

지리산 신갈나무와 졸참나무의 식물화학적 변이 양상^{1a}

- 분류학적, 생태학적 의미 -

박진희^{2*}

Phytochemical variation of *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. and *Quercus serrata* Murray (Fagaceae) in Mt. Jiri, Korea^{1a}

- Their taxonomical and ecological implications -

Jin Hee Park^{2*}

요 약

본 연구에서는 우리나라 신갈나무(*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.)와 졸참나무(*Q. serrata* Murray) 두 종의 수직분포 양상을 관찰하고, 지리산 지역을 중심으로 두 종간의 교잡이입 및 유전자 전달 가능성을 식물화학적 분석을 통해 추론하고자 하였다. 우리나라의 신갈나무와 졸참나무의 수직분포는 위도에 따라 지역 간 차이가 난다. 중부 지방에서는 신갈나무가 해발 100~200m의 낮은 고도에서부터 고재대에 이르기까지 널리 분포하나 남부지방의 경우 일반적으로 해발 300m 이하 저지대에서는 거의 분포하지 않으며, 졸참나무는 중부지방의 경우 저지대에서 주로 관찰되며 해발 500~700m 이상에서는 거의 발견되지 않으나 남부지방의 경우 해발 1,000m 이상에서도 관찰된다. 두 종은 분포대가 달라 신갈나무는 주로 높은 해발고도에서 졸참나무는 주로 낮은 해발고도에서 생육하나, 상당한 범위의 고도 구간에서 두 종은 혼생한다. 지리산 지역을 위주로 설악산, 소백산, 마니산 등에서 채집된 신갈나무와 졸참나무의 잎 플라보노이드 성분을 분석한 결과, 2종 37개체로부터 총 23종류의 서로 다른 화합물이 분리, 동정되었다. 이들 플라보노이드 화합물은 flavonol인 kaempferol, quercetin, myricetin 및 isorhamnetin에 당이 결합된 flavonol glycoside이었으며, 4 종류의 acylated flavonoid compound가 동정되었다. 이들 중 kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-glucoside와 quercetin 3-O-galactoside 및 이들의 acylated compounds가 주요 성분으로 두 종의 모든 개체에서 나타났다. 신갈나무의 플라보노이드 조성은 졸참나무에서는 나타나지 않는 diglycoside인 quercetin 3-O-arabinosylglucoside가 분포하며, acylated compound인 acylated kaempferol 3-O-glucoside, acylated quercetin 3-O-galactoside 및 acylated quercetin 3-O-glucoside가 다량 분포한다는 점에서 졸참나무의 flavonoid 조성과 구분된다. 졸참나무의 flavonoid 조성은 3개의 rhamnosyl flavonol compounds가 전체 졸참나무 개체에 걸쳐서 나타나며 또한 신갈나무에 비해 다량으로 나타나고, diglycoside인 kaempferol 3-O-rhamnosylglucoside를 함유하는 특징을 갖는다. 두 종 개체들의 flavonoid 조성은 고도에 따라 종내 개체 간 변이가 있었으며, 동소적으로 분포하는 두 종의 개체들은 대체로 상대 종의 플라보노이드 조성을 정량적으로 또는 정성적으로 닮는 경향이 있었다. 이러한 사실은 지리산 지역에서 두 종간에 교잡이입을 통한 유전자 교환이 일어나고 있음을 강하게 암시한다. 이와 같은 상호 교배 및 교잡이입 가능성으로 볼 때, 형태적으로 신갈나무와 졸참나무의 중간적인 특징을 나타내는 물참나무는 두 종을 부모종으로 하는 교잡에 의해 생긴 잡종분류군일 가능성이 높은 것으로 사료된다.

주요어: 물참나무(*Quercus crispula* Blume), 플라보노이드 조성 변이, 교잡이입, 잡종분류군

1 접수 2014년 9월 29일, 수정 (1차: 2014년 10월 20일), 게재확정 2014년 10월 21일

Received 29 September 2014; Revised (1st: 20 October 2014); Accepted 21 October 2014

2 경상대학교 생물학과 Dept. of Biology, Gyeongsang National Univ., Jinju 660-701, Korea (parkjh23@gnu.ac.kr)

a 이 논문은 국립생물자원관의 '자생생물조사발굴 연구사업-식물분야(2012-2014)'의 연구비 지원에 의해 연구되었음

* 교신저자 Corresponding author: parkjh23@gnu.ac.kr

ABSTRACT

In this study, vertical distribution patterns of *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. and *Q. serrata* Murray in Korea were recognized and possibility of introgressive hybridization and gene flow between *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri was inferred by flavonoid analyses. The most critical factor on distribution patterns was the altitude in accordance with temperature condition. A zonal distribution was recognized: *Quercus mongolica* zone in the upper area and *Q. serrata* zone in the lower area. In Central Korea, the range of vertical distribution of *Q. mongolica* was above alt. 100m, almost everywhere, whereas that of *Q. serrata* was from alt. 0 m to alt. 500(-700) m, and the species is rare above that altitude. But in Southern Korea, *Q. serrata* is found up to above alt. 1,000 m, whereas frequency of *Q. mongolica* reduces as elevation in decline and the species is rare below alt. 300 m, even though pure stands being formed on higher mountain slope. Altitudinal distribution of the two species, however, overlaps, where the two species occur together. Thirty-seven individuals of *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri and other area were examined for leaf flavonoid constituents. Twenty-three flavonoid compounds were isolated and identified; they were glycosylated derivatives of the flavonols kaempferol, quercetin, isorhamnetin, myricetin, and four compounds among the flavonoid compounds were acylated. Kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-glucoside, quercetin 3-O-galactoside and its acylated compounds were major constituents and present in all individuals. *Quercus mongolica* is distinguished from *Q. serrata* by the presence of quercetin 3-O-arabinosylglucoside and by high concentration of three acylated compounds, acylated kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-glucoside, quercetin 3-O-galactoside, and by relatively low concentration or lacking of rhamnosyl flavonol compounds. There are intraspecific variations in flavonoid profiles for *Q. mongolica* and *Q. serrata*, the flavonoid profiles for individuals of two species in hybrid zone (sympatric zone) tend to be similar to each other, qualitatively and quantitatively. These findings strongly suggest that gene exchange or gene flow occurs through the introgressive hybridization between *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri. Therefore, *Quercus crispula*, occupying morphologically intermediate position between *Q. mongolica* and *Q. serrata*, is suspected of being a hybrid taxon of two putative parental species.

KEY WORDS: *Quercus crispula* Blume, FLAVONOID VARIATION, INTERSPECIFIC HYBRIDIZATION, HYBRID TAXON

서론

참나무속(*Quercus* L.)은 너도밤나무과(Fagaceae)에 속하는 상록성 또는 낙엽성의 교목 및 관목으로, 엽액에 달리면서 늘어지는 미상화서인 옹화서, 반구형인 각두, 횡단면이 원형이며 각두 당 1개인 견과 등의 특징에 의해 과내 다른 속 식물들과 구분되며, 북반구 온대지역을 중심으로 약 450종이 널리 분포한다(Prantl, 1889; Camus, 1938-1954; Melchior, 1964; Hutchinson, 1967; Maleev, 1985;

Mabberley, 1987; Kubitzki, 1993; Nixon, 1993, 1997; Huang *et al.*, 1999).

참나무속은 각두에 포린의 비늘 모양으로 덮여 있는 특징을 갖는 참나무아속(subgen. *Quercus*)과 각두 포린이 합생하며 동심원상의 층을 형성하는 가시나무아속[subgen. *Cyclobalanopsis* (Oerst.) C. K. Schneid.]으로 크게 각두 포린의 형태에 따라 구별된다(Schneider, 1906; Camus, 1938-1954; Kubitzki, 1993; Nixon, 1993; Huang *et al.*, 1999).

참나무속은 속내 중간 잡종교잡이 흔히 일어나는 대표적

인 분류군중의 하나로, 타가수분을 주로 하고 대부분의 종간에 생식적 격리가 거의 일어나지 않아 지역적으로 “syngameon”을 형성하는 대표적인 분류군으로 인식되고 있다(MacDougal, 1907; Trelease, 1917; Nakai, 1926; Uyeki 1932; Camus, 1936-1954; Palmer, 1948; Lee, 1961b; 1961c; 1964; Hardin, 1975; Grant, 1981; Nixon, 1997). 참나무속에 있어 잡종화 현상은 본 속 종들이 $x=12$, $2n=24$ 로 모두 동일한 염색체수를 가져 핵형적인 장벽이 없으며, 이들의 개화기가 비슷하고, 풍매화인 점 등에 의해 쉽게 일어나는 것으로 이해되고 있다(Lee 1956, 1961b; Lee and Hashizume, 2004). 본 속은 잡종개체들과 그 부모 종 개체들간에도 교잡이 일어나며, 이러한 교잡이입(introgressive hybridization)으로 인해 각 분류군의 변이의 폭 및 잡종분류군의 인식에 있어 많은 혼란과 어려움이 있어 왔다(Palmer, 1948; Lee, 1961a; 1961b; Hardin, 1975).

본 연구 대상인 신갈나무(*Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb.)와 졸참나무(*Q. serrata* Murray)는 형태적으로 서로 구분되는 종으로서, 신갈나무는 잎과 거치의 형태, 크기, 잎 상·하면의 털의 종류 및 분포 양상, 견과외의 크기와 모양, 각두 및 포린의 크기와 모양, 소지의 직경 및 소지의 털 분포에 있어서 졸참나무와 뚜렷이 차이가 난다(Lee, 1961a; 1966; 1980; W. Lee, 1996; Y. Lee, 1996; Park et al., 2005; Park, 2009). 신갈나무는 졸참나무에 비해 잎의 크기 및 거치의 크기가 크고, 소지의 직경이 굵으며, 털의 분포에 있어서도 신갈나무가 잎 상면 및 소지가 무모인 반면 졸참나무는 단모가 분포하고, 신갈나무의 잎 하면은 단모만 드물게 분포하거나 무모성인데 비해 졸참나무는 하면에 단모와 성상모가 높은 밀도로 혼생하는 등 두 분류군은 차이가 난다(Lee, 1961a; Park et al., 2005; Chang, 2007; Park, 2009). 또한, 신갈나무가 잎 상면 및 소지가 무모이고 잎 하면은 단모만 드물게 분포하거나 무모성인데 비해 졸참나무는 잎 상면과 소지에 단모가 분포하고 하면에는 단모와 성상모가 높은 밀도로 분포하는 등이 튀어 나오는 등의 특징을 가져 생식기관의 형질 특징에 있어서도 졸참나무와 뚜렷이 구분된다(Lee, 1961a; Park et al., 2005). 한편, 한국산 참나무아속 6종에 대한 수리분류학적 연구(Park et al., 2005)의 주성분 분석에서도 기여율이 가장 높은 주성분 1과 2를 축으로 한 배열에서 두 종은 서로 구분되어 위치한다.

그러나 두 종, 신갈나무와 졸참나무는 같은 절(Section *Primus*)에 속하며, 우리나라에 분포하는 신갈나무와 졸참나무 간에는 교잡에 기원한 잡종분류군(*Q. mongolica* × *Q. serrata*)이 생육하는 것으로 보고되어있다(Lee 1961b, 1980; Chang and Lee 1984; Park et al. 2005; Chang 2007; Park, 2009). Lee(1961b, 1980)와 Park et al.(2005)은 두 종간 잡종분류군이 다양한 양상의 중간체로 나타남을 보고하였

으며, Chang and Lee(1984) 및 Chang(2007)은 지리산에서 나타나는 두 종 간의 잡종분류군의 잎 외형은 신갈나무에 가깝고 잎의 털의 특징은 졸참나무에서 발견되는 털의 특징과 비슷하다고 언급하였다.

한편, Lee, W.(1996) 및 Lee, Y.(1996)는 대체적으로 신갈나무 엽형을 가지면서 거치가 날카롭고 약간 졸참나무의 털의 특징을 나타내기도 하는 한라산과 지리산의 개체군에 대해 신갈나무(*Q. mongolica* var. *mongolica*)와 구분하여 ‘물참나무’로 인식하였다. 두 학자는 상기한 ‘물참나무’에 대해 분류학적으로 독립된 종(*Q. crispula* Blume = *Q. grosseserrata* Blume; Y. Lee, 1996) 또는 신갈나무의 변종 [*Q. mongolica* var. *crispula* (Blume) Ohashi; W. Lee, 1996]으로 취급하였으나, 이는 물참나무를 *Q. mongolica*와 *Q. serrata*의 중간 잡종(*Q. ×crispula* = *Q. ×grosseserrata*)으로 취급한 Lee(1961b, 1980) 및 Chang and Lee(1984)와는 다른 인식이다.

우리나라의 참나무림은 전 국토의 13.6%(산림면적의 20.3%)로 넓게 분포하며, 참나무림의 물질생산을 바탕으로 산림생태계의 먹이그물이 시작되고 기능이 작동되므로, 참나무속은 우리나라 생태계에서 매우 중요한 수종이다(Kim et al., 1981; Korea Forest Research Institute, 1988; Lee et al., 2006; Hong et al., 2010). 이 중, 신갈나무의 경우 백두대간의 주요 수종으로 해발고도가 비교적 높은 능선부 주변에서 주로 출현하며, 전국적으로 소나무(36.7%) 다음으로 큰 면적 비율인 27.4%를 나타내고 있으며(Chung, 1998), 특히, 향로봉~깃대배기봉의 백두대간 핵심·완충지역에서는 현존식생 중 약 77%를 차지하고 있는 대표 수종이다(Korea Forest Service, 2012; Jeong and Oh, 2013). 한편, 졸참나무는 우리나라 중부의 저지대와 남부의 전 지역에 걸쳐 널리 퍼져 있는 수종으로(Chung and Lee, 1965), 남부 지방 숲의 우점종(dominant tree species)이자 극상종(climax species)으로 인식되고 있다(Park, 1984; Kim and Kil, 2000; Sim and Han, 2003; Kim and Lee, 2006; Lee, 2007; Song, 2007; Lee and You, 2012).

본 연구에서는 우리나라에서 널리 분포하며 분류학적, 생태학적으로 중요한 수종인 신갈나무와 졸참나무를 대상으로 분포 특성을 파악하고, 두 종 간 잡종화에 의한 교잡이입 가능성을 지리산을 중심으로 고도에 따른 flavonoid compound의 화학조성 변이(phytochemical variation)를 통해 이해하고도 하였다.

Flavonoid compound는 관속식물에 널리 분포하는 2차 대사산물로서, 다양한 flavonoid compound들의 분포는 관속식물의 진화 과정과 밀접한 상관관계가 있는 것으로 밝혀져 있어 분류군간의 분화 정도 및 진화 경로를 규명하는데 있어 매우 유용한 형질로 인식되고 있다(Swain, 1975;

Table 1. UV spectral data of flavonoid compounds in *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri and other area, Korea. sh = shoulder. d = decomposition

Compound	MeOH	NaOMe	AlCl ₃	AlCl ₃ /HCl	NaOAc	NaOAc/H ₃ BO ₃
1. Kaempferol 3-O-galactoside	350	403	406	404	391	357
	298	328	353	346	311	301
	267	277	306	303	275	268
			275	276		
2. Kaempferol 3-O-glucoside	351	403	394	394	354	356
	303	326	352	347	302	299
	267	277	305	302	269	267
			275	275		
3. Kaempferol 3-O-arabinoside (I)	349	403	398	398	357	354
	304	325	350	346	303	299
	267	277	305	302	268	267
			275	275		
4. Kaempferol 3-O-arabinoside (II)	348	405	399	396	355	355
	303	326	350	345	302	298
	267	275	303	300	268	267
			276	276		
5. Kaempferol 3-O-arabinoside (III)	349	405	398	398	356	355
	305	325	351	346	302	297
	266	276	304	302	267	267
			274	274		
6. Kaempferol 3-O-rhamnose	349	404	402	397	384	357
	306	328	355	346	310	302
	266	277	305	302	275	267
			275	276		
7. Kaempferol 3-O-glycoside I	346	398	394	390	393	354
	302sh	322	344	338	310	264
	264	274	303	399sh	274	
			274	274		
8. Kaempferol 3-O-rhamnoglucoside	350	400	400	394	395	355
	296	325	354	346	311	298
	267	276	306	302	275	268
			275	275		
9. Kaempferol (acyl) 3-O-glucoside	350	390	399	395	383	350
	294sh	315	355	347	307	294
	267	275	305	300sh	275	266
			274	274		
10. Quercetin 3-O-galactoside	361	422	437	402	403	380
	300sh	332	304sh	361	322	302sh
	270sh	282	275	300sh	272	264
	259	268				
11. Quercetin 3-O-glucoside	360	417	430	402	385	381
	302sh	331	304sh	363	324sh	303sh
	257	282	275	297sh	267	263
				269		
12. Quercetin 3-O-arabinoside (I)	360	421	438	407	372	380
	302sh	328	305sh	360	302sh	301sh
	258	279	275	301sh	266	263
				268		

Compound	MeOH	NaOMe	AlCl ₃	AlCl ₃ /HCl	NaOAc	NaOAc/H ₃ BO ₃
13. Quercetin 3-O-arabinoside (II)	355	409	434	402	384	376
	297sh	329	336sh	359	326	307sh
	258	274	303sh	305	271	262
			275	269		
14. Quercetin 3-O-rhamnoside	351	400	432	398	382	368
	298sh	328	329sh	352	324	262
	256	272	302sh	300sh	274	
			276	271		
15. Quercetin 3-O-arabinosylglucoside	356	412	429	399	380	377
	300sh	329	304sh	360	327	296
	258	274	276	300	272	262
				270		
16. Quercetin (acyl) 3-O-galactoside	358	420	431	407	395	380
	298sh	335	363	360	307	299
	269	279	307sh	300sh	270	267
	260sh		276	273		
17. Quercetin (acyl) 3-O-glucoside	355	414	433	401	395	380
	300sh	330	303sh	361	307	300
	268	274	276	300sh	269	265
	262sh			275		
18. Isorhamnetin 3-O-glucoside	359	422	405	402	376	379
	300sh	330	367	359	300sh	262
	257	280	303	298sh	265	
			269	268		
19. Myricetin 3-O-galactoside	365	415	438	406	391	384
	306	330	314sh	369	325	303
	260	272sh	272	309	272	261
				272		
20. Myricetin 3-O-glucoside	364	418	431	404	390	386
	307	326	314	360	325sh	302
	257	272sh	273	309	270	260
				273		
21. Myricetin 3-O-arabinoside	362	414	430	404	382	380
	303sh	326	312	361	324sh	300
	257	270	272	309	269	258
				272		
22. Myricetin 3-O-rhamnoside	356	409	428	400	369	375
	305sh	319	314	361	313sh	301
	258	267	272	308	266	258
				273		
23. Myricetin (acyl) 3-O-glucoside	367	425(d)	433	408	369	390
	297sh	330	312sh	367	313sh	294
	265	271sh	274	307	268	265
	265	271sh	274	307	268	265
				274		

Gornall and Bohm, 1978; Markham, 1982). 또한, flavonoid compound는 관속식물의 여러 분류군에 있어 잡종의 기원을 규명하거나 잡종화 양상을 이해하는데 있어서도 매우 유용한 것으로 밝혀져 있으며, 일반적으로 분류군간 잡종의

flavonoid profile에는 부모분류군들의 flavonoid 조성상의 특징이 모두 나타나는 것으로 보고되어 있다(Alston and Turner, 1963; Levy and Levin, 1971; Wyatt and Hunt, 1991).

연구방법

1. 분포조사

본 연구에서는 1999년 9월부터 2009년 8월까지 전국 각지의 신갈나무와 졸참나무 개체들을 대상으로 고도를 따라 올라가면서 채집조사와 동시에 육안으로 생육 및 분포상황을 관찰하였다. 조사 기간에 채집된 개체들의 표본은 서울대학교 자연과학대학 생명과학부 표본관(SNU)에 검증표본으로 소장하였다.

2. Flavonoid 분석 재료

본 연구에서는 1999년 10월 및 2000년 9~10월에 본 연구의 주 대상지인 지리산 화엄계곡~코재~노고단~주능선 임결령 구간에서 고도별로 채집한 신갈나무, 졸참나무 32개체와 2000년 9월 설악산 오색~대청봉 구간, 2000년 9월 마니산, 2002년 10월 소백산에서 채집한 신갈나무, 졸참나무 5개체 등 2종에 속하는 총 37개체를 재료로 사용하였다. 지리산 외 지역의 신갈나무 및 졸참나무 개체들은 소수로, 두 종의 종간 변이 및 종내 개체군간 지역적 변이 비교를 위한

것이다. 채집된 개체들의 표본은 서울대학교 자연과학대학 생명과학부 표본관(SNU)에 검증표본으로 소장하였다.

3. Flavonoid 분석

지리산의 저지대와 고지대에 고도 별로 분포하는 신갈나무, 졸참나무 2종 32개체 및 설악산, 소백산, 마니산에 분포하는 신갈나무, 졸참나무 5개체 등 총 37개체에 대해 그 flavonoid 조성을 two-Dimensional Thin Layer Chromatography (2-D TLC)와 paper Chromatography(1-D PC), High Performance Liquid Chromatography(HPLC)를 사용하여 분석하였다 (Figure 1). 이들 개체 중 신갈나무 4개체, 졸참나무 2개체 등 6개체의 재료는 flavonoid의 구조 동정을 위해 사용하였으며(full analysis), 그 나머지 개체들은 2D-TLC와 HPLC profile을 사용하여 그 flavonoid 조성을 확인하였다.

추출 및 일차정제(Extraction and preliminary purification): Flavonoid compound의 추출 및 일차 정제는 Park(1987) 및 Mun and Park(1995)의 방법을 변형하여 사용하였다. 즉, 상온에서 건조시킨 약 5~10 g의 잎을 분쇄하여 이로부터 85% aqueous methanol(MeOH) 200 ml로 2회, 50% MeOH 200 ml로 1회씩 상온에서 각각 12시간 flavonoid compound를 추출한 뒤, 이를 여과하여 rotary vacuum evaporator로 농축시켰다. 농축된 추출액은 chloroform과 ethyl acetate (EtOAc)를 사용하여 flavonoid compound만을 추출하였으며, 그 결과 얻어진 flavonoid compound를 포함하는 EtOAc fraction은 다시 rotary vacuum evaporator를 사용하여 소량으로 농축하여, cellulose thin layer chromatography plate(Merck, thickness 100 μ m, 20 cm \times 20 cm)에 소량 spotting한 뒤 이를 TBA(*tert.*-butanol-acetic acid-water, 3:1:1, v/v/v)와 15% HOAc(15% acetic acid in water)를 용매로 하여 2차원 전개시켜 UV light 하에서 각 분류군에 분포하는 flavonoid compound의 profile을 확인하였다. 이후, 상기한 2-dimensional TLC 상에서 확인된 flavonoid compound를 분리하기 위하여 동일 EtOAc fraction을 Whatman 3MM chromatography paper 위에 가는 band 모양으로 streaking한 후 15% HOAc를 solvent로 하여 1차원으로 전개시켰다. 그 결과 paper chromatogram 상에서 분리된 각 flavonoid band를 가늘게 자른 후 100% MeOH로 elution하여 농축, 여과한 후 이를 high performance liquid chromatography(HPLC)를 사용하여 포함되어 있는 flavonoid compound들을 완전히 분리, 정제하였다.

High Performance Liquid Chromatography: HPLC는 UV detector가 장착된 Gilson Model 305-306/115UV Dual Pump System을 사용하였으며, column은 reverse phase

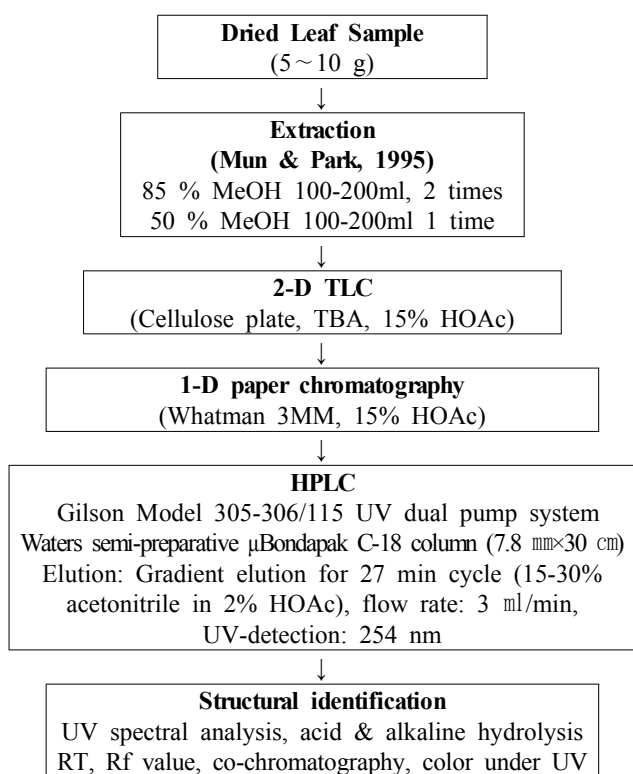


Figure 1. Outline of flavonoid analysis

column인 Waters semi-preparative μ Bondapak C-18 column(7.8mm \times 30cm)을 사용하였다. 상기한 방법으로 일차 분리, 농축한 각 flavonoid sample은 2% HOAc에서 acetonitrile의 농도를 15%에서 30%로 27분에 걸쳐 변화시킨 gradient elution 방법(15~30% acetonitrile in 2% HOAc, flow rate 3ml/min, 27 min cycle)을 사용하여 순수 분리, 정제하였으며, 분리가 잘 되지 않는 일부 compound의 분리, 동정을 위해서 gradient elution 방법을 약간 변형(15~31% acetonitrile in 2% HOAc, flow rate 3ml/min, 33 min cycle)하거나 isocratic elution을 이용하였다. Flavonoid compound의 검출은 254 nm에서 0.5~1 a.u.f.s. sensitivity로 수행하였으며, 각 peak의 absolute retention time은 stopwatch를 사용하여 측정하였다. HPLC상에서 분리된 flavonoid peak들은 그 구조 동정을 위해 각각 collection되었으며, 완전한 구조 동정을 위한 충분한 양을 확보하기 위하여 각 sample당 6~10회 반복하여 동일한 조건하에서 HPLC를 수행하였다.

구조 동정 (Structural identification): HPLC에서 분리 정제한 각 flavonoid compound는 UV spectral analysis, acid 및 alkaline hydrolysis, partial hydrolysis, cellulose TLC 상에서의 Rf value, UV light에서의 색깔 및 HPLC 상에서의 RT(retention time), co-chromatography 등의 방법(Mabry *et al.*, 1970; Markham, 1982; Park, 1987; Mun and Park, 1995; Kim *et al.*, 2000a; 2000b)을 이용하여 그 구조를 동정하였다. 또한 acylated flavonoid compound의 존재를 확인하기 위하여 일부 compound에 대한 mild alkaline hydrolysis(Markham, 1982)를 수행하였다. 각 flavonoid compound에 결합되어 있는 sugar를 동정하기 위한 acid hydrolysis는 7% HCl 수용액을 사용하여 100℃의 water bath에서 60분 동안 수행하였으며, diglycoside의 경우 결합되어 있는 sugar의 순서를 밝히기 위해 partial hydrolysis(Mabry *et al.*, 1970; Markham, 1982)를 병행하였다. 가수분해한 수용액은 EtOAc로 aglycone을 추출, 제거하였으며, 남은 수용액을 1~2방울 정도로 농축한 뒤 TLC를 사용하여 포함되어 있는 sugar를 동정하였다. Sugar 동정을 위한 TLC는 상기한 방법에 의해 얻어진 농축액을 standard sugar들과 함께 cellulose TLC plate에 spotting 한 후, n-butanol-ethyl acetate-acetic acid-pyridine-water (35:35:5:25:15, v/v/v/v/v)로 전개하였다(Park, 1987). 그 결과 분리된 sugar spot들을 aniline hydrogen phthalate 용액으로 발색시켜 standard sugar와 그 spot위치 및 발색색깔을 비교하여 동정하였다(Markham, 1982). 또한 acylated flavonoid compound의 존재를 확인하기 위하여 일부 compound에 대한 alkaline hydrolysis(Isobe *et al.*, 1980)를 수행하였다.

2D-TLC와 HPLC profile을 이용한 flavonoid 조성 분석:

다수 개체의 분석을 위해 2D-TLC와 HPLC profile을 이용하여 flavonoid 조성을 분석하였다. 분석은 건조한 잎 3g 정도를 사용하였으며, 추출용액 양을 건조한 잎의 무게에 비례되게 낮추었을 뿐 추출 및 농축과정은 위의 full analysis와 동일한 방법으로 flavonoid 성분을 추출하였고, 2-D TLC의 spot의 위치, 진하기와 HPLC의 RT(retention time) 및 peak 높이를 이용하여 각 개체의 flavonoid 조성 성분을 정량-정성분석 하였다.

결과 및 고찰

1. 분포 특성

우리나라의 신갈나무와 졸참나무의 해발 고도에 따른 분포는 지역에 따라 차이가 난다(Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.).

중부지방의 경우, 졸참나무는 저지대에서 주로 발견되고 해발 500 m 이상의 고도에서는 거의 발견되지 않는다(Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.). 졸참나무의 고도에 따른 이러한 분포 현상은 위도가 높은 곳일수록 두드러져서 북부지방의 개마고원을 한계로 그 이북의 지역에는 저지대에서도 거의 관찰되지 않는 것으로 알려져 있다(Kim, 1992; Kim, 2013). 신갈나무는 중부지방에서 해발 100 m 정도의 저지대에서도 관찰되며 해발 600~800 m 이상의 고도에 이르면 다른 참나무류와 거의 혼생하지 않고 산정에서는 대개 신갈나무가 순림을 이룬다(Kim, 2013; Jeong and Oh, 2013; J. Park, Pers. Observ.).

그러나 남부지방의 경우, 졸참나무는 저지대에서 해발 1000 m에 이르기까지 분포하며 해발 800 m 이상으로 고도가 높아지면서 밀도가 낮아진다(Kim and Lee, 2006; Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.). 그러나 지리산과 제주도의 경우 해발 1200~1300 m의 높은 고도에서도 드물게 관찰된다(Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.). 한편, 신갈나무의 경우 해발 1200 m 이상의 고지대에서는 다른 참나무류와 혼생하지 않으며, 이후 점차 고도가 낮아짐에 따라 다른 참나무류와 혼생하고 빈도가 낮아지다가 해발 300m 이하 저지대에서는 거의 발견되지 않는다(Kim and Lee, 2006; Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.).

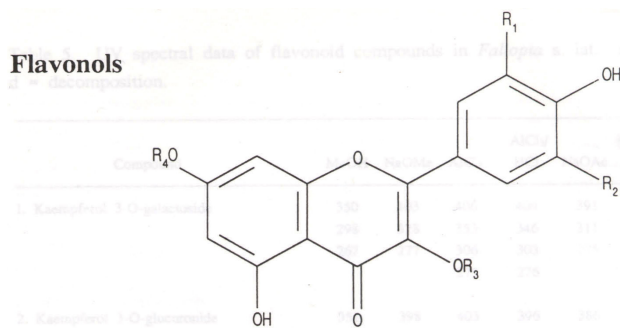
신갈나무는 우리나라 낙엽성 참나무 가운데 유일하게 냉온대 영역에서 해발고도가 높아질수록 그 출현빈도와 피도가 높아지는 경향을 보인다(Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.). 종합적으로, 신갈나무와 졸참나무는 서로 다른 분포양상을 보이며 신갈나무가 내륙적이면서 대륙성 기후 입지의 특성을 갖고 냉온대 산지대를 중심으로 생육하는 입지 특성을 갖는 반면, 졸참나무는 한반도 남부 저산지대의 해

발고도가 낮고 온난하며 상대적으로 해양성 기후를 나타내는 입지 특성을 갖는다(Kim and Lee, 2006; Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.). 그러나, 두 종은 특정한 높은 고지대를 제외한 우리나라 전 지역에서 동소적으로 함께 생육하며, 두 종간 교잡이 일어나는 것으로 알려져 있다(Lee, 1961a; 1961b; Chang and Lee, 1984; Park *et al.*, 2005; Chang, 2007; J. Park, Pers. Observ.). 특히, 지리산의 경우 두 종은 해발 300 m 이상에서부터 해발 1000 m에 이르기까지 혼생하며 드물게는 1200~1300 m에 이르기까지 동소적으로 분포하는 것이 관찰되었다(Kim, 2013; J. Park, Pers. Observ.).

2. Flavonoid 분석

지리산과 설악산, 소백산, 마니산에 분포하는 신갈나무 및 졸참나무 2종 37개체의 flavonoid 조성을 분석한 결과, 이 개체들의 잎 추출액으로부터 모두 23가지의 서로 다른 flavonoid compound들이 분리, 동정되었으며, 이들의 화학구조, UV spectral data 및 2D TLC상에서의 Rf 값, HPLC상에서의 retention time, UV light 하에서 색깔 등의 화학적 특성은 Figure 2와 Table 1 및 2에 수록하였다. 또한, 이들 compound들의 2D TLC상에서의 mobility는 Figure 3에 나타내었으며, 신갈나무 및 졸참나무 2종 37개체에 있어서 이들 compound들의 분포는 Table 3에 표시하였다.

지리산과 설악산, 소백산, 마니산에 분포하는 신갈나무 및 졸참나무 개체들에 분포하는 flavonoid compound들은



Kaempferol: R1 = H, R2 = H, R3 = H, R4 = H
 Quercetin: R1 = OH, R2 = H, R3 = H, R4 = H
 Myricetin: R1 = OH, R2 = OH, R3 = H, R4 = H
 Isorhamnetin: R1 = OCH3, R2 = H, R3 = H, R4 = H
 R3 = galactose, glucose, arabinose, rhamnose, arabinosylglucose, rhamnosylglucose

Figure 2. Chemical structure of flavonoid compounds found in *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri and other area, Korea

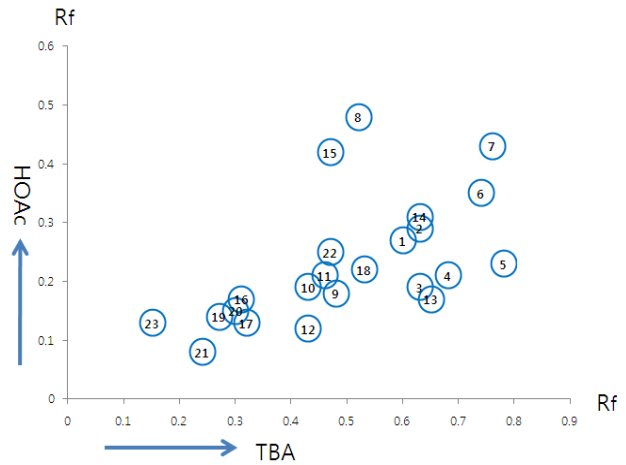


Figure 3. Composite chromatogram (TLC) of flavonoid compounds in *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri and other area, Korea showing mobilities in two chromatographic solvents. Compound numbers correspond to those in Table 2

flavonol인 kaempferol, quercetin, isorhamnetin 및 myricetin에 당이 결합된 flavonol glycoside이었으며, 분리된 compound 중 주요 flavonoid compound는 kaempferol 3-O-galactoside, kaempferol 3-O-glucoside, quercetin 3-O-galactoside, quercetin 3-O-glucoside 및 isorhamnetin 3-O-glucoside(compounds 1-2, 10-11, 18; Figure 2, Tables 2, 3)로 조사한 37개체 모두에 분포하였다(Table 3). 이들 flavonoid compound에 결합되어 있는 당의 종류는 galactose, glucose, arabinose, rhamnose 등 단당류와 이들 단당류 두 분자가 결합된 이당류인 arabinosylglucose, rhamnosylglucose이었다(Figure 2, Table 2). 이들 sugar는 모두 3-OH group에 결합되어 있었으며, 이 중 glucose는 mono- 또는 diglycoside의 형태로 분석된 모든 개체에서 가장 흔하게 나타났다(Figure 2, Tables 2, 3). 또한 compound 7은 flavonol glycoside이었으나 극히 소량 존재하여 결합되어 있는 sugar를 동정하지 못하였다(Table 2).

한편, 두개의 서로 다른 quercetin 3-O-arabinoside I, II(compounds 12, 13)가 검출되었으며, 이들 compound들은 전에 닭의뎅굴속(Genus *Fallopia*)의 여러 분류군들에서 보고된 바 있다(Kim *et al.*, 2000a; 2000b). Arabinose는 pyranose와 furanose의 두가지 고리형(ring form)이 있으며(Williams and Harborne, 1994), Rf값 등 화학적 성질이 서로 다른 4가지 형의 quercetin 3-O-arabinoside가 있는 것이 보고되어 있다(Hattori, 1962). 또한 quercetin 3-O-arabinoside I, II 외에도 본 연구 결과에서는 신갈나무, 졸참나무 두 종의 개체들로부터 서로 다른 Rf값을 갖는 kaempferol 3-O-arabinoside I, II, III(compounds 4-6)가 검출되었다.

이들 compound들에 대해 Mild alkaline hydrolysis(Markham, 1982)를 수행한 결과, 이들은 Rf값의 변화가 없었으며, H₂O₂ oxidation을 수행한 결과 arabinose가 검출되었다. 이로 볼 때 compound 4-6은 서로 다른 arabinose형을 갖는 이성질체인 것으로 판단되었으며, 다만 이들의 정확한 고리형의 형태는 동정하지 못하였다.

또한, 지리산 및 기타지역에서 분포하는 신갈나무 및 졸참나무 2종 37개체로부터 서로 다른 4 종류의 acylated flavonoid compound(compounds 9, 16-17, 23)가 분리 동정되었다(Tables 2, 3). 이들 compound에 대해 alkaline hydrolysis(Markham, 1982)를 수행한 결과, compound 9는 kaempferol 3-O-glucoside로, compound 16과 17은 각각 quercetin 3-O-galactoside, quercetin 3-O-glucoside로 변화하였으며, 또한 compound 23은 myricetin 3-O-glucoside로 각각 변화하였다. 그러나, 이들 compound에 결합되어 있는 acyl group의 종류와 결합 위치는 동정하지 못하였다.

Flavonoid 분석 결과, 한국산 신갈나무와 졸참나무는 flavonoid 조성에 있어 차이가 있는 것으로 밝혀졌으며, 각 종은 종내 변이가 존재하는 것으로 나타났다(Table 3). 신갈나무의 flavonoid 조성은 acylated flavonol인 acylated kaempferol 3-O-glucoside(compound 9), acylated quercetin 3-O-galactoside 및 acylated quercetin 3-O-glucoside (compounds 16-17)가 다량 나타나며, diglycoside인 quercetin 3-O-arabinosylglucoside (compound 15)가 분포한다는 점에서 졸참나무의 flavonoid 조성구분된다(Tables 2, 3). 이들(compounds 9, 16-17)은 kaempferol 3-O-glucoside (compound 2), quercetin 3-O-galactoside 및 quercetin 3-O-glucoside(compounds 10-11)와 더불어 신갈나무의 주요 flavonoid compound인 것으로 나타났다(Table 3). 한편, 같은 절(Section *Prinus*)에 속하는 졸참나무의 flavonoid 조성은 rhamnosyl flavonol compound(compounds 6, 14, 22)가 전 개체에 걸쳐서 나타나고 또한 신갈나무에 비해 다량으로 나타나는 특징을 가지며, 한편 acylated flavonol

Table 2. Chromatographic properties of flavonoid compounds identified from individuals of *Quercus mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri and other area, Korea. RT=absolute retention time. α =RT₂/RT₁ (standard: compound 17). Solvents: TBA=tert.-butanol:acetic acid:water (3:1:1, v/v/v); HOAc=acetic acid:water (15:85, v/v)

No.	Compound	RT			Rf value		Color	
		(min)1	(min)2	α	TBA	HOAc	UV	UV/NH ₃
1.	Kaempferol 3-O-galactoside	12.15	16.50	1.18	0.60	0.27	purple	yellow
2.	Kaempferol 3-O-glucoside	12.60	17.70	1.22	0.63	0.29	purple	yellow
3.	Kaempferol 3-O-arabinoside I	13.75	19.35	1.33	0.63	0.19	purple	yellow
4.	Kaempferol 3-O-arabinoside II	14.20	20.10	1.38	0.68	0.21	purple	yellow
5.	Kaempferol 3-O-arabinoside III	15.10	21.30	1.47	0.78	0.23	purple	yellow
6.	Kaempferol 3-O-rhamnoside	15.55	22.50	1.51	0.74	0.35	purple	yellow
7.	Kaempferol 3-O-glycoside	15.90	23.10	1.54	0.76	0.43	purple	yellow
8.	Kaempferol 3-O-rhamnosylglucoside	11.60	16.10	1.13	0.52	0.48	purple	yellow
9.	Kaempferol (acyl) 3-O-glucoside	12.10	16.40	1.17	0.48	0.18	purple	yellow
10.	Quercetin 3-O-galactoside	11.05	14.25	1.07	0.43	0.19	purple	yellow
11.	Quercetin 3-O-glucoside	11.20	14.50	1.09	0.46	0.21	purple	yellow
12.	Quercetin 3-O-arabinoside I	12.25	16.60	1.19	0.43	0.12	purple	yellow
13.	Quercetin 3-O-arabinoside II	12.50	17.15	1.21	0.65	0.17	purple	yellow
14.	Quercetin 3-O-rhamnoside	12.70	17.90	1.23	0.63	0.31	purple	yellow
15.	Quercetin 3-O-arabinosylglucoside	9.60	11.75	0.93	0.47	0.42	purple	yellow
16.	Quercetin (acyl) 3-O-galactoside	10.05	12.45	0.98	0.31	0.17	purple	yellow
17.	Quercetin (acyl) 3-O-glucoside	10.30	12.90	1.00	0.32	0.13	purple	yellow
18.	Isorhamnetin 3-O-glucoside	12.80	18.20	1.24	0.53	0.22	purple	yellow
19.	Myricetin 3-O-galactoside	9.40	11.30	0.91	0.27	0.14	purple	yellow
20.	Myricetin 3-O-glucoside	9.50	11.55	0.92	0.30	0.15	purple	yellow
21.	Myricetin 3-O-arabinoside	10.50	13.20	1.02	0.24	0.08	purple	yellow
22.	Myricetin 3-O-rhamnoside	10.80	13.65	1.05	0.47	0.25	purple	yellow
23.	Myricetin (acyl) 3-O-glucoside	8.65	10.00	0.83	0.15	0.13	purple	yellow

RT₁ is 27 min cycle elution program, RT₂ is 33 min cycle elution program

compound(compounds 9, 16, 17)는 적게 나타나는 특징으로 신갈나무의 flavonoid 조성과 구분된다. 또한 정성적으로 diglycoside인 kaempferol 3-O-rhamnosylglucoside (compound 8)가 분포한다는 점에서도 신갈나무와 차이가 난다.

본 연구의 한국산 신갈나무와 졸참나무 2종은 flavonoid 조성은 적은 수의 compound(compounds 5, 7, 15, 22)에 있어서 정성적인 차이(드물게 예외적인 개체가 있으나)와 함께 상기한 바와 같이 정량적인 차이가 나며, 종내 개체 간에는 고도에 따라서 정량적 또는 정성적인 조성 변이가 관찰되었다(Table 3).

Compound 3(Kaempferol 3-O-arabinoside I)의 경우 신갈나무 앞에는 ‘+’의 량으로 함유되어 있으나 졸참나무의 앞에는 개체에 따라 ‘+’ 또는 ‘tr’로 상대적으로 적은 량이 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 이러한 것은 지리산 외 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서 잘 확인된다(Table 3). 대부분의 지리산 신갈나무 개체들은 ‘+’의 량을 함유하나 저지대의 일부 신갈나무 개체(Q14)는 ‘tr’로 극소량을 가지며, 반면 지리산 저지대 졸참나무 개체들은 ‘tr’로 극소량을 함유하나 신갈나무와 동소적으로 위치하며 상대적으로 높은 고도에서 생육하는 많은 졸참나무 개체들(코재 12-15, 31, Q13, Q22-24)은 ‘+’의 량을 함유한다. 이는 단순한 개체변이라기보다는 이들 두 종이 서로 동소적으로 분포하여 교잡이입 중이거나 교잡이입된 개체여서 나타났을 가능성이 높다고 사료된다.

Compound 4(Kaempferol 3-O-arabinoside II)의 경우도 신갈나무 개체들 앞에는 대체로 소량(‘+’) 또는 극소량(‘tr’) 함유되어 있으나, 신갈나무가 거의 분포하지 않는 해발 400 m 이하의 졸참나무 개체들에서는 거의 나타나지 않는 flavonoid compound로서, 이 또한 지리산 외 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도 확인되는 사실이다(Table 3). 지리산 고지대의 신갈나무 개체들은 compound 4를 함유하나 고도가 낮아지면서 이들 신갈나무 개체들은 졸참나무처럼 compound 4를 함유하고 있지 않거나 소량 함유하며, 반면 신갈나무와 동소적으로 생육하는 졸참나무 개체들 중 일부는 소량(‘+’) 또는 극소량(‘tr’)을 함유하는 것으로 나타났다(Table 3). 동소적으로 분포하는 두 종의 개체들이 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 경향을 보이는 이러한 양상은 compound 3에서와 비슷하다(Table 3).

Compound 6(Kaempferol 3-O-rhamnoside)은 신갈나무에 비해 rhamnosyl flavonol compound가 다량 나타나는 졸참나무의 flavonoid 조성 특징을 잘 드러내는 compound들(compounds 6, 14, 22) 중의 하나이다. compound 6은 지리산 지역의 지리산 신갈나무 개체들에는 소량, 극소량 함유되어 있거나 또는 전무하나, 졸참나무의 경우 전 개체에서 나타나며, 이 또한 지리산 외 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도

확인된다(Table 3). 지리산 신갈나무 개체들은 compound 6을 함유함에 있어서 개체 간 변이를 나타내나며 졸참나무와 동소적으로 분포하는 신갈나무 개체들(해발 400~1200 m)은 대체로 compound 6을 함유하나 고지대(해발 1200 m 이상; 노고단-임결령의 졸참나무가 생육하지 않는 고산지대)의 신갈나무는 거의 함유하지 않는 것으로 확인되었다(Table 3). 동소적으로 분포하는 두 종의 개체들이 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 경향을 보이는 이러한 양상은 compounds 3, 4에서와 비슷하다(Table 3). 이는 단순한 개체변이라기보다는 이들 두 종이 서로 동소적으로 분포하여 교잡이입 중이거나 교잡이입된 개체여서 나타났을 가능성이 높다고 사료된다.

Compound 14(Quercetin 3-O-rhamnoside)도 상기의 compound 6처럼 신갈나무에 비해 rhamnosyl flavonol compound가 다량 나타나는 졸참나무의 flavonoid 조성 특징을 잘 드러내는 compound들(compounds 6, 14, 23) 중의 하나로, 신갈나무 개체들은 compound 14를 소량 함유하나 졸참나무의 경우 대부분의 개체에서 다량으로 나타나며, 이 또한 지리산 외 지역의 신갈나무와 졸참나무의 중간 차이에서도 확인되는 사실이다(Table 3). 지리산 졸참나무 개체들은 compound 14를 함유함에 있어서 고도별 변이를 나타내며 신갈나무와 동소적으로 분포하는 고지대 졸참나무의 일부 개체들(‘코재 12, 14, 15, 17졸참’)은 신갈나무처럼 소량 함유하는 것으로 확인되었다(Table 3). 이 또한 동소적으로 분포하는 두 종의 개체들이 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 경향을 보이는 것으로 이러한 양상은 compound 3, 4, 6에서의 양상과 비슷하다(Table 3).

Compound 22(Myricetin 3-O-rhamnoside)도 상기의 compound 6, 14처럼 신갈나무에 비해 rhamnosyl flavonol compound가 다량 나타나는 졸참나무의 flavonoid 조성 특징을 잘 드러내는 compound들(compounds 6, 14, 22) 중의 하나이다. compound 22는 신갈나무 개체들에 소량, 극소량 함유되어 있거나 또는 전무하기도 하는 등 개체 간에 변이가 있으나, 졸참나무의 경우 거의 전 개체에서 다량으로 나타나며, 이러한 두 종간 조성의 차이는 지리산 외 지역에서도 확인된다(Table 3). Compound 22의 경우에도 compounds 6, 14의 함유 양상과 유사하였는데, 졸참나무와 동소적으로 분포하는 신갈나무 개체들 중 여러 개체가 compound 22를 함유하였으며, 반대로 졸참나무와 동소적이지 않은 고지대 신갈나무 개체들은 거의 compound 22를 함유하지 않는 것으로 나타났다(Table 3). 이 역시 동소적으로 분포하는 두 종의 개체들이 상대 종(신갈나무↔졸참나무)과 유사한 flavonoid compound 조성을 갖는 경향을 보이는 것으로 이러한 양상은 compounds 3, 4, 6, 14에서의 양상과 비슷하다(Table 3).

Table 3. Distribution of flavonoids in the individuals of *Q. mongolica* and *Q. serrata* in Mt. Jiri and other area, Korea. Compound numbers correspond to those in Table 2. tr, detected by only HPLC; +, light spot; ++, spot of average intensity; +++, heavy spot, +(+) slightly denser spot rather than +. * is analyzed by complete analysis

Taxon/group	Kaempferol										Quercetin					Isorhamnetin			Myricetin					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
	gal	glu	araI	araII	araIII	rham	glyl	rham	(acyl) glu	gal	glu	araI	araII	rham	ara glu	(acyl) gal	(acyl) glu	glu	gal	glu	ara	rham	(acyl) glu	
<i>Q. mongolica</i> element																								
Imgeol-ryeong(Pass)3 Mon	+	++	+	tr		tr		+++	+++	++	+++	++	+	+	+	++	+++	+	+	+	+	+	+	
Nogodan Mon*	+	++	+	+				++	++	++	++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	tr	+	+	+	
Nogodan-Kojae II Mon	+	++	+	+		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	+	++	+++	+	+	+	+	+	+	
Kojae 1 Mon	+	++	+					+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Kojae 2 Mon	+	++	+			tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Kojae 4 Mon	+	++	+	tr				+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Kojae 7 Mon	+	++	+	tr		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Kojae 10 Mon	+	++	+			tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Kojae 16 Mon	+	++	+			tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Kojae 18 Mon	+	++	+	+		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Kojae 32 Mon	+	++	+	tr		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Q25 Mon*	+	++	+	+		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Q21 Mon	+	++	+	tr		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Q16 Mon	+	++	+	+		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	tr	+	
Q14 Mon	+	++	tr	tr		+		+++	+++	++	+++	tr	+	+	++	+++	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Q. serrata</i> element																								
Kojae 12 SER*	+	++	+			+		+	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	tr	++	++	+	
Kojae 13 SER	+	++	+	tr		+		+	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	tr	++	++	+	
Kojae 14 SER	+	+++	+	+		tr		+	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	tr	++	++	tr	
Kojae 15 SER	+	++	+	tr		+		+	+	++	++	+	+	+	tr	+	+	+	+	+	+	+	+	
Kojae 17 SER	+	++	+	+		+		+	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Kojae 29-6 SER	+	++	tr			+		+	+	+	+	+	+	+	+	tr	+	+	+	+	+	+	+	
Kojae 31 SER	+	++	+	+		+		+	+	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	+	tr	++	++	+	
Q24 SER	+	++	+	+		+		+	+	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	+	tr	++	++	+	
Q23 SER	+	++	+	+		+		+	+	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	+	tr	++	++	+	
Q22 SER	+	++	+	+		+		+	+	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	+	tr	++	++	+	
Q13 SER	+	++	+	+		+		+	+	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	+	tr	++	++	+	
Q7 SER	+	++	+	+		+		+	+	++	++	tr	+	+	+	tr	+	+	tr	tr	++	++	+	
Q6 SER	+	++	+	+		+		tr	tr	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	tr	tr	++	++	+	
Q4 SER	+	+	tr	+		+		tr	tr	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	tr	tr	++	++	+	
Q3 SER	+	+++	tr	tr		+		tr	tr	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	tr	tr	++	++	+	
Q2 SER*	+	+	tr	tr		+		tr	tr	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	tr	tr	++	++	+	
Q1(Hwaecom-sa1) SER*	+	++	+	+		+		+	+	++	++	+	+	+	+	tr	+	+	tr	tr	++	++	+	
Outside Mt. Jiri																								
Seorak 1100 Mon	+	+	+			tr		+	+	++	++				+	+	+	+	+	tr	+	+	+	
Sobaek 4 Mon(Jo-ryeong)*	+	+	+			+		+	+	++	++	tr	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Maui-san 150 Mon	+	++	+	+		tr		+++	+++	++	+++	+	+	+	tr	++	+++	+	+	+	tr	++	++	
Seorak 350C SER	+	++	tr	tr		tr		+	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	tr	++	++	+	
Seorak 350r-road SER	+	++	tr	tr		tr		+	+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	tr	++	++	+	

이와 같이, 지리산에서 동소적으로 분포하는 신갈나무, 졸참나무 두 종의 개체들이 상대 종과 유사한 flavonoid 조성 갖는 경향을 보이며 고도에 따른 변이를 나타내는 것은 두 종간에 유전자 교류(gene exchange) 혹은 이동(gene flow)이 일어나고 있음을 강하게 암시한다고 사료된다. 이는 다시 말해서 두 종 간에 교잡이 일어나며 동시에 어느 쪽이든 부모종 개체로의 계속적인 역교배를 거쳐 교잡 이입 현상이 일어나고 있음을 뜻한다. 참나무속에 있어서 이러한 유전자 교류는 북미와 유럽 및 이론에서도 보고 된 바가 있다 (Hardin, 1975; Whittemore and Schaal, 1991; Ducouso et al., 1993; Bacilieri et al., 1996; Ishida et al., 2003; Chybicki and Burczyk, 2010).

Chang and Lee(1984) 및 Chang(2007)은 잎의 형태에 있어 신갈나무와 비슷하나 털의 형태는 졸참나무와 비슷한 개체군이 지리산에 생육한다고 보고한 바 있으며, 이는 물참나무(*Q. × crispula* = *Q. × grosseserrata*)를 지칭한다. 본 연구에서 사용된 신갈나무의 대부분 개체는 전형적인 신갈나무이지만, 극히 일부 개체의 경우 잎과 열매의 형태나 생육형은 거의 신갈나무와 동일하나 잎 상·하면의 기부 일부분에 졸참나무의 성모 및 단모가 드물게 나타나거나 소지에 아주 드물게 단모가 나타난다. 이러한 신갈나무 개체들은 앞서 Chang and Lee(1984) 및 Chang(2007)이 언급한 “잎의 형태에 있어 신갈나무와 비슷하나 털의 형태는 졸참나무와 비슷한 개체군”으로 기술된 것과 같은 두 종 사이의 중간형이 아니며 이들은 털의 분포에 있어 잎 하부 일부분에 졸참나무의 성모가 드물게 발견되거나 잎 상면에 드물게 단모가 분포하는 등 졸참나무의 털의 특성을 극히 미세하게 나타낼 뿐이다. 이러한 신갈나무 개체들은 전체적인 형태가 전형적인 신갈나무와 거의 차이가 없는, 교잡이 입에 의해 생겼을 것으로 추정되는(putatively introgressed) 개체들이다.

신갈나무와 졸참나무 간에 서로 교잡이 일어나며 상기 한 바와 같이 두 종간 유전자 교류와 함께 교잡 이입현상이 빈번히 일어나고 있음을 암시하는 본 연구결과로 볼 때, 형태적으로 신갈나무와 졸참나무의 중간적인 특징을 나타내며 다양한 형태 변이를 나타내는 물참나무는 신갈나무와 졸참나무 두 종을 부모종으로 하는 교잡에 의해 생겼을 가능성이 높은 것으로 판단된다. 그러므로 본 연구 결과는 물참나무를 독립된 종(*Q. crispula* Blume = *Q. grosseserrata* Blume) 또는 신갈나무의 변종(*Q. mongolica* var. *crispula* = *Q. mongolica* var. *grosseserrata*)으로 인식한 Chung (1957), Y. Lee(1996) 및 W. Lee(1996)의 견해보다는 신갈나무와 졸참나무 간의 잡종분류군(*Q. mongolica* × *Q. serrata* = *Q. × crispula* = *Q. × grosseserrata*)으로 인식한 T. Lee(1961b, 1980, 2003), Park et al.(2005), Chang(2007)

및 Park(2009)의 견해에 부합된다.

REFERENCES

- Alston, R.E. and B.L. Turner(1963) Natural hybridization among four species of *Baptisia* (Leguminosae). *Amer. J. Bot.* 50: 159-173.
- Bacilieri, R., A. Ducouso, R.J. Petit and A. Kremer(1996) Mating system and asymmetric hybridization in a mixed stand of European oaks. *Evolution* 50: 900-908.
- Camus, A.(1936-1954) Les chênes. Monographie du genre *Quercus* (et *Lithocarpus*). *Encyclopedie Economique de Sylviculture*. Vols. 6-8. Paul Lechevalier, Paris. (in French).
- Chang, C.S.(2007) Fagaceae. In: C.W. Park(ed.), *The Genera of Vascular Plants of Korea*, Academy Publishing Co., Seoul, pp. 268-274.
- Chang, J.S. and T. Lee(1984) A biosystematic study on natural populations of *Quercus mongolica* Fisch. in Korea and Japan. *Korean J. Pl. Taxon.* 14(2): 71-85.
- Choung, Y.S.(1998) Vegetation in the Paekdoo Great Mountain Chain. *Preservation Nature* 103: 48-54. (in Korean with English abstract).
- Chung, T.H.(1957) *Korean Flora Vol. 1. Woody Plants*. Sinjisa, Seoul, pp. 87-106. (in Korean).
- Chung, T.H. and W.C. Lee(1965) A study of the Korean woody plant zone and favorable region for the growth and proper species. *Thesis Collect. Sungkyunkwan Univ.* 10: 329-435. (in Korean).
- Chybicki, I. J. and J. Burczyk(2010) Realized gene flow within mixed stands of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) L. revealed at the stage of naturally established seedling. *Mol. Ecol.* 19: 2137-2151.
- Ducouso, A., H. Michaud and R. Lumaret(1993) Reproduction and gene flow in the genus *Quercus* L. *Ann. For. Sci.* 50: 91-106.
- Gornall, R.J. and B.A. Bohm(1978) Angiosperm flavonoid evolution: A reappraisal. *Syst. Bot.* 3: 353-368.
- Grant, V.(1981) *Plant Speciation*. Ed. 2. Columbia Univ. Press, New York.
- Hardin, J.W.(1975) Hybridization and introgression in *Quercus alba*. *J. Arnold Arbor.* 56: 336-363.
- Hattori, S.(1962) Glycosides of flavones and flavonols glycosides. In: T.A. Geissman(ed.), *The Chemistry of Flavonoid Compounds*, MacMillan, New York, pp. 317-352.
- Hong, Y.S., Y.H. You and H.B. Yi(2010) Seasonal change of macro nutrients concentration in acorns of six oak species in Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 24: 286-292. (in Korean).
- Huang, C., Y. Zhang and B. Bartholomew(1999) Fagaceae. In: Z.Y.

- Wu and P.H. Raven(eds.), Flora of China. Vol. 4. Cycadaceae through Fagaceae, Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, pp. 314-400.
- Hutchinson, J.(1967) The Genera of Flowering Plants. Vol. 2. Clarendon press, Oxford, pp. 126-132.
- Ishida, T., K. Hattori, H. Sato and M. Kimura(2003) Differentiation and hybridization between *Quercus crispula* and *Q. dentata* (Fagaceae): insights from morphological traits, amplified fragment length polymorphism markers, and leafminer composition. Amer. J. Bot. 90(5): 769-776.
- Isobe, T., N. Ito and Y. Noda(1980) Minor flavonoids of *Polygonum nodosum*. Phytochemistry 19: 1987.
- Jeong, B.K. and C.H. Oh(2013) Analysis on the community structure of *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. in the Baekdudaegan Mountains by elevation - between Hyangnobong and Gitdaebaggybong -. Korean J. Environ. Ecol. 27(4): 449-461. (in Korean).
- Kim, J.U. and B.S. Kil(2000) The Mongolian Oak Forest in Korea. Wonkwang National University Press, Iksan, Korea. (in Korean).
- Kim, J.W.(1992). Vegetation of Northeast Asia: On the syntaxonomy and syngelography of the oak and beech forests. Ph. D. Thesis, University of Vienna, Vienna. (in English with Korean, Japanese, Chinese, and German summary).
- Kim J.W. and Lee Y.K.(2006) Classification and Assessment of Plant Communities. World science, Seoul.
- Kim, M.H., J.H. Park and C.W. Park(2000a) Flavonoid chemistry of *Fallopia* sect. *Fallopia* (Polygonaceae). Biochem. Syst. Ecol. 28: 433-441.
- Kim, M.H., H.S. Won, J.H. Park and C.W. Park(2000b) Flavonoid chemistry and chromosome number of *Fallopia* section *Pleuropterus* (Polygonaceae). Can. J. Bot. 78: 1136-1143.
- Kim, Y.H.(2013) Spatial distribution patterns of seven summer-green *Quercus* species in Korea. M.S. Thesis, Keimyung Univ., Daegu, Korea. (in Korean with the English abstract).
- Kim, Y.S., S.C. Ko and B.U. Oh(1981) Distribution Atlas of Plants in Korea(V). Atlas of Fagaceae in Korea. Korea University Press, Seoul, pp. 93-133. (in Korean with English abstract).
- Korea Forest Research Institute(1988) The research about use development of the oak resource. Ministry of Science and Technology, pp. 226. (in Korean).
- Korea Forest Service(2012) Natural Resources Change Survey and Management Practice Study of the Baekdudaegan Mountains. pp. 52-55. (in Korean)
- Kubitzki, K.(1993) Fagaceae. In: K. Kubitzki, J.G. Rohwer and V. Bittrich(eds.), The Families and Genera of Vascular Plants. Vol. II. Flowering plants. Dicotyledons: Mongoliid, Hamamelid and Caryophyllid families, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, pp. 301-309.
- Lee, C.S., W.K. Lee, J.H. Yoon and C.C. Song(2006) Distribution pattern of *Pinus densiflora* and *Quercus spp.* stand in Korea using Spatial Statistics and GIS. J. Korean Forest. Soc. 95(6): 663-671. (in Korean).
- Lee, J.H. and H. Hashizume(2004) Currence of Trees of the *Quercus fabri* type in open-pollinated families of *Quercus dentata*. J. Korean Forest. Soc. 93: 471-476. (in Korean with the English abstract).
- Lee, M.J. 2007. Community structure analysis and ecological planting model subject of the principal *Quercus* community in Korea. Ph. D. Thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea. (in Korean).
- Lee, S.H. and Y.H. You(2012) Measurement of ecological niche of *Quercus aliena* and *Q. serrata* under environmental factors treatments and its meaning to ecological distribution. J. Ecol. Field Biol. 35(3): 227-234.
- Lee, T.B.(1956) Chromosome numbers in *Quercus*. Commemoration Theses, Fiftieth Anniversary, College of Agriculture, Seoul Nat. Univ., pp. 35-41.
- Lee, T.B.(1961a) Phylogenetic study of the subgenus *Lepidobalanus* of the genus *Quercus* in Korea (1). Res. Bull. Korean Agr. Soc. 7: 87-108. (in Korean).
- Lee, T.B.(1961b) Phylogenetic study of the subgenus *Lepidobalanus* of the genus *Quercus* in Korea (2). Seoul Univ. J., Biol. Ser. 10: 97-141. (in Korean).
- Lee, T.B.(1961c) Triple hybrid of the oak in Korea. Korean J. Bot. 4: 16-20. (in Korean).
- Lee, T.B.(1964) Trichome types of *Q. acutissima* × *Q. variabilis* Nakai. Journal of the Suwon Forestry Society 5: 12-14. (in Korean).
- Lee, T.B.(1966) Illustrated Woody Plants of Korea. Forest Experiment Station, Seoul, pp. 31-37, 250-253. (in Korean).
- Lee, T.B.(1980) Illustrated Flora of Korea. Hyangmunsa, Seoul, pp. 274-280. (in Korean).
- Lee, W.T.(1996) Lineamenta Florae Koreae. Vol. 1. Academy Publishing Co., Seoul, pp. 172-181. (in Korean).
- Lee, Y.N.(1996) Flora of Korea. Kyohak Publishing Co., Seoul, pp. 66-70. (in Korean).
- Levy, M. and D.A. Levin(1971) The origin of novel flavonoids in *Phlox* allotetraploids. Proc. Natl. Acad. U. S. A. 68: 1627-1630.
- Mabberley, D.J.(1987) The Plant Book. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Mabry, T.J., K.R. Markham and M.B. Thomas(1970) The Systematic Identification of Flavonoids. Springer-Verlag, New York.
- MacDougal, D.T.(1907) Hybridization of wild plants. Bot. Gaz. 43: 45-58.
- Maleev, V. P.(1985) Genus 367. *Quercus* L. In: V. L. Komarov (ed.), Flora of the U.S.S.R. Vol. 5, Koeltz Scientific Books,

- Koenigstein, Germany, pp. 254-279.
- Markham, K.R.(1982) Techniques of Flavonoid Identification. Academic Press, New York.
- Melchior, H.(1964) Reihe Fagales. In: H. Melchior(ed.), A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien. Vol. 2. Angiospermen, 12th ed., Gebruder Borntraeger, Berlin, pp. 44-51. (in German).
- Mun, J.H. and C.W. Park(1995) Flavonoid chemistry of *Polygonum* sect. *Tovara* (Polygonaceae): A systematic survey. Pl. Syst. Evol. 196: 153-159.
- Nakai, T.(1926) Notulae ad plantas Japoniae et Coreae. 31. Bot. Mag. (Tokyo) 40: 161-171.
- Nixon, K.C.(1993) Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. Ann. Sci. Forest. 50(Suppl. 1): 25s-34s.
- Nixon, K.C.(1997) Fagaceae. In: Flora of North America Editorial Committee(ed.), Flora of North America. Vol. 3. Magnoliophyta: Magnoliidae and Hamamelidae, Oxford University Press, New York, pp. 436-506.
- Palmer, E.J.(1948) Hybrid oaks of North America. J. Arnold Arbor. 29: 1-48.
- Park, C.W.(1987) Flavonoid chemistry of *Polygonum* sect. *Echinocaulon*: A systematic survey. Syst. Bot. 12: 167-179.
- Park, H.J.(1984) Studies on the distribution and ecological characteristics of the major *Quercus* spp. in the middle temperate zone in Korea. M.S. Thesis, Chungnam National University, Daejeon, Korea. (in Korean with the English abstract).
- Park, J.H.(2009) A systematic study of *Quercus* L. subgenus *Quercus* (Fagaceae) in Korea: Analyses of morphological variation and flavonoid chemistry. Ph. D. Thesis, Seoul National Univ. Seoul, pp. 282. (in Korean with the English abstract).
- Park, J.H., M.G. Chung, B.Y. Sun, K.J. Kim, J.H. Pak and C.W. Park(2005) Numerical analysis of *Quercus* L. subgenus *Quercus* (Fagaceae) in Korea. Korean J. Pl. Taxon. 35: 57-80. (in Korean with the English abstract).
- Prantl, K.(1889) Fagaceae. In: A. Engler and K. Prantl(eds.), Die natürlichen Pflanzenfamilien nebst ihren Gattungen und wichtigeren Arten insbesondere den Nutzpflanzen, bearbeitet unter Mitwirkung zahlreicher hervorragender Fachgelehrten. III. Teil. 1. Abteilung, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, pp. 47-58. (in German).
- Schneider, C.K.(1906) Illustriertes Handbuch der Laubholzkunde. Verlag von Gustav Fischer, Jena, Germany, pp. 161-211. (in German).
- Sim, J.S. and S.S. Han(2003) Ecophysiological characteristics of deciduous oak species (3): photosynthetic responses of leaves to change of light intensity. J. Korean Forest. Soc. 92: 208-214. (in Korean).
- Song, M.S.(2007) Analysis of distribution and association structure on the Sawtooth oak (*Quercus acutissima*) forest in Korea. Ph. D. Thesis, Changwon National University, Changwon, Korea. (in Korean).
- Swain, T.(1975) Evolution of flavonoid compounds. In: J.B. Harborne, T.J. Mabry and H. Mabry(eds.), The Flavonoids Part 2, Academic Press, New York, pp. 1096-1129.
- Trelease, W.(1917) Naming American hybrid oaks. Proc. Amer. Philos. Soc. 56: 44-52.
- Uyeki, H.(1932) Cupuliferae novae Koreanae. Acta Phytotax. Geobot. 1: 253-257.
- Whittemore, A.T. and B.A. Schaal(1991) Interspecific gene flow in sympatric oaks. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 88: 2540-2544.
- Williams, C.A. and J.B. Harborne(1994) Flavone and flavonol glycosides. In: J.B. Harborne(ed.), The Flavonoids. Advances in Research since 1986, Chapman & Hall, London, pp. 337-385.
- Wyatt, R. and D.M. Hunt(1991) Hybridization in north American *Asclepias*. II. Flavonoid evidence. Syst. Bot. 16: 132-142.