

Optimization of Roasting Conditions for Coffee Beans by Response Surface Methodology

Sung-Jin Park¹, Sung-Won Moon², Jin Lee³, Eun-Jung Kim⁴ and Byung-Sun Kang^{5*}

¹Ginseng-Woods Grown Ginseng Research Center, Chung-Ang University, An-seong 456-756, Korea

²Department of Hotel Food Service and Culinary Arts, Youngdong University, Yeongdong 370-701, Korea

³Department of Food Service Industry, Cheonan Yonam College, Cheonan 330-709, Korea

⁴Department of Sports Science, Jungwon University, Goesan 367-805, Korea

⁵Department of Eco-Friendly Horticulture, Cheonan Yonam College, Cheonan 330-709, Korea

반응표면분석법에 의한 원두커피의 최적 배전조건 설정

박성진¹ · 문성원² · 이진³ · 김은정⁴ · 강병선⁵

¹중앙대학교 인삼-산양삼연구센터, ²영동대학교 호텔외식조리학과, ³천안연암대학 외식산업과,

⁴중원대학교 스포츠과학부, ⁵천안연암대학 친환경원예과

Abstract

The consumer awareness concerning coffee beverages has increased in Korea. The objective of this study was to optimize the roasting conditions of coffee bean for consumer's attribute. The optimal roasting conditions for Colombian coffee beans were analyzed by using a central composite design with a quadratic polynomial model by response surface methodology (RSM). The experimental conditions for coffee bean roasting were 194.82°C~250.00°C and 7.93~22.07 minutes. The responses of sensory attributes, physicochemical and physical properties were analyzed with RSM. The width, length and height of green beans increased when the beans were roasted. The higher degree of roasting gave the higher pH and solid contents but the lower total acidity and total phenolic compounds. In sensory tests, the roasting temperature and time had a significant effect on the flavor score. The optimum roasting condition of Colombian coffee bean predicted for maximizing the length, width, solid contents, total phenolic compounds and flavor score were 20 minutes at 225°C by RSM.

Key words : coffee, roasting, optimization, response surface methodology (RSM)

서 론

커피의 배전 과정(roasting)은 온도를 220~230°C로 유지하며 열을 가하는 과정으로, 160°C이하에서는 건조, 160~260°C에서는 배전 등의 과정을 거침으로서 원두의 조직에 물리적, 화학적 변화를 일으켜 커피의 맛과 향을 만들어 내는 과정이다(1). 이 과정 중에 발색과 여러 가지 향미 성분들의 생성 및 분해, 산화, 환원 등의 다양한 화학적 반응 뿐만 아니라 중량감소, 밀도감소, 탄산가스 등의 휘발과 같은 물리적 변화도 발생하는 매우 복잡한 과정이다(2,3). 배전 과정을 거치게 되면서 커피 고유의 향과 맛이

만들어지며, 분쇄 및 추출에 많은 영향을 미치기에 배전은 커피 제조 과정에서 매우 중요한 공정으로 여겨지고 있다(4,5). 또한 배전에 의해 발생하는 갈변 반응(Maillard reaction)에 의해 만들어지는 여러 가지 물질 중에는 향기와 맛에 관련된 물질 뿐만 아니라 증배전한 경우에는 항산화물질, 고온에서 배전한 경우에는 polycyclic aromatic hydrocarbon과 같은 물질들이 만들어 진다고 보고되어 있다(6,7).

커피의 종류와 배전 조건에 따른 커피의 향 성분, 항산화 작용, 기호성과 같은 품질 특성에 관한 연구와 증배전보다는 에스프레소로 추출한 후에 희석한 커피의 기호성이 가장 높으며(8), 에스프레소를 9배 희석한 경우의 기호성이 가장 높다고 한 연구도 있으나 소비자의 기호에 적합한 최적 배전 조건을 설정에 관한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다(9).

*Corresponding author. E-mail : andrewkang@paran.com
Phone : 82-41-580-1063, Fax : 82-2-6442-7578

반응표면분석법은 몇 가지 요인들의 상관관계를 분석해서 최적 조건을 찾아내는 실험계획법으로 최적 조건의 상황에서 최적 실험결과를 독립변수들과 종속변수간의 함수관계를 데이터로 추정된 값을 그래프 등의 방법을 이용하여 나타내는 분석법이다(10). 통계적 실험계획법인 반응표면 분석법은 증류, 건조, 발효, 추출 및 살균과 같은 식품 제조 중의 여러 단위 공정에서 공정 개발 또는 최적화에 사용되고 있다(11). 신제품의 개발 및 대체품의 선정에 있어서 식품공정과 조성에 대한 최적화 이론의 적용은 유용한 역할을 하고 있다(12). 특히 식품에 있어서 조성성분의 중요성은 설비, 인력과 같은 다른 요인에 비교하여 상대적으로 크며 또한 효과적으로 조절되어 질 수 있다. 조성성분의 조절로 인한 신제품 혹은 대체품 개발에 있어서 적절한 실험계획법 및 수학적 모형의 도입과 최적화이론의 적용과 해석은 지속적으로 이루어지고 있다(13).

배전 방법에 의한 커피의 아미노산 함량과 향 변화 등에 관한 연구(3), 카페인 함량 및 변화에 관한 연구(8), 탄수화물의 성분과 함량 변화(5) 등에 대해서 연구되어 있으나 일반 소비자의 취향에 적합한 커피의 배전 정도에 관한 연구는 거의 발표된 것이 없다. 이에 통계적 방법을 이용하여 소비자의 취향에 적합한 커피의 배전 조건을 결정하는 연구를 학술적 측면에서 수행하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 이용한 커피 원두는 2007년에 수확된 콜롬비아산 Arabica 품종(파티오 본니티오 #19)을 이용하였다.

반응표면분석에 의한 실험설계

실험설계는 중심합성법에 의해 quadratic polynomial model로 설계하였으며 반응은 색도(L, a, b), 볶은 후 원두의 직경, 두께, 길이, pH, 산도, 겉보기 밀도, 총페놀함량, 관능적 기호도 검사(색, 향, 쓴맛, 신맛, 무게감, 여운)로 결정하였다. 요인으로서 볶음 시간은 최소 10 분, 최대 20 분으로 볶음 온도는 최소 200°C, 최대 225°C로 설정하였다. 총 실험수는 11 경우로 결정되었으며, Lack of fit는 3으로 정하였다. 이와 같은 설정 조건으로 반응표면분석법에 의해 결정된 실험조건은 Table 1의 초기설정조건(original condition)과 같이 배전시간은 7.93분부터 22.07분, 배전온도는 194.82°C부터 250.00°C의 범위로 설정되었으나, 실험의 편의성을 위하여 변형된 조건(modified condition)으로 배전하였다.

배전 및 분쇄

로스터기(Bistro 3030, Wood Stone Co, USA)를 사용하여

반응표면 분석법에 의해 설정된 실험 조건인 194.82°C~250.00°C의 온도 범위에서 7.93~22.07분의 조건으로 배전하였다. 배전 후 분쇄기(HR2185, Philips, USA)를 이용하여 분쇄하였으며, 가정용 커피 메이커(Café Cino, Philips, USA)를 사용하여 커피를 추출하였다.

Table 1. The experimental design of the roasting conditions for coffee by Response Surface Methods

Run No	Original Conditions		Modified Conditions	
	Time (min)	Temperature (°C)	Time (min)	Temperature (°C)
1	15.00	212.50	15	213
2	20.00	225.00	20	225
3	15.00	230.18	15	230
4	15.00	194.82	15	195
5	7.93	212.50	8	213
6	22.07	212.50	22	213
7	15.00	212.50	15	213
8	15.00	212.50	15	213
9	10.00	250.00	10	250
10	20.00	200.00	20	200
11	10.00	200.00	10	200

이화학적 측정

배전 정도에 따른 색상차를 측정하기 위해 생두 및 볶은 커피를 갈아서 500 mesh의 체를 통과시킨 후, 분광색차계(JS-555, Color Techno Japan System Co, Tokyo, Japan)로 L, a, b를 10회 측정하여 평균값을 나타내었다.

pH와 총산도는 pH meter (8417, Hanna instruments, Portugal)를 이용하여 측정하였으며, 총산도는 0.1N NaOH로 적정하여 구연산으로 환산하였다.

총 페놀 함량

각 커피 추출액 0.5 mL에 증류수 6.5 mL를 첨가한 후, Folin-Ciocalteu's phenol 0.5 mL를 각각 첨가한 후 3분간 방치하였다. 이 용액에 sodium carbonate 포화용액 1 mL씩 첨가 한 후 1시간 방치하고 UV-spectrophotometer (Carry-50, Varian Technology, Lake Forest, IL, USA)로 725 nm에서 흡광도를 측정하여 총페놀함량으로 표시하였으며, 표준물질로는 gallic acid를 사용하였다(14).

관능평가

대학생 40명을 대상으로 커피의 기호도 조사를 실시하였다. 커피 메이커를 사용하여 추출한 커피 액을 75°C로 조절하여 50 mL씩을 제공한 후, 색(color), 향(flavor), 쓴맛(bitterness), 신맛(sourness), 무게감(heaviness), 여운(finishness)의 6가지 항목을 5점 척도로 평가하였다. 평가인원의 31명은 20대이며, 9명은 30대 이상이었다.

결과 및 고찰

물리적 특성

반응표면분석 조건에 의해 배전한 원두의 물리적 특징을 Fig. 1과 Table 2에 나타내었다. 강배전 조건에서 배전될수록 원두는 직경, 길이, 두께 모두가 증가하여 팽창률이 증가하였다. 겉보기 밀도의 변화는 그 차이가 적은 것으로 나타났다. 배전에 의해 커피 원두의 형태가 팽창하는 것은 아미노산, 당당류 등이 분해되어 휘발되기 때문인 것으로 알려져 있다. 약배전보다 강배전의 경우에 당당류 함량이 더욱 많이 감소하는 것으로 알려져 있으며, 커피 생두에

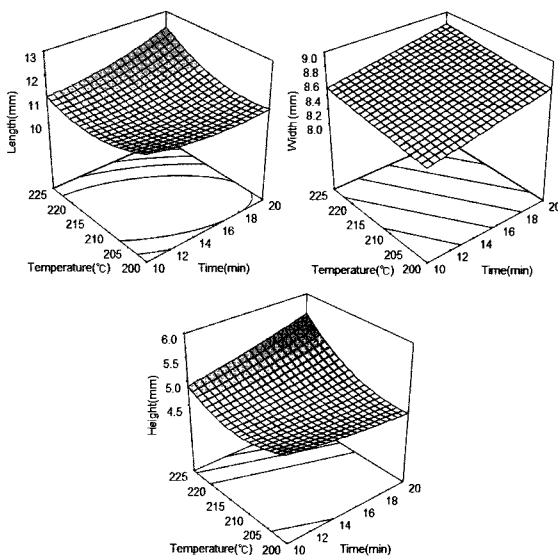


Fig. 1. Response surface plots for the length, width and height of the roasted coffee beans.

있는 arabinogalactans의 결사슬인 arabinose는 galactans보다도 배전 조건에 따라 쉽게 분해되는 특성이 있다고 하였다(15).

특히 친수성 아미노산은 배전 중에 다량이 감소되지만, 소수성 아미노산들은 단백질의 구조상 내부에 위치하고 있기 때문에 상대적으로 외부에 노출된 친수성 아미노산에 비해 열의 영향을 적게 받아서 화학반응이나 분해되는 정도가 낮게 나타난 것으로 추정된다고 한다. 당당류와 같은 당류는 배전 과정 중에 아미노산이나 단백질 분해물과 결합하여 Maillard 반응을 일으켜서 Maillard 반응물을 생성하여 향과 색에 큰 영향을 끼치게 된다. 생성된 Maillard 반응물의 일부는 진행된 배전과정 중에 분해되어 퓨란 유도체를 생성하며, 이 물질은 황함유 아미노산들과 반응하여 furfurylthiol 등과 같은 물질들을 생성한다. 또한 배전 과정 중에 감소하는 당당류 중에서 arabinose의 경우가 손실률이 가장 크다고 하며, mannose의 손실률이 가장 적다고 한 결과도 보고되어 있다(3).

배전한 커피의 모양은 배전이 진행됨에 따라 가로, 세로, 높이가 점차적으로 변화하였다. 수분과 이산화탄소 등의 방출로 인한 질량의 감소를 일으키며 동시에 커피 내부의 특징적인 다공질 구조를 형성하면서 부피가 증가한다.

이화학적 특성

배전 과정 중에 커피에 함유되어 있는 chlorogenic acid, quinic acid 등이 분해되어 저분자화되며, acetic acid나 formic acid 같은 휘발산은 휘발되어 산도는 감소하고 pH는 증가하며(16), 약배전한 커피보다 중배전한 커피에서의 chlorogenic acid 농도가 감소하였다고 보고되어 있다(17). 본 연구에서도 커피의 배전시간과 배전온도가 증가함에

Table 2. Physical and chemical properties of coffee roasted under different roasting conditions based on composition design for response surface analysis

Run No.	Physical properties			Chemical properties			
	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)	pH	Solid content (Brix)	Total acidity (%)	Phenolic component (mg/mL)
Raw	9.58±0.98 ¹⁾	7.53±0.41	4.40±0.33	3.01	0.10	0.16	0.47
1	12.64±0.85	8.46±0.60	4.69±0.34	5.91	0.20	0.16	0.44
2	12.47±0.56	8.96±0.59	5.78±0.49	6.56	0.40	0.42	0.51
3	11.98±0.65	8.77±0.44	5.55±0.73	5.40	1.20	0.64	0.58
4	11.75±0.42	8.65±0.44	5.01±0.41	5.05	1.00	0.99	0.67
5	11.10±0.65	8.30±0.37	4.88±0.54	5.28	0.40	0.38	0.63
6	11.49±0.48	8.08±0.28	4.61±0.32	5.08	0.80	0.67	0.62
7	10.53±1.05	8.21±0.41	4.38±0.32	5.22	0.60	0.48	0.52
8	11.05±0.68	8.57±0.48	4.80±0.40	4.87	0.40	0.58	0.61
9	11.17±0.50	8.48±0.24	4.78±0.36	4.91	0.80	0.83	0.53
10	10.83±0.67	8.41±0.47	4.63±0.38	4.97	1.00	0.67	0.61
11	11.16±0.50	8.41±0.27	4.59±0.28	4.89	0.60	1.02	0.54

¹⁾ Mean±SD, p<0.05

따라 커피의 pH는 증가하지만 총 산도는 감소하는 경향으로 나타났다(Fig. 2, Table 2). 배전한 커피의 pH는 200℃, 10분인 경우 pH가 4.89, 230℃, 15분인 경우에 5.40 그리고 225℃, 20분인 경우에는 6.56으로 배전 온도와 시간이 증가될수록 pH는 증가하였다.

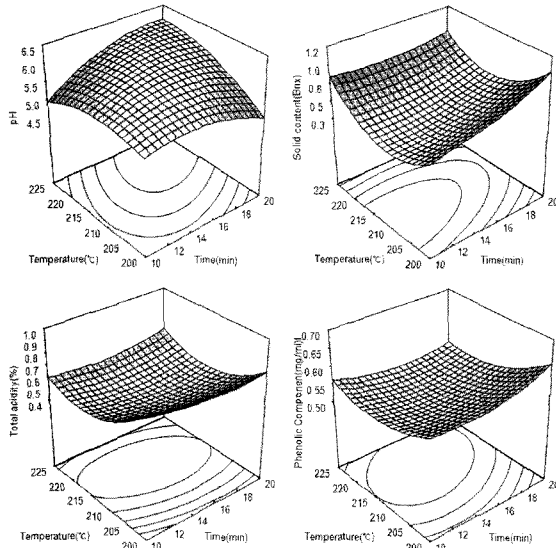


Fig. 2. Response surface plots for the pH, total acidity, solid contents and total phenolic compound of the roasted coffee beans.

커피 원두의 품종, 재배고도, 수확 후 기간, 가공법, 배전 강도 등과 같은 여러 가지 요인의 영향을 받는 산도는 관능적인 기호도와 관련이 깊다. 총산도는 200℃, 10분인 경우 1.02%에서 그리고 225℃, 20분인 경우에는 0.42%로 배전이 진행될수록 감소하였다. 배전에 의해 caffeic acid, quinic acid 성분은 분해되어 저분자화되며, 휘발산은 휘발되어 산도가 낮아져서 커피의 신맛에 영향을 준다고 보고되어있다(16).

본 연구에 사용된 커피 추출액의 총 페놀 함량은 0.44~0.67 mg/mL로 나타났으며, 서울 시내 커피 전문점에서 판매되는 레귤러 커피의 총페놀함량의 농도가 0.42~1.45 mg/mL로 나온 결과(18)와 유사한 범위로 나타났다. 또한 배전 시간이 진행됨에 따라 총 페놀 화합물 함량이 다소 감소하는 경향을 나타내었다고 한 결과(6)와도 유사하게 나타났다. 고온에서의 배전은 chlorogenic acid를 quinolactone으로 변화를 촉진시키며 분해되어 저분자의 휘발성 페놀성분들을 많이 생성시키기에 배전 과정 중에는 총 페놀화합물의 농도는 다소 증가하다가 최종적으로는 감소하는 경향으로 나타난다고 하였다(19). 또한 배전 과정 중에는 원두내의 isoflavone의 농도가 감소하지만 추출성은 증가한다는 결과와도 유사하게 나타났다(20).

색상변화

반응표면분석법에 의해 배전 조건을 달리하여 배전한 커피의 색상에 관한 관능검사결과는 Table 2에 나타내었다. 배전에 의해 커피색이 갈색 또는 검은색으로 변하는 원인으로서는 배전 과정 중의 Maillard 반응에 의해 형성되는 melanoidin과 같은 색소 때문이다(21). 반응표면분석법에 의해 설정된 배전 조건에 따라 배전한 원두의 색차는 가열 온도와 시간의 증가에 반비례로 감소하였다(Fig. 3). L값은 배전시간과 온도와 선형의 관계를 나타냈지만 a값과 b값은 낮은 능선을 나타내며 다소 증가하다가 감소하였다. 이는 Robusta종을 배전 시에 배전시간과 온도에 따라 색차값이 감소한 결과(22)와 210℃에서 배전 시에 10분 이후부터 갈색도가 급격히 증가했다는 결과(17)와 유사하게 나타났다.

기호도 검사

배전한 원두를 갈아서 가정용 원두커피 추출기를 통해서 제조한 커피에 대한 20~30대 일반 소비자들의 관능적 기호

Table 3. Experimental data on sensory quality of coffee roasted under different roasting conditions based on composition design for response surface analysis

Run No	Sensory preference ¹⁾					
	Color	Flavor	Bitterness	Sourness	Heaviness	Finishness
1	3.53±0.99 ²⁾	3.40±1.24	3.93±0.96	2.80±1.26	3.67±1.11	4.13±1.19
2	4.13±0.92	4.13±0.99	4.67±0.72	2.33±1.40	3.47±1.30	3.60±1.50
3	2.60±0.74	3.20±0.77	3.53±0.99	2.20±1.21	3.20±0.94	3.33±0.72
4	3.00±0.85	3.00±1.13	4.07±0.59	2.53±0.99	3.07±1.10	3.67±1.18
5	2.27±1.16	3.07±0.70	3.60±0.83	2.67±0.98	3.00±1.00	3.40±1.06
6	3.20±1.01	3.33±0.62	3.53±0.99	3.00±1.00	3.07±0.80	4.13±0.74
7	2.07±1.03	2.33±0.90	3.00±1.13	3.33±0.98	2.60±1.12	2.93±0.96
8	3.53±1.25	3.60±1.06	3.67±1.11	3.27±1.33	3.00±0.93	4.20±0.68
9	3.20±0.94	2.27±1.03	3.40±1.12	2.87±1.13	3.27±1.10	2.80±1.01
10	2.67±1.05	2.27±1.16	2.93±1.03	2.07±0.88	2.27±1.33	2.40±0.99
11	2.07±0.88	2.93±1.03	3.07±1.16	2.93±1.10	2.13±0.92	3.00±1.25

¹⁾Scale score : 1(dislike very much) to 5(like very much)

²⁾Mean±SD, p<0.05

도 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 각각의 조건에 따라 배전한 커피를 추출한 시료에 대한 관능적 선호도는 중배전된 커피가 가장 높았으며, 배전 강도가 강해질수록 쓴맛을 강하게 느끼며, 약배전의 경우에는 신맛을 강하게 느꼈다. 입안에서 느껴지는 무게감과 여운은 강배전 조건에서 더욱 강하게 느끼는 것으로 나타났다. 에스프레소 커피를 9배 희석한 커피의 선호도가 가장 높았고 희석하지 않은 에스프레소에 가까울수록 선호도가 낮아진 연구(9)에서 강배전한 에스프레소 커피의 경우에는 다당류가 많이 잔류하게 되는데, 이러한 다당류가 향기 성분의 잔류, 추출액의 점도, 풍부함 등을 느낄 수 있도록 한다고 보고되어 있다.

반응표면분석법에 의한 최적 배전조건 설정

각각의 조건하에서 배전된 커피의 이화학적 및 관능적 조건을 통계분석한 결과는 Table 4와 같다. 배전 조건에 따라 색상(L, a, b값), 길이, 높이, 향, 고형분 함량이 의미 있는 수준으로 영향을 받는 것으로 나타났다. 최적의 배전 조건을 설정하기 위해 유의성이 있는 반응으로 배전 후 원두

의 길이와 폭, 관능검사 결과에 의한 색과 향, 페놀화합물 양으로 최적 조건을 설정하였다(Table 5). 배전시간과 온도는 실험 범위내에서 결정되도록 하였으며 배전 후 원두의 길이, 폭 그리고 관능검사 결과에 의한 색, 향과 페놀화합물 양의 목표치를 최대로 설정하여 최적치를 수치최적화 분석법에 의해 추정하였다. 일반적인 배전 온도인 188~282℃과 배전시간 범위인 30분까지의 범위에 속하는 배전온도 225℃와 배전시간 20분이 본 실험조건하에서의 최적 배전 조건으로 반응표면분석법에 의해 설정되었다(23). 반응표면분석법에 의해 예측된 반응들의 예측치는 길이는 12 mm, 폭 8.8 mm, 향에 대한 기호도 관능평가는 3.8, 총페놀함량은 0.55 mg/mL 등으로 나타났다.

요 약

반응표면분석법에 의해 생두를 실험 조건인 194.82℃~250.00℃의 온도 범위에서 7.93~22.07분의 조건으로 커피

Table 4. Statistical analysis results by RSM for the roasting conditions of coffee bean

Response	Model	F value	Prob>F	R2	Significant	
Color value	L-value	Linear	6.52	0.0209	0.62	Significant
	a-value	Quadratic	16.67	0.0039	0.94	Significant
	b-value	Quadratic	22.39	0.0020	0.96	Significant
Physical Characteristics	Length	Quadratic	6.67	0.0288	0.87	Significant
	Width	Linear	6.73	0.0193	0.63	Significant
	Height	Quadratic	3.51	0.0970	0.78	Not significant
Color	Linear	2.26	0.1667	0.36	Not significant	
Flavor	Quadratic	6.31	0.0322	0.86	Significant	
Finish flavor	Quadratic	1.63	0.3016	0.62	Not significant	
pH	Quadratic	3.37	0.1044	0.77	Not significant	
Solid Contents	Quadratic	29.93	0.0010	0.97	Significant	
Total acidity	Quadratic	1.83	0.2621	0.65	Not significant	
Phenolic Component	Quadratic	2.06	0.2229	0.67	Not significant	

Table 5. Optimal constraint values obtained by a numerical optimization method.

Name	Goal	Solutions of numerical optimization
Time	In range	10
Temperature	In range	225
Length	Maximize	12
Width	Maximize	8.8
Flavor	Maximize	3.8
Solid Content	In range	0.9
Phenolic componet	Maximize	0.55

원두를 배전하여 이화학적 분석, 물리적 특성, 관능검사 등을 실시하여 최적 조건을 설정하였다. 배전 정도가 커짐에 따라 직경, 길이, 두께 모두가 증가하여 전체적인 팽창률은 증가했지만, 겉보기 밀도의 변화는 그 차이가 적은 것으로 나타났다. pH는 증가하는 반면 총산도와 총페놀함량은 감소하는 경향을 나타내었으며, 고형분함량은 증가하는 유의성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 색도는 전체적으로 배전에 의해 갈색에서 검은색으로 변화하며 색도값이 감소하는 형태로 나타났다. 관능검사에 의해서는 전체적인 향과 맛에 따라 큰 차이를 보였으며 향이 배전 조건과 연관성이 높은 것으로 나타났다. 유의성을 나타낸 길이, 폭, 향,

고형분 함량과 총페놀함량으로 배전 조건을 설정한 결과, 225°C에서 20분간 배전하는 것이 본 연구 조건에서는 최적의 배전 조건으로 결정되었다.

참고문헌

- Hernandez JA, Heyd B, Irls C, Valdovinos B, Trystram G (2006) Analysis of the heat and mass transfer during coffee batch roasting. *J Food Eng*, 78, 1141-1148
- Anderson BA, Shimoni E, Liardon R, Labuza TP (2003) The diffusion kinetics of carbon dioxide in fresh roasted and ground coffee. *J Food Eng*, 59, 71-78
- Kim KJ, Park SK (2006) Changes in major chemical constituents of green coffee beans during the roasting. *Korean J Food Sci Technol*, 38, 153-158
- De Maria CAB, Trugo LC, Moreira RFA, Werneck CC (1994) Composition of green coffee fractions and their contribution to the volatile profile formed during roasting. *Food Chem*, 50, 141-145
- Oosterveld A, Voragen AGJ, Schols HA (2003) Effect of roasting on the carbohydrate composition of *Coffea arabica* beans. *Carbo Polymers*, 54, 183-192
- Kim JY, Han YS (2009) Influence of Roasting Time on Antibacterial and Antioxidative Effects of Coffee Extract. *Korean J Food Cookery Sci*, 25, 496-505
- Nicoli MC, Manzocco L, Lericci CR (1997) Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. *Lebensm-Wiss u-Technol*, 30, 292-297
- Kim HK, Hwang SY, Yoon SB, Chun DS, Kong SK, Kang KO (2007) A study of the characteristics of different coffee beans by roasting and extracting condition. *Korean J Food Nutr*, 20, 14-19
- Lee SY, Hwang I, Park MH, Seo HS (2007) Sensory characteristics of diluted espresso(Americano) in relation to dilution rates. *Korean J Food Cookery Sci*, 23, 839-847
- Kang BS, Lee YC (2001) Optimization of the Cryogenic Freezing Process for Carrot Slices. *Food Sci Biotechnol*, 10, 40-45
- Jackson JC, Bourne MC, Barnard J (1996) Optimization of blanching for crispness of banana chips using response surface methodology. *J Food Sci*, 61, 165-166
- Yilmaki G, Hawrysh ZJ, Hardin RT, Thomson ABR (1988) Application of response surface methodology to the development of rice flour yeast breads : Objective measurements. *J Food Sci*, 53, 1800-1805
- Rouille J, Le Bail A, Courcoux P (2000) Influence of formulation and mixing conditions on breadmaking qualities of French frozen dough. *J Food Eng*, 43, 197-203
- Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents. *Am J Enol Viticult*, 16, 144-158
- Oosterveld A, Voragen AGJ, Schols HA (2003) Effect of roasting on the carbohydrate composition of *Coffea arabica* beans. *Carbohydr Polym*, 54, 183-192
- Sivetz M, Desrosier NW (1979) *Coffee technology*. AVI Publishing Co, Washington, USA, p 527-574
- Mends LC, de Menezes HC, Aparecida M, de Silva AP (2001) Optimization of the roasting of robusta coffee(*C. canephora conillon*) using acceptability tests and RSM. *Food Quality and Preference*, 12, 153-162
- Seo HS, Kim SH, Hwang IK (2003) Comparison on physicochemical properties and antioxidant activities of commonly consumed coffees at coffee shops in Seoul downtown. *Korean J Soc Food Cookery Sci*, 19, 624-630
- Farah A, Donangelo CM (2006) Phenolic compounds in coffee. *Braz J Plant Physiol*, 18, 23-36
- Alves RC, Almeida IMC, Casal S, Oliveira MBPP (2010) Isoflavones in Coffee: Influence of Species, Roast Degree, and Brewing Method. *J Agric Food Chem*, 58, 3002-3007
- Borrelli RC, Visconti A, Mennella C, Anese M, Fogliano V (2002) Chemical characterization and antioxidant properties of coffee melanoidins. *J Agric Food Chem*, 50, 6527-6533
- Lee JW, Shin HS (1993) Antioxidative effect of brown materials extracted from roasted coffee beans. *Korean J Food Sci Technol*, 25, 220-224
- Mendes LC (2001) Optimization of the roasting of robusta coffee (*C. canephora conillon*) using acceptability tests and RSM. *Food Quality and Preference*, 12, 153-162

(접수 2010년 10월 5일 수정 2011년 1월 27일 채택 2011년 2월 11일)