

국내 유도강우지수의 결정¹

나 중 범^{2,†}

Determination of Driving Rain Index in Korea¹

Jong-Bum Ra^{2,†}

요 약

본 연구는 국내 건축물의 강우에 대한 노출정도를 지역별로 평가하기 위하여 수행되었다. 바람에 의하여 벽체에 부딪치는 비를 유도강우로 표기하였으며 지역별로 유도강우의 세기를 비교하기 위하여 유도강우지수(Driving Rain Index)를 사용하였다. 국내 64개 지역에서 30년 동안 측정된 풍속과 강우량 자료를 통해서 연평균유도강우지수(Annual Average Driving Rain Index)를 계산하였으며 이에 근거하여 측정된 지역들을 강우노출이 높은 지역, 중간 지역, 적은 지역으로 구분하였다. 측정된 지역 중 강우에 많이 노출되는 지역은 없었으며 22개 지역만이 노출정도가 중간으로 그리고 나머지 42개 지역은 강우노출정도가 낮은 것으로 평가되었다. 기후변화에 따라서 유도강우지수의 변화 폭이 큰 것으로 나타났지만 종합적으로 평가할 때 대관령, 부산, 여수 및 제주도 등의 일부 지역을 제외하면 국내 건축물의 강우노출정도는 높지 않은 것(moderate to low)으로 판단된다.

ABSTRACT

This research was performed to evaluate the level of exposure of buildings to rain in Korea. The impingement of driving rain by wind is evaluated by driving rain index (DRI). Average annual driving rain indexes (AADRI) for 64 stations spread all over Korea have been determined by using the data of wind speed and precipitation obtained from Korea Meteorological Administration (KMA). Based on the values, the regions has been classified as low, moderate, and high. No high exposure regions were found in Korea; 22 regions with moderate exposure and 42 regions with low exposure. Although the values are very dependent on climate change, most of Korea except several regions such as Daegwallyeong, Busan, Yeosu, and Jeju island may be evaluated to be the region where exposure of buildings to driving rain is low to moderate.

Keywords : driving rain index, wind speed, precipitation

¹ Date Received August 31, 2016, Date Accepted December 15, 2016

² 경남과학기술대학교 건설환경공과대학 인테리어재료공학과. Department of Interior Materials Engineering, Gyeongnam National University of Science and Technology, Jinju 52725, Republic of Korea

[†] 교신저자(Corresponding author): 나중범(email: jb@gntech.ac.kr)

1. 서 론

강우는 건축물의 내구성에 영향을 미친다. 강우와의 접촉이 많아지면 건축물 외벽 표면에 수분이 축적되며 그중 일부는 외벽 안쪽으로 이동하게 된다. 벽체 내부로 침투한 수분은 건축물의 열화에 직·간접적으로 영향을 미치게 되는데, 특히 내구성 측면에서 수분에 취약한 목조건축물에서는 강우가 원인이 되어 발생된 열화현상을 쉽게 관찰할 수 있다(Canada mortgage and housing corporation, 1996; Chouinard, 2001).

물론 모든 강우가 건축물의 외벽과 접촉하는 것은 아니다. 건축물의 최상부에는 강우를 피하기 위한 구조나 덮개가 설치되어 있다. 장마철이 있거나 비가 많이 오는 지역에서는 처마구조가 많이 발달한다. 그러나 바람이 셀수록 비가 건축물의 외벽에 부딪치게 되는 정도가 많아지게 된다. 이러한 비를 통칭하여 유도강우(Driving Rain)라 하는데 이는 지면에 수직으로 세워져 있는 벽체에 부딪치는 강우로 정의된다(Boyd, 1963; Chand, 1999; Chand and Bhargava, 2000; Lacy, 1962).

건축물 벽체의 강우에 대한 노출 정도를 지역별로 평가하기 위하여 유도강우지수(Driving rain index: DRI)가 도입되었다(Lacy, 1962). 풍속과 강우량의 곱으로 계산되는 유도강우지수는 주로 지상부 사용 목재의 내구성과 관련되어 건축물의 설계에 지역적인 특성을 반영하거나 시기별 비교를 통해서 기후변화에 의한 영향을 파악하기 위해서 활용된다. 물론 목재의 지상부 사용에 대한 위험을 나타내는 가장 일반적인 기후지수로 목재부후지수(Scheffer Index)가 있다(Beesley *et al.*, 1983; Degroot, 1982; Degroot and Esenther, 1982; Foliente *et al.*, 2002; Setliff, 1986; Scheffer, 1971). 그러나 목재부후지수는 대기 온도가 2℃ 이하로 떨어지는 경우 부후 위험이 없는 것으로 간주하기 때문에 추운 겨울의 부후위험을 완전히 반영하지 못한다. 유도강우지수는 지역적 특성을 파악하는데 이와 같은 목재부후지수의 단점을 일정 정도 보완할 수 있을 것으로 판단된다. 이외에도 유도강우지수는 지역별 건축물의 에너지 소비와 관

련된 연구에서도 기초자료로 활용될 수 있는데 이는 수분과 벽체의 열전도가 비례관계에 있기 때문이다(Chand, 1999; Chand and Bhargava, 2000).

북미에서는 목조건축물에서 발생한 조기부후문제가 일정 정도 기후와 관련이 있다는 것을 인지하고 이들과 강우와의 관련성에 대한 연구를 통해 목재의 사용위험지역을 구분하려는 연구를 수행해왔다(Canada mortgage and housing corporation, 1996; Chouinard, 2001). 그러나 아직 국내에서 유도강우와 관련된 연구는 수행되지 않았는데, 본 연구는 국내 지역별 유도강우지수를 구하여 지역별 기후조건이 목재의 사용에 미치는 영향과 관련한 기본적인 자료를 제공하고자 수행되었다. 국내 64개 장소에서 30년간 측정된 데이터를 통해 유도강우지수를 계산하였으며, 국내 지역별 유도강우 차이에 대하여 기술하였다.

2. 재료 및 방법

1986년부터 2015년까지의 국내 기후자료를 기상청 웹사이트에서 다운받아 사용하였다. 현재 서울을 포함하여 총 80개 장소에서 기후자료가 측정되고 있으며 이 중 64곳에서는 30년 이상 기후가 측정되었다. 유도강우지수는 건축물 벽체의 강우에 대한 노출 정도를 평가하기 위하여 사용되는데 Lacy (1962)에 의해 처음으로 도입되었으며 시간당 풍속과 시간당 강우량의 곱으로 계산된다. 그러나 오랜 시간(일반적으로 30년)에 걸쳐 시간당 풍속 및 강우량에 대한 자료를 구하기가 힘들기 때문에 일일 풍속 및 일일 강우량으로 대체하여 계산되기도 한다(Chand and Bhargava, 2002). 이러한 경우 일부 오차를 수반하게 되지만 유도강우지수의 값이 아주 세밀한 값을 요구하는 것이 아니라 큰 범위에서 지역에 대한 정보를 주기 위해 사용되는 지수라는 것을 고려하면 일일 풍속을 사용하여도 일정 정도 객관적인 정보를 제공할 수 있다고 판단된다.

이에 본 연구에서는 일일 풍속 및 일일 강우량 자료를 이용하여 일일유도강우지수(Daily Driving Rain Index)를 계산하였으며 이를 합하여 연간유도강우지

수(Annual Driving Rain Index: ADRI)를 아래와 같이 계산하였다. 그리고 연간유도강우지수의 변이 폭을 조사하기 위하여 30년 동안의 평균연간유도강우지수(Average Annual Driving Rain Index: AADRI) 및 표준편차를 계산하였다.

$$ADRI = \sum_{Jan\ 1}^{Dec\ 31} DRI_{daily} = \sum_{Jan\ 1}^{Dec\ 31} (W_{daily} \times P_{daily})$$

$$AADRI = \frac{\sum_{1986}^{2015} ADRI}{30}$$

where ADRI (m/s^2) is annual driving rain index, W is daily wind speed (m/s), P is daily precipitation (m), and AADRI is average annual driving rain index (m/s^2).

유도강우지수는 유도강우의 상대적인 세기를 나타낸다. 일반적으로 연간유도강우지수의 값이 7 이상일 경우 강우노출정도가 높은 지역(High exposure), 7 이하 3 이상인 경우 중간 지역(Moderate exposure), 3 이하는 낮은 지역(Shielded exposure)으로 구분된다(Lacy, 1962). 본 논문에서는 이를 근거로 국내 64개 지역을 상, 중, 하의 세 단계로 구분하였다.

3. 결과 및 고찰

국내 64개 장소에서 30년 동안 측정된 기상 자료를 이용하여 계산된 유도강우지수는 Table 1에서 볼 수 있다. 연간유도강우지수는 7 이상인 경우 강우에 대한 노출 정도가 높은 지역으로, 3 이상 7 이하인 경우 중간 지역으로, 3 이하인 경우 낮은 지역으로 판단한다. 이러한 기준을 가지고 계산된 유도강우지수를 살펴보면 국내의 경우 강우노출이 높은 지역은 없는 것으로 나타났다. 중간인 곳은 총 22개 지역인데, 대관령, 성산, 여수, 서귀포, 부산, 완도, 울릉도, 제주, 목포, 울진, 군산, 통영, 속초, 서울, 인천, 서산, 강릉, 창원, 거제, 광주, 포항, 해남 순으로 강우노출 정도가 높았으며 나머지 42개 지역은 유도강우지수

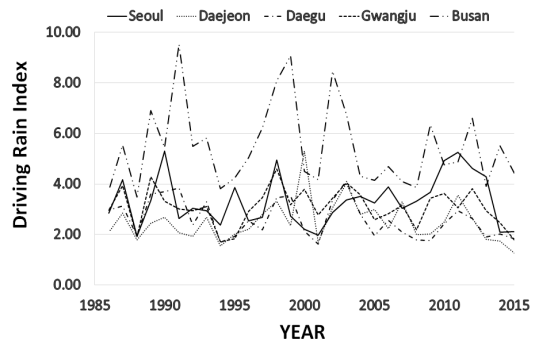


Fig. 1. Change of annual driving rain index of Seoul, Daejeon, Daegu, Gwanju, and Busan.

가 3 이하로 강우노출 정도가 낮은 곳으로 평가되었다. 강우노출정도가 가장 높은 지역은 대관령으로 유도강우지수는 6.39의 값을 보여준다. 1986년부터 2015년까지의 대관령의 연평균 풍속은 4.15 m/s로 측정된 지역 중 가장 높았으며, 연평균 강우량은 1785 mm로 서귀포(1967 mm), 성산(1959 mm), 남해(1878 mm), 거제(1830 mm)에 이어 다섯 번째로 높은 것으로 나타났다.

Fig. 1은 국내 5대 광역시에서 계산된 30년 동안의 유도강우지수 변화를 보여준다. 강우노출위험이 높다고 평가되는 유도강우지수 값인 7을 기준으로 볼 때 서울과 대전은 1986년부터 2015년 동안 7 이상을 기록한 적이 단 한 번도 없는 것으로 파악되었다. 그러나 남부지역인 부산은 2002, 1999, 1998, 1991년도 네 번에 걸쳐 7 이상의 값을 기록하였다. 각 지역의 표준편차를 살펴보면 서울 0.99, 대전 0.82, 광주 0.73, 대구 0.74, 부산 1.64를 보여주었는데 이는 기후에 따라 값의 변화폭이 크다는 것을 의미한다. 예를 들어 서울은 유도강우지수가 2015년 2.12, 2014년 2.10로 평균값인 3.32 보다 훨씬 낮은 값을 보여주는데 이러한 결과는 2014년과 2015년 강우량이 각각 792.1 mm와 808.9 mm로 매우 적었기 때문이다. 서울, 부산, 대구, 광주, 대전의 연간 유도강우지수의 최고값과 최소값을 살펴보면 서울은 2011년 5.26, 1988년 1.93, 부산 1999년 9.08, 1986년 3.74, 대구 2003년 4.12, 1994년 1.70, 광주 1998년 4.59, 1994년 1.71 그리고 대전 2003년 4.03, 2015년 1.27

Table 1. Average annual driving rain index (AADRI) values calculated from weather data for the period 1986-2015

Location	Wind speed (m/s)	Mean annual precipitation (mm)	Annual Driving Rain Index (m ² /s)
Seoul	2.37 (0.23) ^{*1}	1468.01 (407.18)	3.32 (0.99)
Incheon	2.86 (0.32)	1249.70 (313.96)	3.22 (0.86)
Suwon	1.71 (0.18)	1337.04 (297.33)	2.33 (0.68)
Ganghwa	1.79 (0.26)	1344.85 (385.57)	2.45 (0.77)
Yangpyeong	1.22 (0.18)	1424.99 (385.31)	1.62 (0.53)
Icheon	1.17 (0.22)	1377.64 (339.24.1)	1.56 (0.40)
Chuncheon	1.26 (0.17)	1356.83 (337.69)	1.66 (0.44)
Wonju	1.16 (0.18)	1362.21 (325.48)	1.52 (0.49)
Inje	1.79 (0.14)	1197.34 (320.15)	2.14 (0.62)
Hongcheon	1.05 (0.16)	1375.40 (376.84)	1.44 (0.49)
Ulleungdo	3.66 (0.41)	1419.36 (360.92)	5.13 (1.23)
Gangneung	2.57 (0.29)	1457.38 (330.58)	3.21 (0.86)
Sokcho	2.67 (0.33)	1388.54 (266.30)	3.41 (0.81)
Daegwallyeong	4.15 (0.58)	1784.95 (533.08)	6.39 (2.09)
Taebaek	1.70 (0.24)	1319.35 (318.15)	2.18 (0.62)
Chongju	1.73 (0.28)	1252.74 (278.81)	2.25 (0.65)
Chungju	1.43 (0.35)	1249.70 (318.89)	1.71 (0.58)
Chupungnyeong	2.62 (0.28)	1186.27 (259.92)	2.48 (0.57)
Jecheon	1.42 (0.13)	1422.13 (358.66)	1.92 (0.52)
Boeun	1.37 (0.21)	1308.88 (352.57)	1.63 (0.41)
Seosan	2.40 (0.29)	1284.31 (341.74)	3.21 (1.13)
Daejeon	1.76 (0.24)	1370.72 (344.68)	2.52 (0.82)
Cheonan	1.69 (0.29)	1246.26 (297.31)	2.02 (0.56)
Boryeong	1.93 (0.20)	1244.96 (278.99)	2.55 (0.74)
Buyeo	1.20 (0.21)	1365.85 (354.67)	2.55 (0.74)
Geumsan	1.14 (0.11)	1287.60 (287.59)	1.42 (0.31)
Jeonju	1.63 (0.29)	1298.83 (280.02)	2.18 (0.66)
Gunsan	3.17 (0.75)	1246.63 (292.41)	3.85 (1.13)
Buan	1.61 (0.15)	1226.46 (294.36)	2.01 (0.50)
Imsil	1.31 (0.16)	1353.00 (324.31)	1.77 (0.49)
Jeongeup	1.14 (0.25)	1328.31 (300.40)	1.56 (0.51)
Namwon	1.33 (0.21)	1346.35 (347.59)	1.71 (0.40)

*1 Values in parentheses represent standard deviations.

Table 1. Continued

Location	Wind speed (m/s)	Mean annual precipitation (mm)	Driving Rain Index (m ² /s)
Gwangju	2.11 (0.20)	1392.76 (322.75)	3.09 (0.73)
Mokpo	3.73 (0.47)	1155.67 (269.13)	3.98 (0.97)
Yeosu	4.08 (0.28)	1437.45 (313.77)	5.51 (1.40)
Wando	3.66 (0.35)	1533.51 (394.33)	5.27 (1.71)
Suncheon	1.33 (0.29)	1569.24 (366.79)	1.88 (0.68)
Jangheung	1.92 (0.43)	1484.07 (347.78)	2.73 (0.97)
Haenam	2.24 (0.22)	1308.73 (276.53)	3.02 (0.76)
Goheung	1.59 (0.32)	1438.63 (337.64)	2.22 (0.70)
Andong	1.66 (0.18)	1049.66 (231.86)	1.60 (0.36)
Pohang	2.64 (0.30)	1169.24 (340.22)	3.02 (1.03)
Daegu	2.50 (0.37)	1070.41 (261.57)	2.61 (0.74)
Ulsan	3.56 (0.55)	1153.41 (304.15)	3.92 (1.26)
Yeongju	2.37 (0.37)	1323.74 (306.88)	2.36 (0.63)
Mungyeong	1.67 (0.18)	1291.62 (305.42)	1.69 (0.37)
Yeongdeok	2.57 (0.45)	1075.92 (287.43)	2.56 (0.83)
Uiseong	1.10 (0.13)	1015.15 (279.03)	0.99 (0.24)
Gumi	1.57 (0.23)	1086.83 (273.35)	1.42 (0.32)
Yeongcheon	1.86 (0.17)	1069.56 (253.55)	1.80 (0.42)
Busan	3.56 (0.35)	1511.11 (400.60)	5.46 (1.64)
Ulsan	2.14 (0.18)	1263.41 (327.25)	2.63 (0.75)
Changwon	2.11 (0.23)	1517.20 (431.67)	3.20 (0.99)
Tongyeong	2.48 (0.26)	1443.67 (346.84)	3.62 (0.95)
Jinju	1.59 (0.30)	1515.21 (391.38)	2.45 (0.70)
Geochang	1.28 (0.26)	1311.06 (357.66)	1.51 (0.47)
Hapcheon	1.24 (0.14)	1289.51 (354.32)	1.61 (0.41)
Miryang	1.43 (0.13)	1219.33 (309.87)	1.82 (0.50)
Sancheong	1.55 (0.26)	1554.95 (419.45)	2.03 (0.61)
Geoje	1.67 (0.19)	1830.05 (524.26)	3.16 (0.89)
Namhae	1.69 (0.25)	1878.50 (441.82)	2.99 (0.69)
Jeju	3.42 (0.28)	1509.10 (396.33)	4.85 (1.30)
Seogwipo	2.79 (0.28)	1967.31 (422.18)	5.51 (1.31)
Seongsan	3.09 (0.21)	1959.94 (355.05)	5.89 (1.21)

로 그 차이가 적지 않은 것을 알 수 있다.

국내에서 목재부후위험이 가장 큰 지역으로 분류될 수 있는 제주도의 유도강우지수는 Fig. 2에서 볼 수 있다. 제주, 서귀포, 성산의 30년 평균 유도강우지

수는 4.85, 5.51, 5.89이었으며, 표준편차는 1.30, 1.31, 1.21로 나타났다. 유도강우지수의 값이 7보다 높게 나타난 해는 제주가 2012년, 1999년, 서귀포가 2012년 2003년, 1999년, 성산의 경우 2015년, 2014

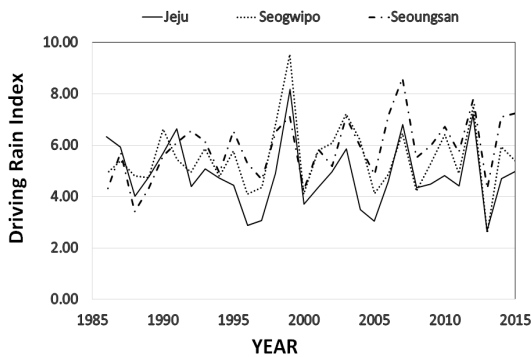


Fig. 2. Change of annual driving rain index of Jeju, Seogwipo, and Seoungsan.

년 2012년 2007년 2006년 2003년 1999년으로 나타났다. 특히 성산의 경우 강우노출위험이 높은 곳으로 분류될 수 있었던 해가 2000년 이후 여섯 번이나 발생했다는 것을 고려하면 성산은 당해 연도의 기후변화에 따라서 언제든지 고위험 지역으로 바뀔 수 있다는 것을 의미한다고 하겠다.

계산된 지역별 유도강우지수와 부후위험지수(Scheffer Index)를 같이 살펴보면 국내 부후위험에 대한 일반적인 평가를 할 수 있을 것으로 판단된다. 물론 부후위험지수와 유도강우지수의 성격이 다르기 때문에 직접적인 비교는 불가하지만 유도강우지수가 목구조물의 초기 부후와 관련된 부분을 설명하기 위해 만들어진 지수임을 고려할 때 지역별로 두 지수들의 값을 살펴보는 것은 그 지역의 목조건축물의 위험성에 대한 추가적인 정보를 제공한다고 하겠다.

국내 목재부후위험지수에 대한 연구를 간략히 살펴보면 다음과 같다(Kim and Ra, 2013; 2014). 국내에서 부후위험이 가장 높은 지역(Scheffer 지수 ≥ 65)은 서귀포와 제주시로 각각 76.4와 70.4의 값을 보여준다. 이 외의 지역은 목재부후위험이 중간($35 \leq$ Scheffer Index ≤ 65) 정도인 것으로 평가되었는데 조사된 58개 지역 중에서 목재부후위험지수가 60을 넘는 지역은 강릉(61.2), 광주(63.6), 전주(64.2) 세 지역에 불과하다. 이상을 종합해보면 국내 목재사용 환경은 목재부후위험지수가 중간 정도인 지역이 대부분이며 또한 국내 유도강우지수의 값 또한 전반적

으로 높지 않다는 것(moderate to low)을 알 수 있다. 따라서 제주도와 같이 부후위험지수가 높으며 당해 연도의 기후변화에 따라 강우노출 위험이 높은 지역으로 바뀔 수 있는 부산, 제주도 등과 같은 일부 지역을 제외하면 국내 목재 사용 위험 정도를 상, 중, 하의 세 그룹으로 분류할 때 중간 정도인 것으로 판단할 수 있을 것 같다. 이러한 분류는 국제적으로 사용되는 분류체계에 의한 것이며 이러한 분류가 방부처리목재를 사용할 필요가 없다는 것을 의미하는 것은 아니라는 점을 밝혀둔다.

3. 결 론

국내 63개 장소에서 1986년부터 2015년까지 30년 동안의 기후자료를 바탕으로 유도강우지수를 계산하였다. 강우노출정도가 중간인 지역이 22개 지역이었으며 나머지 42개 지역은 강우노출정도가 낮은 것으로 판명되었다. 따라서 국내 건축물의 강우노출정도는 높지 않은 것(low to moderate)으로 판단할 수 있다. 그러나 당해 연도의 기후변화에 따라서 유도강우지수의 변화폭도 큰 것으로 미루어 볼 때 유도강우지수가 일반적으로 높게 관찰되는 부산, 제주 등 국내 일부 지역은 강우노출위험이 높은 지역으로 바뀔 수 있다고 판단된다.

사 사

이 논문은 2015년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 수행되었다.

REFERENCES

Beesley, J., Creffield, J.W., Saunders, I.W. 1983. An Australian test for decay in painted timbers exposed to the weather. *Forest Products Journal* 33(5): 57-63.

Boyd, D.W. 1963. Driving rain map of Canada. Technical note 398, Division of Building Research, National Research Council of Canada,

- Ottawa.
- Canada Mortgage and Housing Corporation, 1996. Survey of Building Envelope Failures in the Coastal Climate of British Columbia.
- Chand, I., Bhargava, P.K. 2002. Estimation of driving index for india. *Building and Environment* 37: 549-554.
- Chand, I. 1999. Driving rain studies-state of the art. Proceedings of the South-Asian countries conference on challenges to architects and civil engineers during twenty-first century. Kathmandu. Vol (1): 568-574.
- Chouinard, K.L., Lawton, M.D. 2001. Rotting wood framed apartments - not just a Vancouver problem. Proceedings of the 8th conference on building science and technology, Toronto, Canada. pp. 304-318.
- Degroot, R.C. 1982. An assessment of climate index in predicting wood decay in houses. *Durability of Building Materials* 1. Elsevier, Amsterdam.
- Degroot R.C., Esenther, G.R. 1982. Microbial and entomological stresses on the structural use of wood. Pages 219-245 in RW Mayer and RM Kellog, eds. *Structural use of wood in adverse environments*. Van Nostrand and Reinhold Co., New York.
- Foliente, G., Leicester, R.H., Wang, C.H., Mackenzie, C., Cole, I. 2002. Durability design for wood construction. *Forest Products Journal* 52(1): 10-19.
- Lacy, R.E. An index of driving rain. *Meteorology Magazine* 91: 177-184.
- Kim, T., Ra, J.B. 2013. Decay hazard (Scheffer) index values in Korea for exterior aboveground wood. *Forest Products Journal* 63(3-4): 91-94.
- Kim, T., Ra, J.B. 2014. Change of Decay Hazard Index (Scheffer Index) in Korea For Exterior Above-Ground Wood. *J. of the Korean Wood Science and Technology* 42(6): 732-739.
- Scheffer, T.C. 1971. A Climate index for estimating potential for decay in wooden structures above ground. *Forest Products Journal* 21(10): 25-31.
- Setliff, E.C. 1986. Wood decay hazard in Canada based on Scheffer's climate index formula. *Forestry Chronicle*, October 1986: 456-459.