-1097.
9. Berry, C.R. 1971. Relative sensitivity of red, jack, and white pine seedlings to ozone and sulfur dioxide. Phytopathology 61(2): 231-232.
10. Bennett, J.P., P. Rassat, P. Berrang and D.F. Karnosky. 1992. Relationships between leaf anatomy and O₃ sensitivity of *Fraxinus pennsylvanica* Marsh. and *Prunus serotina* Ehrh. Environmental and Experimental Botany 32: 31-41.
11. Chappelka, A., J. Renfro, G. Somers and B. Nash. 1997. Evaluation of ozone injury on foliage of black cherry(*Prunus serotina*) and tall milkweed(*Asclepias exaltata*) in Great Smoky Mountains National Park. Environmental Pollution 95: 13-18.
12. Coleman, M.D., J.G. Isebrands, R.E. Dickson and D.F. Karnosky. 1995. Photosynthetic productivity of aspen clones varying in sensitivity to tropospheric ozone. Tree Physiology 15: 585-592.
13. Comrie, A.C. 1994. A synoptic climatology of rural ozone pollution at three forest sites in Pennsylvania. Atmospheric Environment 28: 1601-1614.
14. Davis, D.D. and J.M. Skelly. 1992. Foliar sensitivity of eight eastern hardwood tree species to ozone. Water, Air, and Soil Pollution 62: 269-277.
15. Edward, G.S., S.D. Wullschleger and J.M. Kelly. 1994. Growth and physiology of northern

- red oak : preliminary comparisons of mature tree and seedling responses to ozone. *Environmental Pollution* 83 : 215-221.
16. Evans, L.S., J.H. Adamski and J.R. Renfro. 1996. Relationship between cellular injury, visible injury of leaves, and ozone exposure levels for several dicotyledonous plant species a great smoky mountains national park. *Environmental and Experimental Botany* 36(2) : 229-237.
 17. Fredericksen, T.S., B.J. Joyce, J.M. Skelly, K.C. Steiner, T.E. Kolb, K.B. Kouterick, J.E. Savage and K.R. Snyder. 1995. Physiology, morphology, and ozone uptake of leaves of black cherry seedling, saplings, and canopy trees. *Environmental Pollution* 89 : 273-283.
 18. Fredericksen, T. S., J. M. Skelly, K. R. Snyder, K.C. Steiner and T.E. Kolb. 1996a. Predicting ozone uptake from meteorological and environmental variables. *Air and Waste Management Association* 46 : 2-7.
 19. Fredericksen, T. S., J. M. Skelly, K. C. Steiner, T.E. Kolb and K.B. Kouterick. 1996b. Size-mediated foliar response to ozone in black cherry trees. *Environmental Pollution* 91 : 53-63.
 20. Harward, M. and M. Treshow. 1975. Impact of ozone on the growth and reproduction of understory plants in the aspen zone of western U.S.A. *Environmental Conservation* 2(1) : 17-23.
 21. Hayes, E.M. and J.M. Skelly. 1977. Transport of ozone from the northeastern United States into Virginia and its effects on eastern white pine. *Plant Diseases Report* 61 : 778-782.
 22. Horsfall, J.G. and R.W. Barratt. 1945. An improved grading system for measuring plant disease. *Phytopathology* 35, 655.
 23. Karnosky, D.F. 1977. Evidence for genetic control of response to sulfur dioxide and ozone in *Populus tremuloides*. *Canadian Journal of Forest Research* 7 : 437-440.
 24. Karnosky, D.F. and K.C. Steiner. 1981. Provenance and family variation in response of *Fraxinus americana* and *F. pennsylvanica* to ozone and sulfur dioxide. *Phytopathology* 71 : 804-807.
 25. Keller, Th. 1988. Growth and premature leaf fall in american aspen as bioindications for ozone. *Environmental Pollution* 52 : 183-192.
 26. Kress, L.W. and J.M. Skelly. 1982. Response of several eastern forest tree species to chronic doses of ozone and nitrogen dioxide. *Plant Disease* 66 : 1149-1152.
 27. Kull, O., A. Sober, M.D. Coleman, R.E. Dickson, J.G. Isebrands, Z. Gagnon and D.F. Karnosky. 1996. Photosynthetic responses of aspen clones to simultaneous exposures of ozone and CO₂. *Canadian Journal of Forest Research* 26 : 639-648.
 28. Lee, J.C., J.M. Skelly, K.C. Steiner, J.W. Zhang and J.E. Savage. 1999. Foliar response of black cherry(*Prunus serotina*) clones to ambient ozone exposure in central Pennsylvania. *Environmental Pollution* 105 : 325-331.
 29. Mikkelsen, T.N. and H.S. Heide-Jorgensen. 1996. Acceleration of leaf senescence in *Fagus sylvatica* L. by low levels of tropospheric ozone demonstrated by leaf colour, chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure. *Tree* 10 : 145-156.
 30. Nash, B.L., M.C. Saunders, B.J. Miller, C.A. Bloom, D.D. Davis and J.M. Skelly. 1992. ForestHealth, an expert system for assessing foliar and crown health of selected northern hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research* 22 : 1770-1775.
 31. Pääkkönen, E., T. Holopainen and L. Kärenlampi. 1997. Differences in growth, leaf senescence and injury, and stomatal density in birch(*Betula pendula* Roth), in relation to ambient levels of ozone in finland. *Environmental Pollution* 96 : 117-127.
 32. Pääkkönen, E., S. Paasisalo, T. Holopainen and L. Kärenlampi. 1993. Growth and stomatal responses of birch(*Betula pendula* Roth.) clones to ozone in open-air and chamber fumigations. *New Phytologist* 125 : 615-623.
 33. Pearson, M. 1995. Effect of ozone on growth

- and gas exchange of *Eucalyptus globulus* seedlings. *Tree Physiology* 15 : 207-210.
34. SAS Institute Inc. 1985. SAS/TAT guide for personal computers. ver. 6 edit. Cary NC, U.S.A. 378pp.
35. Steiner, K.C. and D.D. Davis. 1979. Variation among *Fraxinus* families in foliar response to ozone. *Canadian Journal of Forest Research* 9 : 106-109.
36. Simini, M., J.M. Skelly, D.D. Davis and J.E. Savage. 1992. Sensitivity of four hardwood species to ambient ozone in north central Pennsylvania. *Canadian Journal of Forest Research* 22 : 1789-1799.
37. Skelly, J. M. 1980. Photochemical oxidant impact in mediterranean and temperate forest ecosystem : real and potential effects. In : *Proceedings of the symposium on effects of air pollutants in mediterranean and temperate forest ecosystems*. June 22-27, Riverside, CA, 38-50.
38. Wiselogel, A.E., J.K. Bailey, R.J. Newton and F. Fong. 1991. Growth response of loblolly pine(*Pinus taeda* L.) seedlings to ozone fumigation. *Environmental Pollution* 71 : 43, 56.