

한국산 참나무속 참나무아속(너도밤나무과)의 수리분류학적 분석

박진희¹ · 정명기² · 선병윤³ · 김기중⁴ · 박재홍⁵ · 박종욱^{1*}

¹서울대학교 자연과학대학 생명과학부, ²경상대학교 자연과학대학 생물학과,
³전북대학교 자연과학대학 생물과학부, ⁴고려대학교 생명과학대학 및 생명공학원,
⁵경북대학교 자연과학대학 생물학과

본 연구에서는 한국산 참나무속 참나무아속(*Quercus* subgen. *Quercus*) 6종 및 중간 잡종으로 추정되는 개체들을 대상으로 잎, 동아, 소지, 견과, 각두 및 포린의 형태 및 크기에 관한 40개의 형질들을 측정, 수리분류학적 분석(주성분분석)을 수행하여 주요 형태 형질의 변이 양상을 파악하고, 한국산 참나무아속 분류군들의 실체를 이해하고자 하였다. 그 결과, 본 아속 한국산 개체들은 크게, 1) *Q. acutissima*-*Q. variabilis*, 2) *Q. dentata*, 3) *Q. aliena*, 4) *Q. mongolica*, 그리고 5) *Q. serrata* 개체들로 구성된 5개의 집단으로 구분되었고, 중간 잡종으로 추정되는 개체들은 대부분 추정 부모종의 중간적 특징을 갖는 것으로 밝혀졌다. 주성분분석에서 하나의 집단을 형성하면서 약하게 구분되는 *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*는 잎 하면 털의 종류 및 분포 양상에 의해 뚜렷이 식별되는 것으로 나타났다. 또한, 외부형태 형질의 경우, 잎의 형태, 엽신의 길이와 폭, 거치의 크기와 형태, 소지의 직경, 견과의 길이와 폭의 비, 포린의 길이와 폭 등이 참나무아속 한국산 분류군들을 구분하고 잡종 형성을 이해하는데 매우 유용한 것으로 밝혀졌다.

주요어: 참나무아속, 수리분류학적 분석, 형태 형질, 형태 변이, 잡종화

참나무속(*Quercus* L.)은 너도밤나무과(Fagaceae)에 속하는 상록성 또는 낙엽성의 교목 및 관목으로 북반구 온대지역을 중심으로 약 450종이 널리 분포한다 (Kubitzki, 1993; Nixon, 1997; Huang *et al.*, 1999). 본 속 식물은 엽액에 달리면서 늘어지는 미상화서인 옹화서, 반구형인 각두, 횡단면이 원형이며 각두 당 1개인 견과 등의 특징에 의해 과내 다른 속 식물들과 구분된다 (Prantl, 1889; Camus, 1936-1954; Melchior, 1964; Hutchinson, 1967; Maleev, 1985; Kubitzki, 1993; Nixon, 1993; Huang *et al.*, 1999).

*교신저자: 전화 (02) 880-6681, 전송 (02) 888-6276, parkc@plaza.snu.ac.kr

접수: 2005년 2월 23일, 완료: 2005년 3월 11일

참나무속은 각두 포린의 형태에 따라 크게 참나무아속(subgen. *Quercus*)과 가시나무아속[subgen. *Cyclobalanopsis* (Oerst.) C. K. Schneid.]으로 나누어진다 (Camus, 1936-1954; Kubitzki, 1993; Nixon, 1993). 본 연구 대상 분류군들이 속하는 참나무아속은 각두에 포린이 비늘 모양으로 덮여 있는 특징에 의해, 각두 포린이 합생하며 동심원상의 층을 형성하는 가시나무아속과 구별된다 (Camus, 1936-1954; Kubitzki, 1993; Nixon, 1993; Huang *et al.*, 1999). 참나무아속은 전 세계적으로 약 350 여종을 포함하며, 아시아, 유럽, 북미, 북아프리카 등 북반구의 아한대에서 열대지역에 이르기까지 널리 분포한다 (Kubitzki, 1993; Nixon, 1993; Huang *et al.*, 1999).

우리나라의 참나무아속에 대한 연구는 Skan(in Forbes and Hemsley, 1899), Palibin (1900), Komarov(1903)를 비롯한 서구 학자들이 *Q. aliena* Blume(갈참나무), *Q. dentata* Thunb.(떡갈나무) 등의 종들이 한반도에 분포하는 것으로 기록하면서 시작되었다 (Lee, 1961a). Nakai(1911)는 Flora Koreana (Pars secunda)에서 본 아속의 한반도 분포종으로 *Q. aliena*, *Q. dentata*, *Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb.(신갈나무)를 포함하여 8종 2변종 2품종의 총 10분류군을 보고하였으며, 이후 형태적으로 *Q. serrata* Murray(졸참나무)와 비슷하나 잎이 보다 큰 특징을 근거로 *Q. major* Nakai(Nakai, 1915)를, 거치가 잎 선단쪽을 향해 더 굽으며 잎 상면에 광택이 나는 특징에 근거하여 *Q. donarium* Nakai(Nakai, 1915; 속소리나무)를, 잎 하면 털의 분포와 각두 포린의 특징에 따라 *Q. dentata*에 var. *fallax* Nakai(Nakai, 1917a; 청떡갈나무) 및 var. *erectosquamosa* Nakai(Nakai, 1917a; 선떡갈나무)의 두 변종을 기재하였다. 또한 Nakai는 Koidzumi(1912)가 잎의 크기, 거치의 형태 및 측맥의 수 등의 차이에 근거하여 기재한 *Q. liaotungensis* Koidz.(깃참나무) 및 *Q. crispula* Blume var. *manshurica* Koidz.를 *Q. mongolica*의 변종으로 각각 처리하는 등 분류학적 계급을 재설정하였으며(Nakai, 1915), 이를 종합하여 Nakai(1917b)는 한국산 본 아속 식물을 10종 12변종 5품종의 20분류군으로 정리하였다 (Fig. 1). 이후에도 Nakai는 형태적으로 *Q. serrata*와 유사하나 장타원형 또는 도란상 피침형의 잎을 갖는 특징에 근거하여 *Q. neoglandulifera* Nakai(Nakai, 1922; 섬속소리나무)를, 거치의 결각이 깊고 끝이 날카로운 특징에 근거하여 *Q. mongolica* var. *Q. laciniata* Nakai(Nakai, 1931; 깃웃신갈)를 기재하는 등 많은 신분류군을 발표하였다 (Fig. 1). Chung(1957)은 Nakai(1917b, 1922, 1924, 1926, 1931)가 인식한 분류군들을 대부분 그대로 인정하고, 한국산 본 아속식물을 14종 20변종 2품종의 총 29분류군으로 정리하였다 (Fig. 1).

한편, Lee(1956, 1958, 1961a-d, 1962, 1964)는 한국산 참나무아속 식물에 대해 상세한 형태학적 연구 및 세포학적 연구를 수행하였으며, 이를 근거로 우리나라에 분포하는 참나무아속을 *Q. acutissima* Carruth.(상수리나무), *Q. variabilis* Blume(굴참나무), *Q. dentata*, *Q. mongolica*, *Q. aliena*, *Q. serrata*의 6종과 이들의 종하위 분류군을 포함하여 6종 8변종 2품종의 12분류군으로 정리하였다 (Lee, 1961a, 1966, 1980; Fig. 1). Lee(1961a, 1966)는 이전에 기재된 많은 한국산 참나무아속 분류군 중, 잎의 크기 및 형태, 엽병의 길이와 색깔 등의 사소한 차이에 의해 기재된 *Q. dentata* var. *grandifolia* Koidz.(왕떡갈), var. *erectosquamosa*

Nakai (1917b, 1922, 1926, 1931)	Chung (1957)	Lee (1961a, 1966, 1980)	W. Lee (1996)
<i>Q. acutissima</i> Carruth.	<i>Q. acutissima</i>	<i>Q. acutissima</i>	<i>Q. acutissima</i>
<i>Q. variabilis</i> Blume (1926)	<i>Q. variabilis</i>	<i>Q. variabilis</i>	<i>Q. variabilis</i>
<i>Q. dentata</i> Thunb. var. <i>dentata</i> var. <i>grandifolia</i> Koidz. var. <i>erectosquamosa</i> Nakai var. <i>fallax</i> Nakai	<i>Q. dentata</i> var. <i>dentata</i> var. <i>grandifolia</i> var. <i>erectosquamosa</i> var. <i>fallax</i>	<i>Q. dentata</i> var. <i>dentata</i> var. <i>fallax</i> var. <i>pinnatifida</i> (Franch. & Sav.) Matsum.	<i>Q. dentata</i> var. <i>dentata</i> var. <i>fallax</i>
<i>Q. fabri</i> Hance	<i>Q. fabri</i>	<i>Q. × fabri</i> (<i>Q. dentata</i> × <i>Q. serrata</i>)	<i>Q. × fabri</i> (<i>Q. dentata</i> × <i>Q. serrata</i>)
<i>Q. mongolica</i> Fisch. ex Ledeb. var. <i>mongolica</i> f. <i>glabra</i> Nakai f. <i>tomentosa</i> Nakai var. <i>manshurica</i> (Koidz.) Nakai var. <i>liaotungensis</i> (Koidz.) Nakai f. <i>glabra</i> Nakai f. <i>funbris</i> Nakai f. <i>undulatifolia</i> Nakai var. <i>laciniata</i> Nakai	<i>Q. mongolica</i> var. <i>mongolica</i> var. <i>tomentosa</i> (Nakai) Chung var. <i>manshurica</i> var. <i>funbris</i> (Nakai) var. <i>laciniata</i>	<i>Q. mongolica</i> var. <i>mongolica</i> var. <i>liaotungensis</i> <i>Q. × pongtungensis</i> Uyeki (<i>Q. aliena</i> × <i>Q. mongolica</i>)	<i>Q. mongolica</i> var. <i>mongolica</i> var. <i>liaotungensis</i>
-	<i>Q. crispula</i> Blume <i>Q. crispulimongolica</i> Nakai (= <i>Q. crispula</i> var. <i>undulatifolia</i> (Nakai) Mori)	<i>Q. × grosseserrata</i> Blume (<i>Q. mongolica</i> × <i>Q. serrata</i>)	<i>Q. mongolica</i> var. <i>crispula</i> (Blume) Ohashi
<i>Q. aliena</i> Blume var. <i>aliena</i> var. <i>rubripes</i> Nakai var. <i>pellucida</i> Blume	<i>Q. aliena</i> var. <i>aliena</i> var. <i>rubripes</i> var. <i>pellucida</i> var. <i>acuteserrata</i> Maxim. ex. Wenzig f. <i>acuteserrata</i> f. <i>calvescens</i> Rehder & E. H. Wilson	<i>Q. aliena</i> var. <i>aliena</i> var. <i>pellucida</i> var. <i>acuteserrata</i> f. <i>acuteserrata</i> f. <i>calvescens</i>	<i>Q. aliena</i> var. <i>aliena</i> var. <i>pellucida</i> var. <i>acuteserrata</i> f. <i>acuteserrata</i> f. <i>calvescens</i>
<i>Q. glandulifera</i> Blume <i>Q. serrata</i> Murray var. <i>serrata</i> var. <i>brevipetiolata</i> (A. DC.) Nakai	<i>Q. serrata</i> var. <i>serrata</i> var. <i>brevipetiolata</i> (A. DC.) Nakai	<i>Q. serrata</i>	
<i>Q. major</i> Nakai	<i>Q. urticaefolia</i> Blume		<i>Q. serrata</i> f. <i>serrata</i>
<i>Q. neoglandulifera</i> Nakai	<i>Q. neoglandulifera</i>	<i>Q. × urticaefolia</i> (<i>Q. aliena</i> × <i>Q. serrata</i>)	
<i>Q. donarium</i> Nakai	<i>Q. donarium</i>		<i>Q. serrata</i> f. <i>donarium</i> (Nakai) Kitam.
<i>Q. mccormickii</i> Carruth. var. <i>mccormickii</i> var. <i>koreana</i> (Nakai) Nakai	<i>Q. mccormickii</i> var. <i>mccormickii</i> var. <i>koreana</i>	<i>Q. × mccormickii</i> (<i>Q. aliena</i> × <i>Q. dentata</i>)	<i>Q. × mccormickii</i> (<i>Q. aliena</i> × <i>Q. dentata</i>)
<i>Q. angustelepidota</i> Nakai var. <i>coreana</i> Nakai	<i>Q. angustelepidota</i> var. <i>coreana</i>		
<i>Q. × dentatomongolica</i> Nakai (<i>Q. mongolica</i> × <i>Q. dentata</i>) <i>Q. × mongolicodentata</i> Nakai (<i>Q. dentata</i> × <i>Q. mongolica</i>)	<i>Q. × dentatomongolica</i> <i>Q. × mongolicodentata</i>	<i>Q. × dentatomongolica</i>	<i>Q. × dentatomongolica</i>

Fig. 1. Taxa of *Quercus* subgen. *Quercus* in Korea recognized by various authors.

(선떡갈나무) 및 var. *latisquamosa* Uyeki, *Q. mongolica* var. *manshurica* (Koidz.) Nakai(물갈나무), *Q. aliena* var. *dolichophylla* Uyeki, var. *heterophylla* Uyeki, var. *rubripes* Nakai(홍갈참나무) 및 var. *acuticarpa* Uyeki, *Q. serrata* var. *brevipetiolata* (A. DC.) Nakai(당채갈나무) 및 var. *longicarpa* Uyeki 등을 개체 변이 또는 종내 변이로 보고 분류학적 타당성이

없는 것으로 인식하였다 (Fig. 1). 또한, Lee(1961b, 1966)는 잎과 포린의 크기와 형태, 엽병의 길이 및 직경, 소지의 직경, 잎 하면의 털의 종류 및 분포 양상 등 형태학적 주요 식별형질의 분석을 근거로 *Q. mongolica* var. *mongolica* f. *tomentosa* Nakai(털물갈나무), var. *liaotungensis* (Koidz.) Nakai f. *funnebris* Nakai(털깃웃신갈) 및 f. *undulatifolia* Nakai(소리나무), var. *laciniata* Nakai, *Q. pongtungensis* Uyeki(봉동참나무), *Q. grosseserrata* Blume(물참나무), *Q. urticaefolia* Blume(갈줄참나무), *Q. neoglandulifera*, *Q. donarium*, *Q. major*, *Q. serrata* var. *latifolia* Koidz., *Q. mccormickii* Carruth.(떡갈참나무), *Q. mccormickii* var. *koreana* (Nakai) Nakai(개줄참나무), *Q. angustelepidota* Nakai var. *coreana* Nakai(개떡갈나무), *Q. fabri* Hance(떡속소리나무) 등은 분류군간 잡종일 것으로 판단하였다 (Fig. 1).

최근 대부분의 학자들(W. Lee, 1996; Y. Lee, 1996)은 한국산 본 아속 식물들 중 수준에서 *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. dentata*, *Q. mongolica*, *Q. aliena* 및 *Q. serrata*의 6종으로 인식하고 있으나, 종하위 분류군 설정에 있어서는 서로 다른 견해가 제시되어 있다. 예를 들면 Lee, W.(1996)는 Lee(1961b, 1980)와 Chang and Lee(1984) 등에 의해 *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 중간 잡종으로 인식된 *Q. grosseserrata*를 *Q. mongolica*의 변종[*Q. mongolica* var. *crispula* (Blume) Ohashi]으로 처리하였으며, 또한 Lee(1961b)에 의해 *Q. serrata*와 *Q. aliena*의 중간 잡종으로 인식된 *Q. urticaefolia*를 비롯한 *Q. major*, *Q. neoglandulifera*, *Q. donarium* 및 *Q. serrata* var. *latifolia* 등에 대해서도, *Q. donarium*을 *Q. serrata*의 품종으로 인식하고[*Q. serrata* f. *donarium* (Nakai) Kitam.], 그 외 나머지 분류군들은 모두 *Q. serrata* f. *serrata*의 이명으로 처리하였다 (Fig. 1).

상기한 바와 같이, 한국산 참나무아속 식물들은 학자들간에 분류군의 한계, 계급 설정 및 형질 변이 양상에 대한 해석에 있어 혼란이 있어왔으며, 따라서 본 연구에서는 한국산 본 아속 식물들을 대상으로 수리분류학적 분석을 수행하여 (1) 각 종의 형태학적 형질의 변이 폭, 변이 양상을 규명하고, (2) 이들을 구분하는 주요 식별형질을 파악하며, (3) 이들 한국산 참나무아속에 속하는 종들의 분류학적 실체를 이해하고자 하였다.

재 료 및 방 법

본 연구에서는 1999년부터 2002년 사이에 지리산, 설악산, 소백산, 주흘산, 변산, 강화도 마니산, 남해 금산, 관악산, 삼성산, 유명산, 동해 초록봉, 석모도, 나로도, 거창, 산청, 장흥, 삼척 장호, 봉화, 해남, 수원 등 전국 각지에서 채집한 표본과 서울대학교 생명과학부 표본관(SNU), 서울대학교 농업생명과학대학 부속수목원 표본관(SNUA) 등에 소장되어 있는 표본들을 연구재료로 사용하였다. 본 연구기간 중에 채집한 개체들의 표본은 SNU에 확정표본으로 소장하였다.

상기한 표본들은 일차적으로 원기계문을 참조하여 각 분류군으로 동정, 분류하였으며, 잎과

소지, 각두를 포함한 열매 등 기관 별로 이들 분류군의 형태적 특징 및 주요 식별형질을 측정, 분석하였다. 이러한 일차 분석 결과를 토대로 참나무아속 분류군들의 형태적 특징을 잘 나타내주는 40개의 형질들(Fig. 2, Table 1)을 확정한 후, 상기 표본 중 *Q. acutissima* 21점, *Q. variabilis* 16점, *Q. dentata* 17점, *Q. mongolica* 23점, *Q. aliena* 20점, *Q. serrata* 24점과, 털의 종류 및 분포 양상으로 볼 때 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*의 잡종으로 추정되는 개체(D-M) 표본 4점, *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 잡종으로 추정되는 개체(M-S) 표본 4점, *Q. aliena*와 *Q. serrata*의 잡종으로 추정되는 개체(A-S) 표본 5점을 포함한 총 134점의 표본에 대해 이들 형질을 측정하였다. 분석에 사용된 표본은 전체 표본 중에서 완전히 성숙된 잎, 열매가 있는 상기 40개 형질들(Table 1)의 측정이 가능한 표본을 대상으로, 각 분류군의 전국적 분포 범위, 고도 및 기타 환경 요소에 따르는 생태적 분포 범위를 잘 반영할 수 있도록 선정하였다.

각 형질은 부위에 따른 변이를 배제하기 위하여 가능한 한 동일 부위의 기관으로부터 측정하였다. 잎의 형태 및 크기는 본 아속 분류군들을 구분하는 중요한 형질로 사용되어 왔으므로(Thunberg, 1784; Blume, 1850; Ledebour, 1850; Carruthers, 1862; Koidzumi, 1912; Nakai, 1917b, 1922, 1931; Lee 1961a, 1961b, 1966; Chang and Lee, 1984), 이를 정확히 분석하기 위하여 잎의 길이(형질 1), 최대폭(형질 2), 1/6, 1/2, 5/6 지점의 폭(형질 3-5), 엽선에서 최대폭까지의 거리(형질 10 참조)로 나누어 측정하고, 잎의 길이에 대한 최대폭의 비(형질 9), 최대폭의 위치(형질 10) 및 1/2지점 폭에 대한 1/6 및 5/6지점의 폭의 비(형질 11, 12)를 계산하였다. 한편, 소지의 직경(형질 24), 소지 정단부 동아의 길이와 폭(형질 25, 26), 화주의 길이(형질 31), 각두 포린의 길이와 폭(형질 38, 39), 결실기 자화서의 길이(형질 40) 등은 해부현미경 하에서 micrometer로, 견과의 폭(형질 30), 각두의 직경(형질 34) 등은 vernier caliper로 측정하였다.

상기한 측정 결과 얻어진 자료로부터 분류군별로 40개 형질에 대한 평균값, 최소값, 최대값 및 표준편차를 구하였으며, 또한 동일 자료에 대해 주성분분석(principal components analysis)을 수행하여 이들 분류군의 한계, 주요 식별 형질의 변이 폭 및 변이 양상을 밝히고자 하였다. 주성분분석은 측정값 data matrix로부터 correlation coefficient matrix를 계산하여 microcomputer-용의 SAS program(SAS Institute, 1990: Release 6.11)을 사용하여 수행하였다.

결 과 및 고 찰

잎 (형질 1-23; Table 1): 참나무아속 한국산 분류군들의 잎의 크기 및 형태는 비교적 큰 종간 변이를 나타내며, 본 아속 한국산 일부 분류군들을 식별하는데 유용한 것으로 밝혀졌다. 본 아속 한국산 분류군들의 잎의 길이(형질 1)는 5.7-25.3 cm 정도로, *Q. dentata*와 *Q. aliena*가 각각 평균 21.0, 19.0 cm로 가장 길고, *Q. serrata*가 평균 10.6 cm로 가장 짧으며, *Q.*

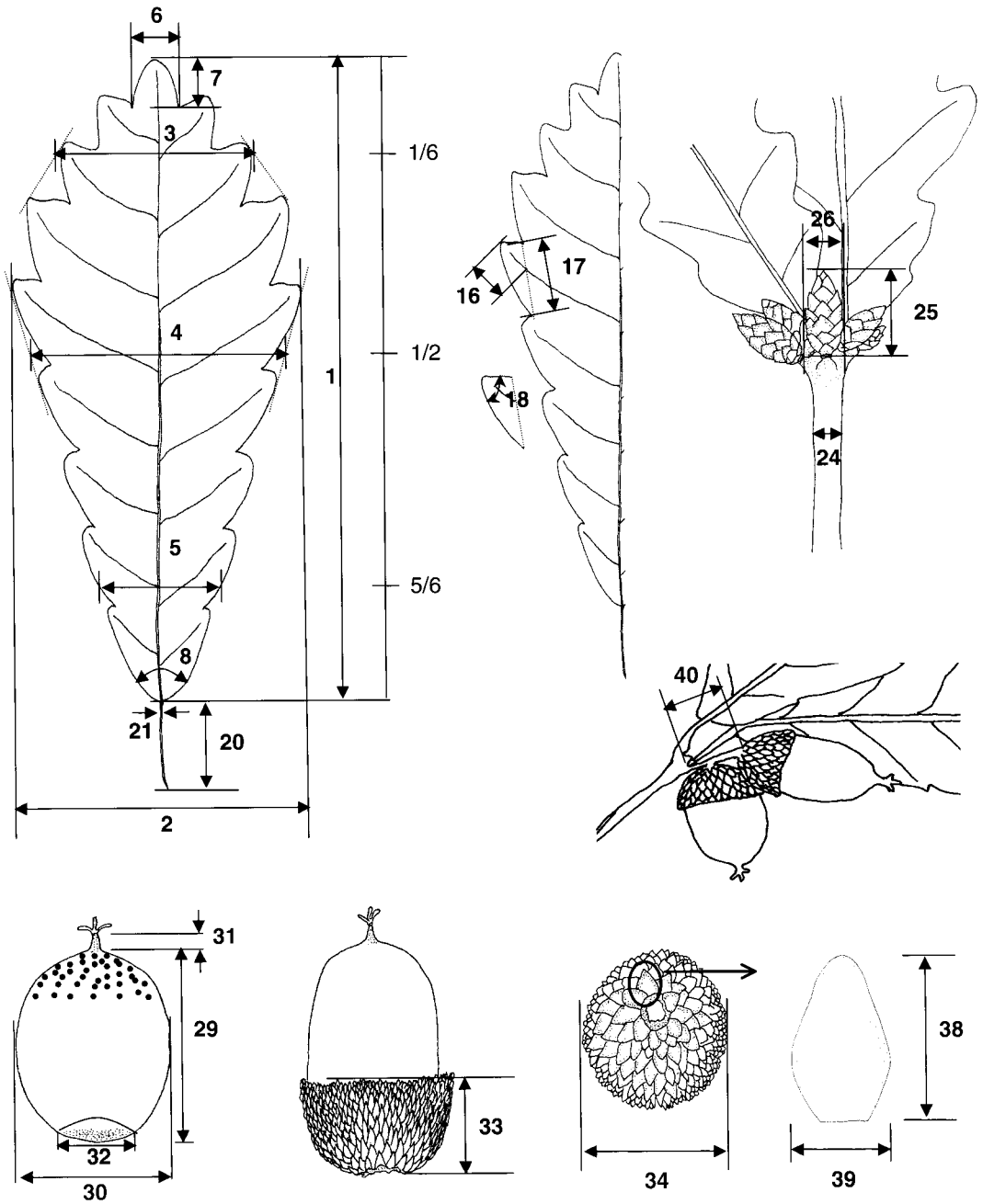


Fig. 2. Diagram showing the characters used in numerical analyses of *Quercus* subgen. *Quercus* in Korea. Numbers correspond to character numbers in Table 1.

Table 1. Morphological characters used in numerical analyses of Korean taxa of *Quercus* subgen. *Quercus*. See Fig. 2 for further clarification.

Leaf:

1. Leaf length [cm]
2. Leaf width at the widest point [cm]
3. Leaf width at 1/6 point of the blade [cm]
4. Leaf width at 1/2 point of the blade [cm]
5. Leaf width at 5/6 point of the blade [cm]
6. Leaf apex width [cm]
7. Leaf apex length [cm]
8. Leaf base angle [degree]
9. Character 2/character 1
10. Distance from leaf apex to the widest point of leaf [cm]/character 1
11. Character 3/character 4
12. Character 5/character 4
13. Width between the lowermost pair of sinuses [cm]/character 4
14. Character 7/character 6
15. Number of veins
16. Tooth (lobe) length [cm]
17. Tooth (lobe) width [cm]
18. Tooth (lobe) apex angle [degree]
19. Length of shorter edge of tooth/length of longer edge of tooth
20. Intersinus width at the widest point of leaf [cm]/character 2
21. Petiole length [cm]
22. Petiole diameter [mm]
23. Character 21/character 1
24. Twig diameter [mm]
25. Winter bud length [mm]
26. Winter bud width [mm]
27. Number of buds at twig tip
28. Character 25/character 26

Fruit:

29. Nut length [cm]
 30. Nut width [cm]
 31. Style length [mm]
 32. Diameter of nut scar [cm]
 33. Cupule height [cm]
 34. Outer diameter of cupule [cm]
 35. Character 29/character 30
 36. Length of nut exposed in acorn [cm]/character 29
 37. Diameter of pubescent region of nut [cm]/character 30
 38. Length of cupule scale [cm]
 39. Width of cupule scale [mm]
 40. Pistillate inflorescence length [cm]
-

acutissima, *Q. variabilis*, *Q. mongolica*는 평균 13.6–14.9 cm로 중간 정도의 길이를 갖는 것으로 나타났다. 그러나 최대폭의 경우, *Q. dentata*가 평균 14.9 cm로 가장 넓고, *Q. aliena*(평균 10.5 cm), *Q. mongolica*(평균 8.6 cm) 순으로 크기가 작아지며, *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. serrata*가 평균 4.5–5.5 cm 정도로 비슷한 최대폭 값을 가지면서 가장 좁은 것으로 나타났다 (Fig. 3). 한편, 잎의 길이에 대한 최대폭의 비(형질 9)는 *Q. dentata*가 평균 0.71, *Q. mongolica*가 0.64로 높은 값을, *Q. aliena*가 평균 0.55, *Q. serrata*가 0.43으로 중간 정도의 값을, *Q. variabilis*, *Q. acutissima*가 각각 평균 0.38, 0.31로 상대적으로 낮은 값을 갖는 것으로 나타났다. 최대폭의 위치를 나타내는 형질 10(Fig. 2, Table 1)의 값은 *Q. acutissima*, *Q. variabilis*가 각각 평균 0.59, 0.57로 최대폭이 잎 하부에 위치하고, 나머지 분류군들은 평균 0.35–0.43 정도로 상부에 위치하였다. 이는 *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*의 잎이 난상 피침형 또는 피침형인 반면, 나머지 분류군들의 잎은 도란형, 좁은 도란형 또는 타원형, 좁은 타원형인 것을 의미한다. 특히 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*의 잎 모양은 잎의 길이에 대한 최대폭의 비율(형질 9)이 다른 분류군들보다 상대적으로 높고, 최대폭 위치(형질 10)가 엽선 쪽에 가까우며, 잎 하부의 폭(형질 5, 12)이 급격히 좁아지는 경향이 있는 것으로 밝혀졌다 (Figs. 3, 4).

본 아속 한국산 분류군들의 엽연은 파상 또는 심파상 거치, 둔거치, 예거치 또는 소치아상 거치 등으로 다양하며, 거치의 크기와 형태는 한국산 분류군들을 구분하는데 매우 유용한 것으로 나타났다 (Figs. 3, 4). *Quercus dentata*의 엽연에는 심파상 거치가 있으며 (Fig. 4C), 거치는 끝이 원두, 길이(형질 16)가 평균 2.3 cm, 폭(형질 17)이 평균 4.0 cm로 본 아속 한국산 종 중 가장 크다. 한편, *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*는 예거치 또는 소치아상의 엽연 형태를 갖고 거치 크기가 작고 끝이 침형인 특징을 가진다 (형질 16, 17; Figs. 3, 4). *Quercus serrata*는 엽연에 작은 예거치를 가지며, 거치 끝이 내곡하는 미철두인 특징을 나타낸다 (Fig. 4F). 또한, *Q. aliena*는 대체로 파상의 거치를(Fig. 4E), *Q. mongolica*는 예거치, 둔거치 또는 간혹 파상의 거치를 가지며(Fig. 4D), 이들의 거치 크기는 *Q. dentata*와 *Q. acutissima* 및 *Q. variabilis*의 중간 정도이다 (Fig. 3). 잎 측맥의 수(형질 15)는 *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*가 각각 평균 17.3, 18.5개로 다른 분류군들보다 현저히 많고, *Q. dentata*가 평균 11.1개로 가장 적었으며, *Q. aliena*, *Q. mongolica*, *Q. serrata*는 평균 12.5–13.2개 정도로 서로 비슷한 것으로 나타났다 (Fig. 3).

엽병의 길이(형질 21)는 *Q. acutissima*와 *Q. aliena*가 각각 평균 2.9 cm, 2.7 cm로 가장 길며, *Q. mongolica*가 평균 5 mm로 가장 짧은 것으로 나타났다 (Fig. 3). 엽병의 길이가 짧은 *Q. dentata*와 *Q. mongolica* 두 분류군은 심장저 또는 이저의 엽저 형태를 가져 개체에 따라서는 엽병이 거의 없는 것처럼 보이기도 한다. 엽병의 직경(형질 22)은 *Q. dentata*가 평균 3.17 mm로 가장 두꺼우며 *Q. serrata*가 평균 0.86 mm로 가장 가는 것으로 나타났다 (Fig. 3).

소지 및 동아 (형질 24–28; Table 1): 참나무아속 한국산 분류군들의 소지는 횡단면이 원형이며, 황갈색, 회갈색 또는 흑갈색을 띤다. *Quercus dentata*의 소지에는 황갈색의 단모와 총생모가 섞여나면서 밀생하며, *Q. serrata*의 경우에는 소지 정단부 가까이에 단세포성 단모

가 약간 분포한다. 잡종 추정 개체를 제외한 나머지 분류군들의 소지는 모두 무모이다. 소지의 직경(형질 24)은 *Q. dentata*가 평균 5.0 mm로 가장 컸으며, *Q. aliena*, *Q. mongolica*는 평균 3.5-4.0 mm로 중간 정도였고, *Q. variabilis*, *Q. acutissima*, *Q. serrata*가 평균 1.7-2.3 mm 정도의 작은 값을 갖는 것으로 나타났다. 한편, 잡종 추정 개체들의 소지 직경은 모두 추정 부모종의 중간 정도의 값을 나타내었다 (Fig. 3).

참나무아속 한국산 분류군의 소지 정단부의 동아는 10-25개 정도의 황자색 또는 홍자색 아린으로 덮여 있으며, 아린의 표면 또는 가장자리는 무모이거나 분류군에 따라 단모가 분포한다. 동아의 길이(형질 25)는 *Q. dentata*와 *Q. aliena*가 각각 평균 1.02 cm, 9.8 mm로 가장 길며, *Q. serrata*가 평균 3.9 mm로 가장 짧고, *Q. mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. acutissima*는 평균 6.4-7.7 mm로 중간 크기를 갖는 것으로 나타났다 (Fig. 3). 동아의 폭에 대한 길이의 비(형질 28)는 *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*가 각각 평균 2.3, 2.2로 2.0이하인 나머지 분류군들보다 크며(Fig. 3), 이는 이들 두 분류군의 동아가 다른 분류군들의 동아보다 폭이 더 좁은 난형임을 의미한다. 소지 정단부의 동아 수(형질 27)에 있어서도 *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*는 대부분 개체들에서 2개이며 드물게 1개 혹은 3개로, 3개에서 8개(평균 3.8-5.3개)의 동아를 갖는 나머지 분류군들과 뚜렷이 차이를 나타내었다 (Fig. 3). 한편, 잡종 추정 개체들의 동아의 길이는 모두 추정 부모종의 중간 정도의 크기를 갖는 것으로 나타났다. 그러나, 소지 정단부 동아의 수에 있어서는 D-M 개체들, M-S 개체들이 각각 두 추정 부모종들보다 적었고, A-S 개체들의 경우는 평균 4.0개로 두 추정 부모종 *Q. aliena*(평균 5.3개), *Q. serrata*(평균 3.8개) 중 적은 수의 동아를 갖는 *Q. serrata*와 비슷한 것으로 나타났다 (Fig. 3). 이러한 결과로 볼 때, 잡종 추정 개체들은 전반적으로 추정 부모종들보다 적은 수의 동아를 갖는 경향이 있는 것으로 생각된다.

건과 (형질 29-32, 35, 37, Table 1): 참나무아속 한국산 분류군들의 건과 크기는 길이(형질 29)에 있어서는 평균 1.50-1.65 cm로 분류군간 뚜렷한 차이가 없었으나, 폭(형질 30)의 경우에는 평균 0.87-1.41 cm로 분류군간 변이가 다소 있는 것으로 나타났다 (Fig. 3). 한편, 건과의 형태는 *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*의 경우 건과 폭에 대한 길이의 비(형질 35)가 각각 평균 1.06, 1.18로 대체로 구형 또는 아구형이며, *Q. aliena*, *Q. mongolica* 및 *Q. dentata*는 평균 1.31-1.33 정도로 광타원체형 또는 타원체형, 그리고 *Q. serrata*는 평균 1.84로 타원체형 또는 좁은 타원체형이었다 (Fig. 3). 잡종 추정 개체들의 건과의 크기와 모양은 M-S, A-S 개체들은 추정 부모종간 중간적인 특징을 나타내는데 비해, D-M 개체들의 경우에는 건과 길이는 추정 부모종과 비슷하나 폭에 있어서는 두 추정 부모종보다 넓은 것으로 밝혀졌다 (Fig. 3). 즉, D-M 개체들은 건과 폭에 대한 길이의 비가 평균 1.12로 두 추정 부모종(각각 평균 1.33)보다 작은 값을 가지며, 대체로 타원체형의 건과를 갖는 두 추정 부모종과는 달리 주로 아구형의 건과를 갖는 것으로 나타났다.

각두 및 포린 (형질 33, 34, 36, 38, 39; Table 1): 본 아속 한국산 분류군들의 각두 모양은 대체로 반구형이며, 각두 높이(형질 33)와 직경(형질 34)은 일부 분류군간에 차이가 존재한다 (Fig. 3). 한편, 각두 포린의 크기와 형태는 본 아속 분류군들을 구분하는 주요 식별형질

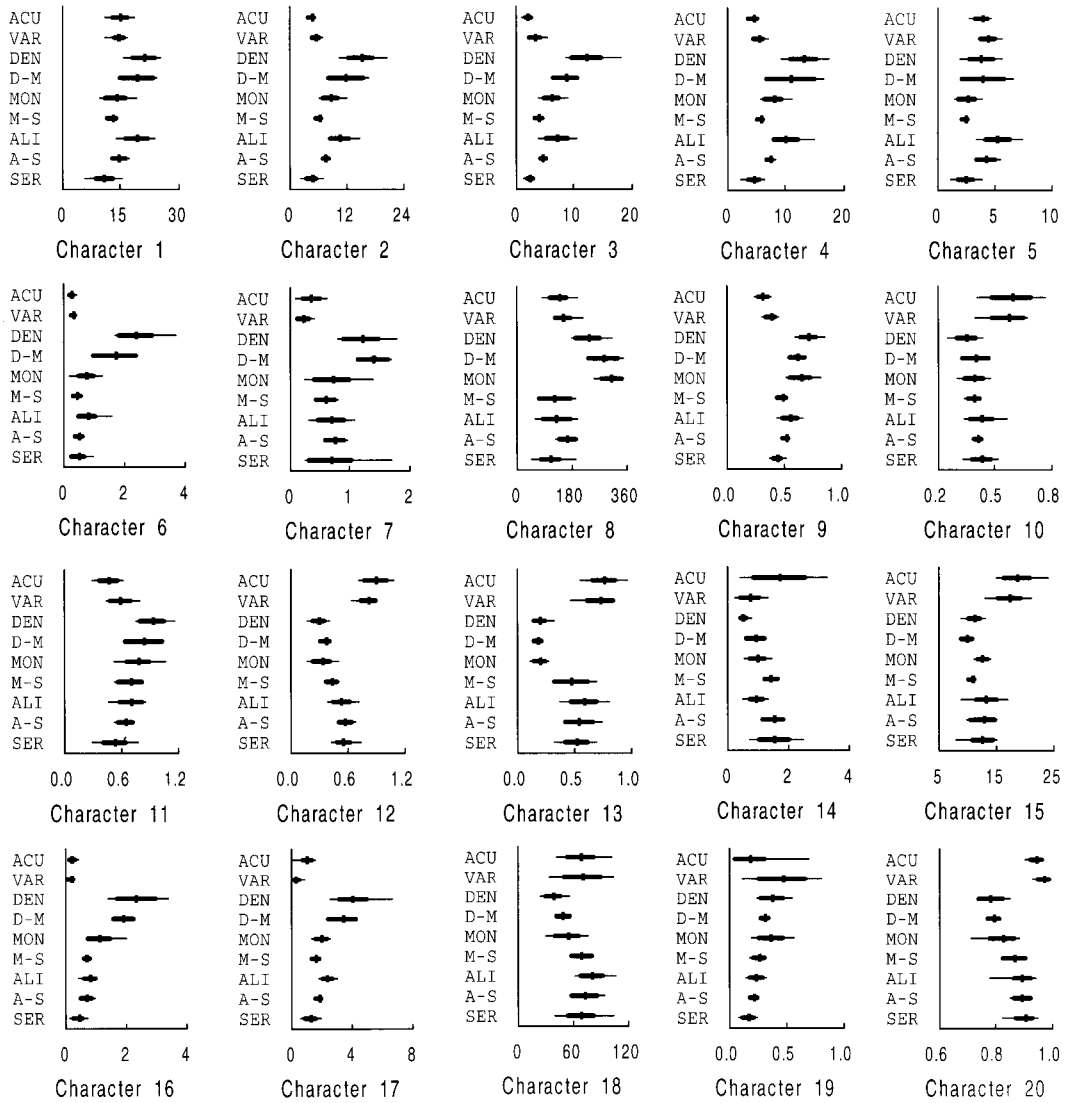


Fig. 3. Ranges, means, and standard deviations for 40 morphological characters measured from 134 individuals of *Quercus* subgen. *Quercus* in Korea. Means are indicated by vertical lines, and standard deviations are indicated by thickened horizontal lines. Character numbers correspond to those in Table 1. ACU: *Q. acutissima*, VAR: *Q. variabilis*, DEN: *Q. dentata*, MON: *Q. mongolica*, ALI: *Q. aliena*, SER: *Q. serrata*, D-M: putative hybrid individuals between *Q. dentata* and *Q. mongolica*, M-S: putative hybrid individuals between *Q. mongolica* and *Q. serrata*, A-S: putative hybrid individuals between *Q. aliena* and *Q. serrata*.

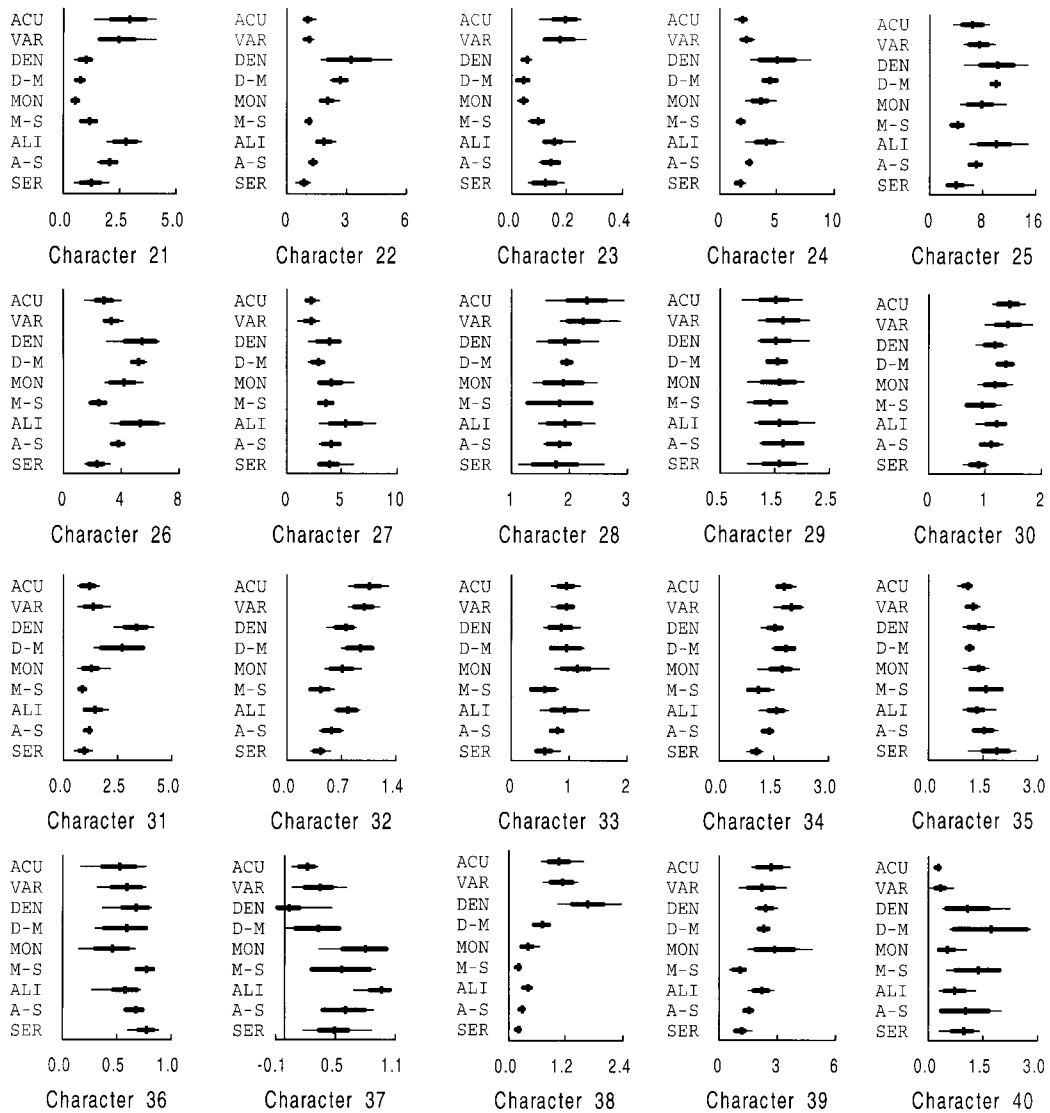


Fig. 3. (Continued).

로 인식되어 왔으며(Lee, 1961a, b, 1966; Ohwi, 1965; Huang *et al.*, 1999), 한국산 분류군간에도 변이가 있는 것으로 나타났다 (Fig. 3). *Quercus acutissima*와 *Q. variabilis*의 포린은 길이(형질 38)가 평균 1.0-1.1 cm, 폭(형질 39)이 평균 2.2-2.6 mm 정도인 침형으로 뒤로 젖혀진다. *Quercus dentata*의 포린은 길이가 평균 1.66 cm 정도로 한국산 본 아속 분류군 중 가장 길고, 그 폭이 평균 2.4 mm로서 선형 내지 피침형이며 뒤로 젖혀진다. 한편, *Q.*

*mongolica*의 포린은 길이가 평균 3.8 mm, 폭이 평균 2.8 mm로 한국산 본 아속 분류군 중 포린 폭이 가장 넓은 삼각상 난형으로, 포린의 등 부분이 튀어 나온 특징을 갖는다. 또한, *Q. aliena*와 *Q. serrata*의 포린은 난상 피침형으로, 특히 *Q. serrata*의 포린은 길이가 평균 1.9 mm, 폭이 평균 1.1 mm로 한국산 분류군 중 가장 작다 (Fig. 3). 잡종 추정 개체들의 각두 포린의 경우, A-S 개체들은 포린 길이와 폭에 있어 모두 추정 부모종의 중간 정도의 값을 갖는 것으로 나타난 반면, D-M 개체들은 포린 길이에 있어서는 두 추정 부모종의 중간 정도이고 폭은 *Q. dentata*에 가까웠으며, M-S 개체들은 포린 길이와 폭 모두 두 추종 부모종 중 *Q. serrata*에 가까운 것으로 나타났다.

자화서 (형질 40; Table 1): 참나무아속 식물의 자화서에는 여러 개의 암꽃이 달리며, 암꽃이 수정된 후 견과로 성숙함에 따라 약간 신장되면서 목질화된다. 참나무아속 한국산 분류군들의 결실기 자화서의 길이(형질 40)는 비교적 큰 폭의 분류군내 변이를 나타내었으나, 일부 분류군간에 차이가 존재하는 것으로 밝혀졌다 (Fig. 3). *Quercus dentata*의 결실기 자화서의 길이는 0.4-2.25 cm(평균 1.06 cm) 정도로 비교적 큰 폭의 변이를 나타내었으며, *Q. serrata*는 평균 9.3 mm, *Q. aliena*와 *Q. mongolica*는 평균 5.2-7.1 mm 정도였고, *Q. acutissima*와 *Q. variabilis*는 각각 평균 2.5 mm, 3.2 mm로 매우 짧은 것으로 나타났다. 한편, 잡종 추정 개체들의 결실기 자화서의 평균 길이는 모두 추정 부모종들의 평균 길이보다 긴 것으로 나타났다 (Fig. 3).

주성분분석: 참나무아속 한국산 분류군들의 형태변이 양상을 정확히 규명하고 각 분류군의 실제 및 한계를 객관적으로 파악하기 위해, 주요 식별 형질인 잎, 소지, 동아, 견과, 결실기의 자화서, 각두, 포린의 크기 및 형태와 관련된 40개 형질들(Table 1)을 사용하여 주성분 분석을 수행하였다. 주성분분석 결과, 처음 3개의 주성분(PC 1, 2, 3)이 전체 분산의 65.9%를 설명하는 것으로 나타났으며, 나머지 주성분들은 그 기여율이 각각 6.8% 이하였다 (Table 2). 주성분 1은 전체 분산의 39.0%를 설명하며 잎의 폭에 관한 형질(형질 2-4), 엽선의 폭(형질 6), 잎의 길이에 대한 최대폭의 비율(형질 9), 잎 중앙폭에 대한 각 지점의 폭의 비율(11-13), 거치의 크기 및 결각 정도(형질 16, 17, 20), 엽병의 직경(형질 22), 소지 직경(형질 24) 등의 형질들과 비교적 높은 상관관계를 나타내었으며, 이들은 대부분 잎에 관한 형질들이었다 (Tables 1, 2). 주성분 2는 전체 분산의 19.1%를 설명하며, 견과 폭(형질 30), 견과 좌 직경(형질 32), 각두의 직경(형질 34), 견과 폭에 대한 길이의 비(형질 35) 등 주로 견과 및 각두의 크기와 형태 등에 관련된 형질이 높은 vector값을 나타내었다 (Tables 1, 2). 주성분 3은 기여율이 7.8%로 비교적 낮으며, 잎 5/6지점의 폭(형질 5), 엽저의 각도(형질 8), 엽병의 길이(형질 21), 각두의 높이(형질 33), 각두에서 견과의 노출 정도(형질 36) 등과 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다 (Tables 1, 2).

이 중 기여율이 가장 높은 주성분 1과 2를 축으로 하여 각 개체들을 배열한 결과, 이들은 크게 *Q. acutissima*-*Q. variabilis* 집단, *Q. serrata* 집단, *Q. aliena*-*Q. mongolica* 집단 및 *Q. dentata* 집단 등 4 집단으로 구분되었으며, 잡종으로 추정된 개체들은 대체로 추정 부모종 집단 사이에 위치하였다 (Fig. 5). 이 중 *Q. dentata* 개체들과 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*의

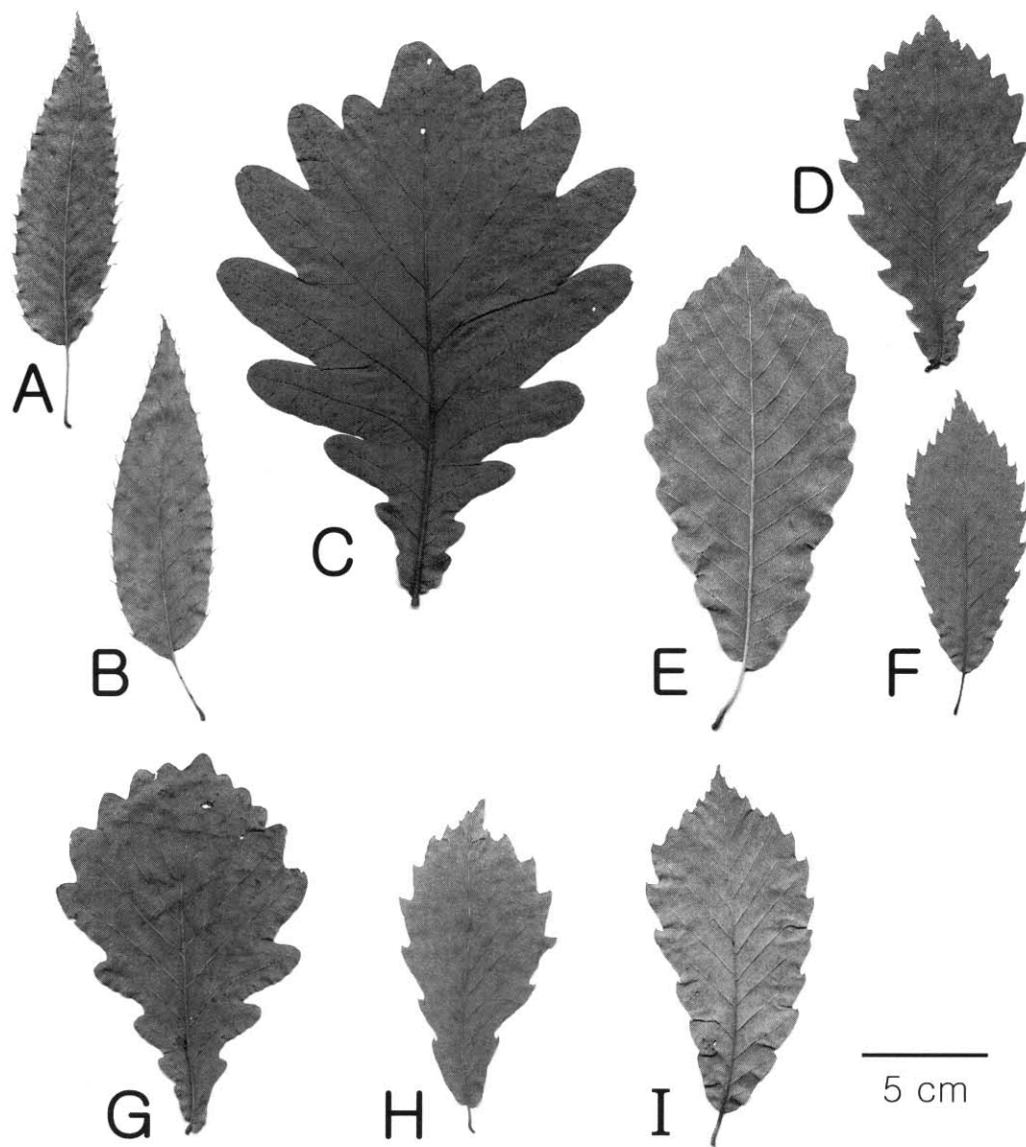


Fig. 4. Representative leaves of *Quercus* subgen. *Quercus* in Korea. A: *Q. acutissima*, B: *Q. variabilis*, C: *Q. dentata*, D: *Q. mongolica*, E: *Q. aliena*, F: *Q. serrata*, G: putative hybrid between *Q. dentata* and *Q. mongolica* (D-M), H: putative hybrid between *Q. mongolica* and *Q. serrata* (M-S), I: putative hybrid between *Q. aliena* and *Q. serrata* (A-S).

Table 2. Loading of the first three principal components for 40 morphological characters from the analysis of 134 individuals of *Quercus* subgen. *Quercus* in Korea. Character numbers correspond to those in Table 1.

Character no.	Component		
	1	2	3
1	0.158165	0.184036	0.251416
2	0.233908	0.065034	0.141509
3	0.237121	0.053755	0.092321
4	0.226765	0.067541	0.158598
5	0.018629	0.220085	0.336372
6	0.217423	0.012781	0.103823
7	0.182326	-0.070474	0.100124
8	0.154969	0.045931	-0.338259
9	0.225209	-0.059299	-0.058521
10	-0.168989	0.174987	0.041539
11	0.201743	0.002202	-0.094244
12	-0.205826	0.166126	0.121410
13	-0.204124	0.120960	0.202714
14	-0.129939	-0.046633	0.052544
15	-0.159571	0.208657	-0.022735
16	0.238695	0.002471	0.036272
17	0.226858	-0.001697	0.145487
18	-0.135999	0.018047	0.146012
19	0.088017	0.093762	-0.149806
20	-0.213204	0.079603	0.087859
21	-0.126808	0.204799	0.281785
22	0.228543	0.068797	0.031355
23	-0.182976	0.133582	0.216217
24	0.212629	0.094385	0.085435
25	0.154780	0.197898	0.081377
26	0.181856	0.131975	0.068956
27	0.102061	-0.100405	0.129804
28	-0.050700	0.187282	0.020912
29	-0.021049	0.026689	-0.034370
30	-0.022733	0.299025	-0.082073
31	0.192537	0.094824	0.115259
32	-0.025017	0.335793	-0.067338
33	0.061423	0.214783	-0.293951
34	0.015705	0.318700	-0.186690
35	-0.018143	-0.266788	0.062528
36	-0.027712	-0.172489	0.274579
37	-0.000254	-0.084444	-0.082384
38	0.074767	0.220541	0.064747
39	0.066990	0.215874	-0.224380
40	0.101893	-0.152265	0.192065
Eigenvalue	15.6101	7.6199	3.1466
Cumulative % of eigenvalues	39.0	58.1	65.9

잡종으로 추정되는 일부 개체들(D-M)은 주성분 1에서 높은 값을 가지면서 오른쪽에 위치하여 나머지 분류군 집단 개체들과 구분되었다. 이는 *Q. dentata* 개체들 및 일부 D-M 개체는 다른 분류군 집단 개체들에 비해 잎의 크기가 크며, 잎 길이에 대한 최대폭의 비가 크고, 거치가 클 뿐만 아니라 깊게 결각되어 있으며, 엽병과 소지가 굵은 경향이 있음을 의미한다 (Table 2). 또한 *Q. dentata*는 엽신의 폭 및 길이(형질 6, 7)가 크며(Fig. 3), 엽저가 이저이고, 잎 상 하면에 털이 많은 특징을 나타낸다 (Murray, 1784; Thunberg, 1784; Lee 1961a, 1980; Ohwi, 1965; Maleev, 1985; Huang *et al.*, 1999). 한편, Koidzumi(1912)는 한국과 일본에 분포하는 본 종의 개체들 중 길이가 20-30 cm에 이르는 비교적 큰 잎을 갖는 개체를 var. *grandifolia*로 기재한 바 있다. 그러나 본 연구에서 측정한 *Q. dentata* 개체들의 잎의 길이는 15.8-25.3 cm(평균 21.0 cm)로서 뚜렷한 gap 없이 연속적인 변이를 나타내었다 (Fig. 3). 또한 주성분분석에서도 모든 *Q. dentata* 개체들은 하나의 집단을 형성하였으며(Fig. 4), 이러한 결과는 var. *grandifolia*를 *Q. dentata*의 이명으로 처리한 분류학적 견해(Kitamura and Horikawa, 1951; Lee, 1961a, 1966; W. Lee, 1996)를 지지하였다.

한편, *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. serrata* 및 *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 잡종으로 추정되는 개체들(M-S)은 주성분 1에서 대체로 낮은 값을 가지면서 왼쪽에 위치하여(Fig. 5), 상기 개체들이 다른 분류군 집단 개체들에 비해 엽신의 폭이 좁고, 거치가 작고 얇게 결각되어 있으며, 엽병과 소지가 상대적으로 가는 경향이 있는 것으로 밝혀졌다 (Table 2). 이들 개체들은 주성분 1에서는 비슷한 값을 가지나, 주성분 2에서 *Q. acutissima*-*Q. variabilis* 집단 개체들이 양의 값을, *Q. serrata* 집단 및 M-S 개체들이 -1이하의 음의 값을 가지면서 뚜렷이 구분되었다 (Fig. 5). 이러한 결과는 *Q. serrata*가 주성분 2와 상관관계가 높은 견과 폭(형질 30), 견과 좌 및 각두 직경의 크기(형질 32, 34)가 작으며, 견과 모양에 있어서도 *Q. acutissima*, *Q. variabilis*를 포함하는 본 아속 한국산 다른 분류군 개체들보다 폭이 더 좁은 긴 타원체형임을 의미한다 (Fig. 3, Table 2). 또한, *Q. serrata*는 잎의 크기 및 거치의 크기가 작고, 엽선은 점첨두 혹은 예두이며, 엽저는 췌기저, 예저, 둔저 또는 간혹 원저이며, 엽연에 날카로운 예거치를 갖는 특징을 나타낸다 (Murray, 1784; Thunberg, 1784; Blume, 1850; Lee, 1961a, 1980; Ohwi, 1965; Huang *et al.*, 1999; Figs. 3, 4, Table 1). 특히 잎 거치 끝은 내곡하는 미철두로 선두(gland-tipped teeth)이며, 이러한 특징으로 인해 *Q. glandulifera* Blume와 과거 혼동되기도 하였다 (Miquel, 1863; Franchet and Savatier, 1875; Forbes, 1884; Wenzig, 1886; Skan, 1899; Komarov, 1903; Nakai, 1911, 1917b, 1926; Rehder and Wilson, 1916; Koidzumi, 1925) (cf. Fig. 1).

그러나, *Q. acutissima*-*Q. variabilis* 집단내의 *Q. acutissima* 개체들과 *Q. variabilis* 개체들은 주성분 1에 의해 일부 겹치면서 약하게 구분되는 것으로 나타났다 (Fig. 5). 이들 두 분류군은 속 내에서 동일 절(subgen. *Lepidobalanus* sect. *Cerris* Loudon) 또는 동일 아절(subgen. *Quercus* sect. *Cerris* subsect. *Campylolepidis* A. Camus)로 분류되어 왔으며(Camus, 1936-1954; Rehder, 1977), 잎 및 거치 형태, 견과의 크기와 모양, 각두 및 포린, 자화서의 길이 등 본 연구의 수리분류학적 분석에 사용된 주요 형태학적 형질에 있어 서로 매우 유사하다 (Figs.

3-5). 또한, 이들 두 분류군은 견과의 성숙기간이 2년인 점에 있어서도 동일하다. 그러나, *Q. acutissima*는 잎 하면 엽맥 및 엽맥 근처에 단모, 2-5개의 ray로 된 총생모(fasciculate hair), 그리고 황갈색의 다세포성 단모가 약간 분포하는 것을 제외하고는 잎 하면이 거의 무모로서 연한 녹색을 띠는 반면, *Q. variabilis*는 잎 하면에 ray가 8개인 총생모가 밀생하여 잎 하면이 전체적으로 백색을 띠고 수피가 상대적으로 두껍게 발달하는 특징이 있다 (Lee, 1966, 1980; Liao, 1970a, b; Makino, 1982; Y. Lee, 1996; J. Park, unpubl. data).

Quercus aliena-*Q. mongolica* 집단 및 *Q. aliena*와 *Q. serrata*의 잡종으로 추정되는 일부 개체들(A-S), 그리고 D-M의 1개체는 주성분 1축과 2축에서 *Q. acutissima*-*Q. variabilis* 집단, *Q. serrata* 집단, *Q. dentata* 집단의 가운데에 위치하는 것으로 나타났으며(Fig. 5), 이는 이들 개체들이 잎, 거치, 소지, 견과, 각두 및 포린의 크기와 형태, 결실기 자화서의 길이 등에 있어서 대체로 *Q. acutissima*-*Q. variabilis* 집단, *Q. serrata* 집단, *Q. dentata* 집단의 중간 정도의 값을 갖는 경향이 있음을 의미한다 (Table 2). 한편 주성분 1과 2를 축으로 한 배열(Fig. 5)에서 서로 겹치면서 하나의 집단을 형성한 *Q. aliena* 및 *Q. mongolica* 개체들은 주성분 3에 의해 서로 뚜렷이 구분되었으며(Fig. 6), 상대적으로 낮은 주성분 3값을 갖는 *Q. mongolica* 개체들은 *Q. aliena* 개체들에 비해 엽신 하부의 폭이 좁고 이저를 가지며, 엽병이 짧고, 각두가 비교적 높으면서 견과가 각두에서 털 노출되는 특징이 있는 것을 나타낸다 (Table 2). 또한 *Q. aliena*의 잎 하면은 ray가 8-16개인 총생모가 밀생하는 반면 *Q. mongolica*의 잎 하면에는 엽맥과 엽면의 하부에만 직립하는 단모가 약간 분포하는 것으로 관찰되어 두 분류군은 털의 종류 및 분포 양상에 의해 구분될 수 있다 (J. Park, unpubl. data).

분류군간 잡종 추정 개체: 참나무아속은 종간 교잡이 흔히 일어나는 대표적인 분류군중의 하나로서, 국내·외적으로 다양한 종간 잡종이 보고되어 있으며 (MacDougal, 1906; Trelease, 1917; Nakai, 1926, 1943; Uyeki, 1932; Palmer, 1948; Tucker, 1953; Lee, 1961b, c, 1964; Maze, 1968; Tucker and Bogert, 1973; Hardin, 1975; Jensen, 1977; Jensen *et al.*, 1993; Nixon, 1997), Lee(1961b, c)는 한국산 참나무아속의 잡종연구에서 *Q. dentata*, *Q. mongolica*, *Q. aliena*, *Q. serrata*의 4종간 모든 조합의 이원잡종과 삼원잡종이 국내에 분포하는 것으로 보고하였다.

우리나라의 경우, *Q. aliena*와 *Q. serrata*의 종간 잡종은 Lee(1961b)에 의해 *Q. × urticaefolia* Blume(갈줄참나무)로 인식된 바 있다. *Quercus aliena*와 *Q. serrata*의 잡종으로 추정되는 A-S 개체들은 본 연구의 수리분류학적 분석에서 사용된 거의 대부분의 형태 형질에 있어서 두 추정 부모종의 중간 정도의 값을 갖는 것으로 나타났으며(Fig. 3), 주성분분석에서도 처음 3개의 주성분 모두에서 두 추정 부모종의 중간에 위치하였다 (Figs. 5, 6). 한편, *Q. aliena*는 잎 하면에 8-16개의 ray로 구성된 총생모가 밀생하고 상면은 거의 무모이며 광택이 있는 반면, *Q. serrata*는 잎 하면에 ray수가 4-8개 정도인 총생모와 단복모가 분포하며 상면에도 단모와 총생모가 분포하는 특징이 있다 (Lee, 1961a, b). 본 연구에서 분석한 A-S 개체들은 잎 하면에 *Q. aliena*에서 나타나는 ray 수가 많은 총생모와 *Q. serrata*에서 나타나는 단복모 그리고 상면에는 단모와 총생모가 다소 분포하는 등 털의 분포양상에 있어 두 분

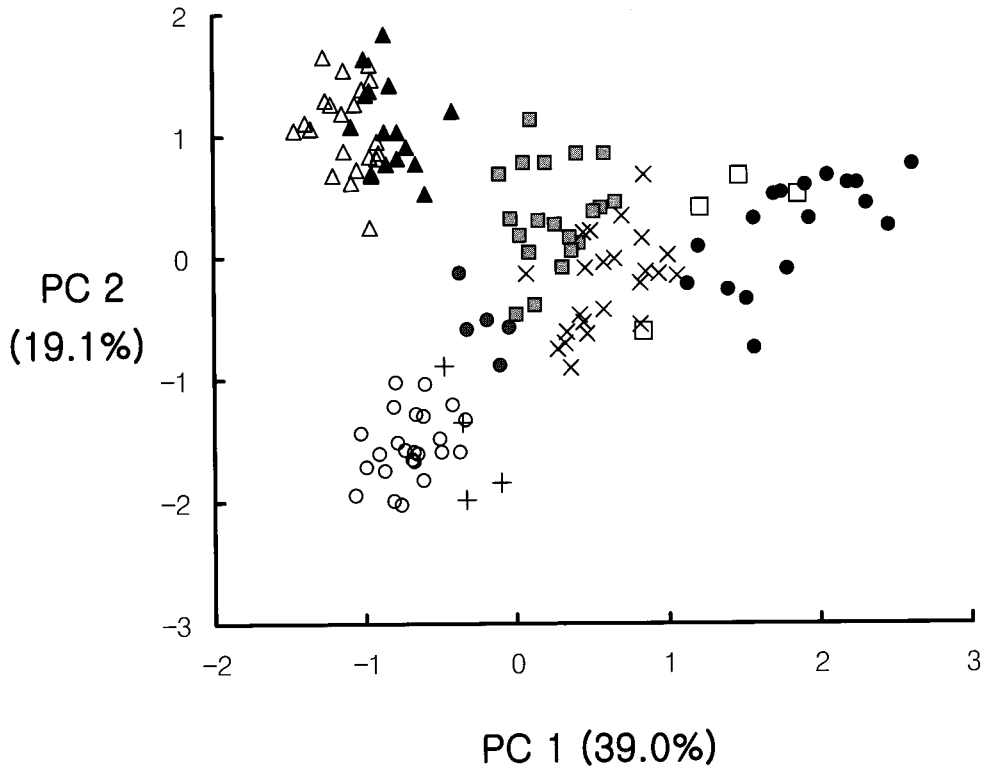


Fig. 5. Ordination of 134 individuals of *Quercus* subgen. *Quercus* in Korea along PC1 and PC2 from the principal components analysis using 40 morphological characters (cf. Table 1). Some individuals are hidden due to the same values. Symbols: Δ = *Q. acutissima*, \blacktriangle = *Q. variabilis*, \bullet = *Q. dentata*, \times = *Q. mongolica*, \blacksquare = *Q. aliena*, \circ = *Q. serrata*, \square = putative hybrid individuals between *Q. dentata* and *Q. mongolica*, $+$ = putative hybrid individuals between *Q. mongolica* and *Q. serrata*, \bullet = putative hybrid individuals between *Q. aliena* and *Q. serrata*.

류군의 중간적인 특징을 갖는 것으로 밝혀졌다 (J. Park, unpubl. data).

한편, *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 종간 잡종으로 추정되는 M-S 개체들은 본 분석에서 사용된 형태 형질에 있어서 대체로 *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 중간 값을 갖거나 *Q. serrata*와 가까운 경향을 나타내었다 (Fig. 3). 주성분분석에 있어서 M-S 개체들은 주성분 1에 있어서는 *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 중간 정도의 값을 가졌으나, 주성분 2와 3에서는 대체로 *Q. serrata*에 가까운 값을 갖는 것으로 나타났다 (Figs. 5, 6). 이러한 결과는 M-S 개체들은 주로 주성분 1과 상관관계가 높은 형질들인 엽신의 크기와 형태, 거치의 크기와 형태,

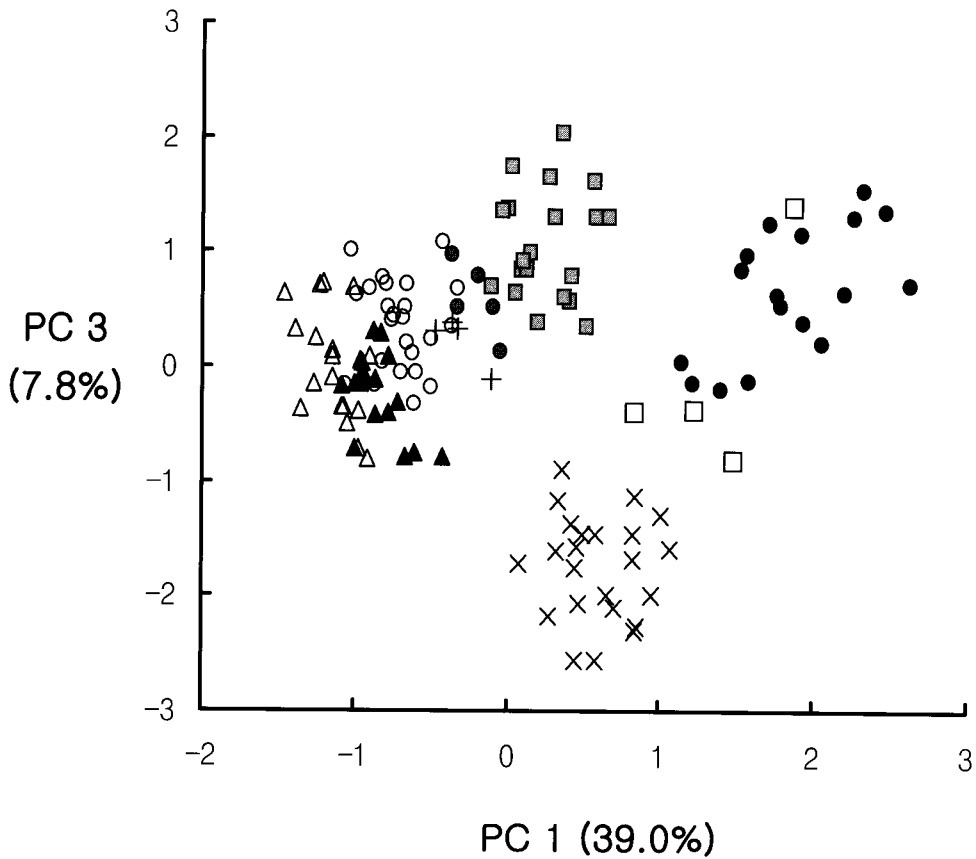


Fig. 6. Ordination of 134 individuals of *Quercus* subgen. *Quercus* in Korea along PC1 and PC3 from the principal components analysis using 40 morphological characters (cf. Table 1). Symbols correspond to those in Fig. 5.

결각 정도, 소지의 직경과 같은 형질들에 있어서는 두 추정 부모종의 중간형을 갖는 경향을 보이나, 주성분 2 및 3과 상관관계가 높은 견과 및 각두 포린의 형질들에 있어서는 *Q. serrata*와 유사한 경향이 있음을 나타내었다 (Fig. 3, Tables 1, 2). Lee(1961b)는 *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 중간 잡종을 *Q. ×grosseserrata* Blume(물참나무)로 인식한 바 있으며, *Q. ×grosseserrata*는 각 부모종에 가까운 것에서부터 부모종의 중간적 특성을 갖는 개체까지 비교적 큰 폭의 변이를 나타내고, 대체로 잎 거치는 *Q. serrata*, 엽저는 *Q. mongolica*의 특징을 가지며, 잎의 크기는 두 부모종의 중간 정도인 경향이 있는 것으로 보고하였다.

*Quercus dentata*와 *Q. mongolica*의 중간 잡종으로 추정되는 D-M 개체들은 본 분석에서

사용된 형태 형질에서 대체로 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*의 중간 값을 가졌으나, 잎의 크기 등 일부 형태 형질에 있어서 큰 폭의 개체 변이를 나타내었다 (Fig. 3). 특히, D-M 3 개체는 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*를 구분하는데 유용한 잎의 크기, 거치의 길이 및 폭, 소지의 직경, 견과 화주의 길이, 포린의 길이 등의 형질에 있어 전형적인 *Q. dentata* 개체에 가까운 값을 갖는 것으로 밝혀졌다 (Figs. 5, 6). 한편, Lee(1961b)는 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*의 중간 잡종을 *Q. ×dentatomongolica* Nakai(떡신갈나무)로 인식한 바 있으며, *Q. ×dentatomongolica*의 경우 잎은 도란형, 장타원형 또는 피침형이고, 엽선은 둔두, 엽저는 이저이며, 엽연에는 예거치 또는 둔거치가 있고, 잎 하면의 털은 단모의 경우 점차 없어지고 ray 수가 2-8개인 총생모가 분포하며, 포린은 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*의 중간적 특징을 갖는 것으로 보고하였다. 본 연구에서 분석한 D-M의 개체들의 잎 모양은 도란형, 엽선은 원두 또는 둔두이며, 엽연에는 치아상 또는 심파상 거치가 있고, 잎 하면에는 단모와 ray 수가 2-6개인 총생모가 불규칙하게 분포하며, 상면에도 단모 및 2-6개 정도의 ray를 갖는 작은 총생모가 엽맥을 중심으로 분포하고, 포린은 *Q. dentata*와 *Q. mongolica*의 중간형을 가져, *Q. ×dentatomongolica*와 거의 유사한 형태적 특징을 나타내었다.

상기 분석에서 얻어진 주요 식별 형질들의 변이 양상과 본 아속 분류군들의 주요 식별 형질인 털의 분포양상(Lee, 1964, 1966, 1980; Hardin, 1976, 1979; Kim *et al.*, 1992; J. Park, unpubl. data) 등을 고려할 때, 참나무아속 한국산 분류군들은 크게 *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. dentata*, *Q. mongolica*, *Q. aliena* 및 *Q. serrata*의 6종으로 구분할 수 있으며, 중간 잡종 개체들은 일반적으로 추정 부모종의 중간적 특징을 갖는 경향이 있는 것으로 판단된다. 또한 외부형태 형질의 경우, 잎의 형태, 엽선의 길이와 폭, 거치의 크기와 형태, 소지의 직경, 견과의 길이와 폭의 비, 포린의 길이와 폭 등이 참나무아속 한국산 분류군들을 구분하는데 매우 중요한 것으로 밝혀졌다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구지원사업(과제 번호 1999-1-20100-001-5), 한국학술진흥재단의 2003 신진연구자장려금지원사업(과제 번호 KRF-2003-908-C00023) 및 환경부 차세대핵심환경기술개발사업의 연구비(과제 번호 052-041-026) 지원으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Blume, C. L. 1850. Museum Botanicum 1: 286-306.
- Camus, A. 1936-1954. Les chênes monographie du genre *Quercus* (et *Lithocarpus*). Encyclopedie Economique de Sylviculture. Vols. 6-8. Academie des Sciences, Paris. (in French).
- Carruthers, W. 1862. On some species of oaks from northern China, collected by W. F. Daniell, Esq., M. D., F. L. S. J. Proc. Linn. Soc., Bot. 6: 31-33.
- Chang, C. S. and T. B. Lee. 1984. A biosystematic study on natural populations of *Quercus mongolica* Fischer in Korea and Japan. Korean J. Pl. Taxon. 14: 71-85.
- Chung, T. H. 1957. Korean Flora. Vol. 1. Woody Plants. Sinjisa, Seoul. (in Korean).
- Forbes, F. B. 1884. On some Chinese species of oaks. J. Bot. 22: 80-86.
- _____ and W. B. Hemsley. 1899. An enumeration of all the plants known from China proper, Formosa, Hainan, Corea, the Luchu Archipelago, and the Island of Hongkong, together with their distribution and synonymy. J. Linn. Soc. Bot. 26: 457-536.
- Franchet, A. R. and L. Savatier. 1875. Cupuliferae. Enumeratio Plantarum in Japonia Sponte Crescentium. Vol. 1. Paris. Pp. 445-450.
- Hardin, J. W. 1975. Hybridization and introgression in *Quercus alba*. J. Arnold Arbor. 56: 336-363.
- _____. 1976. Terminology and classification of *Quercus* trichomes. J. Elisha Mitchell Sci. Soc. 92: 151-161.
- _____. 1979. Patterns of variation in foliar trichomes of eastern North American *Quercus*. Amer. J. Bot. 66: 576-585.
- Huang, C., Y. Zhang, and B. Bartholomew. 1999. Fagaceae. In Flora of China. Vol. 4. Cycadaceae through Fagaceae. Wu, Z.-Y. and P. H. Raven (eds.), Science Press, Beijing and Missouri Botanical Garden, St. Louis. Pp. 314-400.
- Hutchinson, J. 1967. The Genera of Flowering Plants (Angiospermae). Vol. 2. Clarendon Press, Oxford. Pp. 126-132.
- Jensen, R. J. 1977. A preliminary numerical analysis of the red oak complex in Michigan and Wisconsin. Taxon 26: 399-407.
- _____, S. C. Hokanson, J. G. Isebrands, and J. F. Hancock. 1993. Morphometric variation in oaks of the Apostle Islands in Wisconsin: Evidence of hybridization between *Quercus rubra* and *Q. ellipsoidalis* (Fagaceae). Amer. J. Bot. 80: 1358-1366.

- Kim, M. H., H. S. Song, and C. S. Kim. 1992. Morphological types and seasonal loss of the trichome of some *Quercus* species in Korea. Korean J. Pl. Taxon. 22: 13-21.
- Kitamura, S. and T. Horikawa. 1951. On *Quercus* subgen. *Lepidobalanus* of Japan, Korea and North China. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ., Ser. B, Biol. 20: 20-25.
- Koidzumi, G. 1912. *Lepidobalanus* Asiae orientalis. Bot. Mag. (Tokyo) 26: 159-167.
- _____. 1925. Contributiones ad cognitionem florum Asiae orientalis. Bot. Mag. (Tokyo) 39: 299-318.
- Komarov, V. L. 1903. Flora Manshuria. T. II. Pars 1. Trudy Imp. S.-Peterburgsk. Bot. Sada 22: 1-452.
- Kubitzki, K. 1993. Fagaceae. In The Families and Genera of Vascular Plants. Vol. II. Flowering Plants. Dicotyledons: Mongoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families. Kubitzki, K., J. G. Rohwer and V. Bittrich (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. Pp. 301-309.
- Ledebour, C. F. 1850. *Quercus*. Flora Rossica 3(2): 589-592.
- Lee, T. B. 1956. Chromosome numbers in *Quercus*. Commemoration Theses, Fiftieth Anniversary, College of Agriculture, Seoul Nat. Univ. Pp. 35-41.
- _____. 1958. Identification of deciduous woody plants in Korea by the twigs and buds. Seoul Univ. J., Supplement 1: 1-94.
- _____. 1961a. Phylogenetic study of the subgenus *Lepidobalanus* of the genus *Quercus* in Korea (1). Res. Bull. Korean Agr. Soc. 7: 87-108.
- _____. 1961b. Phylogenetic study of the subgenus *Lepidobalanus* of the genus *Quercus* in Korea (2). Seoul Univ. J., Biol. Ser. 10: 97-141.
- _____. 1961c. Triple hybrid of the oak in Korea. Korean J. Bot. 4: 16-20.
- _____. 1961d. Hermaphroditism of the oak in Korea. Journal of the Suwon Forestry Society 4: 1-18.
- _____. 1962. Floral morphology of the oak. (1). Korean Forestry Journal 5: 7-11.
- _____. 1964. Trichome types of *Q. acutissima* × *Q. variabilis* Nakai. Journal of the Suwon Forestry Society 5: 12-14.
- _____. 1966. Illustrated Woody Plants of Korea. Forest Experiment Station, Seoul, Korea. (in Korean).
- _____. 1980. Illustrated Flora of Korea. Hyangmunsa, Seoul. (in Korean).
- Lee, W. T. 1996. Lineamenta Florae Koreae. Academy Publ. Co., Seoul. (in Korean).
- Lee, Y. N. 1996. Flora of Korea. Kyohak Publ. Co., Seoul. (in Korean).
- Liao, J.-C. 1970a. Morphological studies on the flowers and fruits of the genus *Quercus* in Taiwan (1). Mem. Coll. Agric. Natl. Taiwan Univ. 11: 22-47.
- _____. 1970b. Morphological studies on the flowers and fruits of the genus *Quercus* in

- Taiwan (2). Mem. Coll. Agric. Natl. Taiwan Univ. 11: 48-74.
- MacDougal, D. T. 1907. Hybridization of wild plants. Bot. Gaz. 43: 45-58.
- Makino, T. 1982. Makino's New Illustrated Flora of Japan. Hokuryukan Co., Tokyo. (in Japanese).
- Maleev, V. P. 1936. *Quercus* L. In Flora of the U.S.S.R. Vol. 5. Komarov, V. L. (ed.), Izdatel'stvo Akademii Nauk SSSR, Moskva-Leningrad. Pp. 322-353.
- Maze, J. 1968. Past hybridization between *Quercus macrocarpa* and *Quercus gambelii*. Brittonia 20: 321-333.
- Melchior, H. 1964. Fagales. In A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Ed. 12. Vol. 2. Angiospermen. Melchior, H. (ed.), Gebrüder Borntraeger, Berlin. Pp. 46-51. (in German).
- Miquel, F. A. W. 1863. Adnotationes de Cupuliferis. Ann. Mus. Bot. Lugduno-Batavi 1: 102-121.
- Murray, J. A. 1784. Systema Vegetabilium. Ed. 14. Göttingen. Pp. 857-858.
- Nakai, T. 1911. Flora Koreana. Pars secunda. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo 31: 1-573.
- _____. 1915. Praecursores ad floram sylvaticam Koreanam. III. (Fagaceae). Bot. Mag. (Tokyo) 29: 54-62.
- _____. 1917a. Notulae ad plantas Japoniae et Koreae XIII. Bot. Mag. (Tokyo) 31: 3-30.
- _____. 1917b. Flora Sylvatica Koreana. Part 3. Fagaceae. Government of Chosen, Seoul. Pp. 1-57, plates 1-25.
- _____. 1922. Notulae ad plantas Japoniae et Koreae XXVII. Bot. Mag. (Tokyo) 36: 61-73.
- _____. 1924. Some new and noteworthy ligneous plants of eastern Asia. J. Arnold Arbor. 5: 72-83.
- _____. 1926. Notulae ad plantas Japoniae et Koreae XXXI. Bot. Mag. (Tokyo) 40: 161-171.
- _____. 1931. Notulae ad plantas Japoniae et Koreae XL. Bot. Mag. (Tokyo) 45: 91-137.
- _____. 1943. Notulae ad plantas Asiae orientalis XXIX. J. Jap. Bot. 19: 361-380.
- Nixon, K. C. 1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. Ann. Sci. Forest. 50 (Suppl.): 25s-34s.
- _____. 1997. Fagaceae. In Flora of North America North of Mexico. Vol. 3. Magnoliophyta: Magnoliidae and Hamamelidae. Flora of North America Editorial Committee (ed.), Oxford University Press, New York. Pp. 436-506.
- Ohwi, J. 1965. Flora of Japan. Smithsonian Institution, Washington, D. C. (in English).
- Palibin, J. 1900. Conspectus florum Koreae. Pars secunda (Ericaceae-Salicaceae). Trudy Imp. S.-Peterburgsk. Bot. Sada 18: 147-198.

- Palmer, E. J. 1948. Hybrid oaks of North America. *J. Arnold. Arbor.* 29: 1-48.
- Prantl, K. 1889. Fagaceae. *In Die natürlichen Pflanzenfamilien.* Engler, A. and K. Prantl (eds.), Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig. Pp. 47-58. (in German).
- Rehder, A. 1977. *Manual of Cultivated Trees and Shrubs: Hardy in North America.* Ed. 2. Macmillan Publ. Co., New York. Pp. 153-174.
- _____ and E. H. Wilson. 1916. Fagaceae. *In Plantae Wilsonianae.* Vol. 3. Sargent, C. P. (ed.), The University Press, Cambridge. Pp. 190-237.
- Thunberg, C. P. 1784. *Flora Japonica.* Leipzig.
- Trelease, W. 1917. Naming American hybrid oaks. *Proc. Amer. Philos. Soc.* 56: 44-52.
- Tucker, J. M. 1953. Two new oak hybrids from California. *Madroño* 12: 119-127.
- _____ and B. B. Bogert. 1973. Analysis of a progeny test of a hybrid oak, *Quercus gambelii* × *Q. turbinella*. *Madroño* 22: 1-9.
- Uyeki, H. 1932. Cupuliferae novae Koreanae. *Acta Phytotax. Geobot.* 1: 253-257.
- Wenzig, T. 1886. Die eichen Ost- und Südasiens. *Jahrb. Königl. Bot. Gart. Berlin* 4: 214-240.

Numerical analysis of *Quercus* L. subgenus *Quercus* (Fagaceae) in Korea

Jin Hee Park¹, Myong Gi Chung², Byung-Yun Sun³, Ki-Joong Kim⁴,
Jae-Hong Pak⁵, and Chong-Wook Park^{1*}

¹Department of Biological Sciences, College of Natural Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea; ²Department of Biology, College of Natural Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea; ³Faculty of Biological Sciences, College of Natural Sciences, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea; ⁴School of Life Sciences and Biotechnology, Korea University, Seoul 136-701, Korea; ⁵Department of Biology, College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

Morphological variation of *Quercus* L. subgen. *Quercus* in Korea was examined by numerical methods including principal components analysis of major morphological characters. Principal components analysis revealed the presence of five major species groups of the subgen. *Quercus* in Korea; these include 1) a group consisting of *Q. acutissima* and *Q. variabilis* individuals, 2) *Q. dentata*, 3) *Q. aliena*, 4) *Q. mongolica*, and 5) *Q. serrata*. The putative interspecific hybrid individuals occupied intermediate position between the putative parent species in the PCA plot. The analysis also strongly suggested that size and shape of leaf blade and teeth or lobes, twig diameter, size and shape of nuts, and length and width of scales are very useful in distinguishing the species and the putative hybrids of the subgen. *Quercus*.

Key words: Morphological variation, numerical analysis, putative hybrids, *Quercus* subgen. *Quercus*

*Corresponding author: Phone +82-2-880-6681, FAX +82-2-888-6276, parkc@plaza.snu.ac.kr