KOREAN JOURNAL OF PACKAGING SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 31, No. 2 109~114 (2025)
https://doi.org/10.20909/kopast.2025.31.2.109

배전정도와 분쇄유무에 따른 커피의 CO_2 발생 특성

정수연[1] · 김규리[1] · 유하경[2] · 안덕순[1]*

[1]경남대학교 제약공학과
[2]소프트팩 주식회사

CO_2 Production from Coffee Influenced by Roasting Degree and Grinding

Soo Yeon Jung[1], Gyu Ri Kim[1], Ha Kyoung Yu[2], and Duck Soon An[1]*

[1]Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University, 7 Kyungnamdaehak-ro, Masanhappo-gu, Changwon, 51767 South Korea
[2]Softpack Co., Ltd, 420-18 Opo-ro, Gwangju, Gyeonggi-do, 12774 South Korea

Abstract While carbon dioxide produced from roasted coffee products may cause problems of package swelling, it plays beneficial role in preserving and providing the desired aroma. Thus, the information of their CO_2 production is required to design the packages suppressing the package volume and enhancing aroma retention. CO_2 production from roasted coffee products (whole bean or ground) at different roasting degrees was characterized at 25°C. Higher degree of roasting led to the decreased moisture content and titratable acidity of the initial product aligning with the increasing pH and darker color. The CO_2 solubility in the product increased with roasting degree probably because higher porosity was obtained at severer roasting. The CO_2 production profile analyzed by Weibull function showed that higher degree of roasting resulted in faster and higher CO_2 production. The powder products were much faster in the rate of CO_2 production compared to the beans (14-20 times). These results provide fundamental information that can be applied to the design of coffee packaging systems tailored to the roast level and particle form (whole bean or ground). The data information from this study would be useful for designing the roasted coffee package to create and keep the optimal package shape and atmosphere favorable for product quality preservation.

Keywords Whole bean coffee, Ground coffee, CO_2 solubility, Weibull function, CO_2 release

서 론

커피 생두(green bean)는 커피나무의 열매인 커피콩(coffee bean)을 이용하여 여러 단계의 가공 공정을 통해 제조된다. 제조된 커피 생두는 배전(roasting)공정을 통해 원두로 가공되어 분쇄 및 추출 후 여러 용도의 커피 음료로 활용된다. 배전공정을 통해 물리화학적 변화(주로 Maillard 반응, Strecker 분해반응, 자동산화 등)가 일어나고 향미(휘발성 향미 물질)를 결정짓는 여러 성분들이 형성되면서 다량의 CO_2(휘발성 비향미 물질)가 생성되는데, 생성된 CO_2는 전체 가스의 80% 이상을 차지한다[1]. 생성되는 CO_2양은 커피 1 g당 최대 10 mL(STP, Standard Temperature and Pressure)까지 생성될 수 있는데[2-4], 이러한 양은 배전조건에 따라 달라진다. 배전온도가 높고, 분쇄가 많이 될수록 커피 원두의 손상 정도가 높아 향기 성분과 CO_2가 빠르게 방출되어 커피의 신선도 유지와 향미 보존에 좋지 못한 영향을 준다. 이렇게 많은 양으로 생성된 CO_2는 포장내에 머물러서 포장의 팽창이나 압력 증가를 일으킬 수도 있고, 포장내부 기체조성을 변하게 하여 커피의 품질에 영향을 주게 된다.

커피의 휘발성 성분은 800여 종의 화합물이 확인되었으며[5], thiols류의 화합물이 커피의 감각적 향미에 큰 영향을 준다. 커피의 신선한 향미에 영향을 주는 thiols 화합물인 휘발성 향기 물질들은 생두의 원산지와 품종, 생두의 가공과 배전조건 등에 따라 여러 성분들이 복합적으로 작용하

*Corresponding Author: Duck Soon An
Department of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University, 7 Kyungnamdaehak-ro, Changwon 51767, South Korea
Tel: +82-55-249-2360
E-mail: ads2004@kyungnam.ac.kr

고 미량으로 커피의 향미에 영향을 주기 때문에 커피의 신선도 품질 지표로써 정량적으로 확인하는데 어려움이 있다. 또한, 대부분 불안정한 휘발성 물질로써 쉽게 산화되고 손실되어 정확한 농도변화를 측정하는데 한계가 있다. 분쇄커피에 대해 가스크로마토그래프 분석법을 활용하여 시간에 따른 휘발성 물질의 면적 감소 정도를 측정하고, 이를 이차 저장수명 결정의 지표로 사용한 연구 결과가 있다[6]. 이에 반해 향미가 없는 휘발 성분인 CO_2는 단일 물질로써 CO_2의 방출 정도에 따라 커피의 품질을 확인하는 지표로 간단하게 활용될 수 있다. 배전과정에서 생성된 CO_2의 상당 부분이 소실되지만, 일정량은 원두 내부에 남아있다가 천천히 확산되어 나온다. 배전과정 중에 생성된 CO_2는 서서히 방출되어 포장된 커피의 포장 내부에 채워져서 원두로부터 산소의 접촉을 차단하여 커피의 산화 정도를 느리게 한다. 포장 내부에 CO_2가 채워지면서 포장 부피 팽창 및 파손의 원인이 되므로 이를 방지하기 위해 CO_2를 일부 탈기한 후 포장하기도 하는데, 이때 산소와의 접촉을 최소화할 필요가 있다. CO_2는 수분과 지방성분에 높은 용해 특성을 가지고 있어서 배전과정에서 생성된 CO_2는 커피 원두로 녹아 들어갈 수도 있다. 따라서 배전조건에 따라 생성된 CO_2가 커피에 용해되는 정도는 배전도와 분쇄여부 및 커피 조직의 파괴 정도에 따라 차이가 있을 수 있다. 이러한 여러 조건에서 달라지는 커피의 CO_2 발생정도는 커피 포장을 선택하는 중요한 고려요소이다.

본 연구에서는 배전정도(강배전, 중배전, 약배전)와 분쇄여부(커피 원두, 분쇄 커피)에 따른 CO_2 발생량 및 방출속도를 정량적으로 평가하고, 향후 커피 포장 설계에 사용될 수 있는 형태로 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에 사용된 원두 bean은 과테말라산 아라비카 종(*coffea arabica*) 원두에대해 로스팅기(PROBATino, Probat, Germany)를 사용하여 배전정도에 따라 강배전, 중배전, 약배전으로 구분하여 실험 당일 볶아서 사용되었다. 생두 1 kg을 168°C로 예열된 로스터기에 투입하여 로스팅 하였으며, 강배전을 193°C 12분 시점, 중배전을 184°C 10분 30초 시점, 약배전을 182°C 9분 30초 시점에 배출하여 실온으로 냉각시킨 후 CO_2 발생량과 CO_2 용해도 측정 실험에 사용하였다(Table 1). 미국스페셜티커피협회(SCAA, Specialty Coffee Association of America)에서는 배전된 원두에 대해 agtron number를 기준으로 8단계로 구분하고 있다. 본 연구에서는 배전정도에 따라 간단하게 강, 중, 약배전으로 구분하였으며, 강배전의 경우 agtron number를 기준으로 본다면 moderately dark로 확인되었다.

2. 초기 커피 품질 특성

배전정도에 따른 커피의 초기 품질특성으로서 수분함량(%), pH, 총산 함량(%), 표면색도에 대해 측정하였다. 수분함량은 식품공전에 제시된 상압가열건조법으로 측정되었다. pH와 총산 함량은 분쇄된 커피 5 g에 95°C 물 45 mL로 추출한 후 원심분리(5,000 g, 10분)를 통해 커피 액만 취해서 Orion Model 920 A plus pH meter(Orion Research Inc., Boston, USA)로 pH를 측정하고, 0.1 N NaOH로 pH 8.1이 될 때까지 적정한 후 구연산 기준으로 총산 함량(%)을 계산하였다[7]. 표면색도는 분쇄된 커피 시료를 측정 용기에 담고 색차계(Model JC 801, Colour Techno System Corporation, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정되었다.

3. CO_2 용해도와 CO_2 발생량 측정

커피의 CO_2 발생량은 커피의 분쇄유무와 배전정도에 따라 구분하여 측정되었다. 기본적으로 커피 시료를 담은 밀폐 유리병(밀폐병)에서 증가되는 CO_2 농도를 측정하여, 그때에 밀폐병의 헤드스페이스에 기체상태로 존재하는 CO_2 양을 얻고, 이와 평형조건으로 시료에 용해된 CO_2를 더하여 총 CO_2 발생량으로 얻었다. CO_2 용해도와 CO_2 발생량 측정 실험에 사용된 시료의 처리조건은 Table 1에 제시하였다. 강배전, 중배전, 약배전으로 구분하여 측정 조건별로 해당되는 일정한 양의 커피를 950 mL 밀폐병에 넣고, 실리콘 주입구가 달린 금속 뚜껑으로 밀봉하였다. 커피가 들어있는 밀폐병을 25°C에 저장하면서 헤드스페이스내 기체 시료 1 mL를 실린지로 취하여 가스크로마토그래피(Model 3800, Varian Inc., Palo Alto, CA, USA)에 주입함으로써 시간에 따른 CO_2 농도 변화를 분석하였다. 기체크로마토그래피는 Alltech CTR Ⅰ column(Alltech Associates Inc., Deerfield, IL, USA)과 TCD(thermal conductivity detector)가 장착되어 있으며, 운반기체(carrier gas)인 헬륨(He)을

Table 1. Conditions of the samples used in the experiment for measuring CO_2 solubility and CO_2 production

Roast degree	Temperature(°C)	Time (min)	Measuring conditions	
			CO_2 solubility	CO_2 production
Dark	193	12.0	Ground coffee 100 g in 950 mL glass jar	Whole bean coffee 100 g and ground coffee 50 g, each in 950 mL glass jar
Medium	184	10.5		
Light	182	9.5		

30 mL/min의 유량으로 흐르게 하였고, 오븐(oven) 온도 50°C, 주입부(injection) 온도 80°C, 검출부(detector) 온도 120°C를 조건으로 분석하였다. 측정된 헤드스페이스의 CO_2 농도 변화로부터 이상기체상태방정식에 따라 헤드스페이스에 존재하는 CO_2 량을 구하였다.

앞에서 언급한 바와 같이 커피로부터 발생한 CO_2는 950 mL 밀폐병의 헤드스페이스에 채워지고, 커피 bean의 내부 조직에도 녹아 있다. 따라서 커피에 녹아 있는 CO_2 양은 Henry's 법칙으로 결정하고자 하였고[8], 이를 밀폐계 실험을 통하여 측정하였다. 즉, 배전도에 따라 분쇄된 커피 100 g을 950 mL 밀폐병에 넣고 진공펌프에 의해 진공이 유지되는 조건으로 30°C에서 4~5일 동안 방치시켜 CO_2를 완전히 탈기 시켰다. 이후 뚜껑에 장착된 실리콘 시료 채취구를 통해 밀폐병 내부로 200 mL의 CO_2를 주입한 후 평형상태에 이를 때까지 기다린 다음 헤드스페이스 내 시료 1 mL를 채취하여 가스크로마토그래프로 CO_2농도를 분석하였다. 헤드스페이스 내의 CO_2 농도와 분압(P_{CO2}, atm)을 얻고 200 mL CO_2 중에서 커피로 녹아들어간 CO_2 양(m_{CO2}, mg)은 물질수지식 관계를 통해 계산할 수 있으며[9], 이들의 관계로 Henry의 상수(H_{CO_2})는 다음 (1)식으로 얻어질 수 있다.

$$H_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{P_{CO_2} W} \quad (1)$$

여기서 m_{CO2}는 커피에 용해된 CO_2량(mg), P_{CO2}는 밀폐병 내의 CO_2 분압(atm), W는 커피 무게(g)이다.

일정한 양의 커피(커피 원두 100 g, 분쇄 커피 50 g)를 각각 담고 저장된 밀폐병에서의 CO_2 농도로부터 해당 시점에서의 발생된 CO_2의 양은 헤드스페이스에 존재하는 CO_2와 커피에 녹아 있는 CO_2의 합으로써 다음 (2)식으로 얻어질 수 있다.

$$CO_2 produced = C_{CO_2} V_h + H_{CO_2} P_{CO_2} W \quad (2)$$

여기서 C_{CO_2}는 밀폐병 헤드스페이스의 CO_2 농도(mg/mL), V_h는 밀폐병의 헤드스페이스 부피(mL), W는 제품 무게(g), P_{CO_2}는 이상기체상태방정식에 의해 C_{CO_2}로부터 계산된 CO_2의 분압(atm), H_{CO_2}는 Henry의 상수(mg g^{-1} atm^{-1})이다.

저장 시간별로 커피의 CO_2 발생량을 식 (2)를 사용하여 얻은 다음, 그 함수적인 관계를 정량적으로 분석하기 위하여 Smrke 등[2]이 제시한 Weibull 함수를 활용하였다.

$$M_t = M_\infty \{1 - exp(-(t/\lambda)^k)\} \quad (3)$$

여기서 t는 시간(h), M_t는 CO_2 발생량(mg/g), M_∞는 최대 CO_2 발생량(mg/g), λ는 scale인자(h)로써 약 63%의 CO_2가 발생되는 시점이고, k는 형태인자이다.

특정 시점, t에서의 CO_2 발생속도(R_{CO_2})는 식(3)의 미분에 의하여 식(4)로 표현될 수 있다.

$$R_{CO_2} = \frac{dM_t}{dt} = \frac{M_\infty k \cdot \exp(-(t/\lambda)^k) \cdot (t/\lambda)^{k-1}}{\lambda} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)를 활용하여 시간에 따른 커피의 CO_2 발생 유형과 속도에 대하여 정량적으로 파악할 수 있다.

결과 및 고찰

1. 초기 커피 품질 특성

볶은 커피의 초기 품질을 배전정도에 따라 구분하여 Table 2에 제시하였다. 볶은 커피의 수분함량은 약배전 2.3%, 중배전 1.8%, 강배전 1.5% 순으로 배전온도가 높고 배전시간이 길어질수록 낮아졌다. 생 원두의 수분함량이 약 10~12%로 보고되어 있으며[3], 로스팅기에서 볶는 과정을 통해 수분함량은 낮아지게 된다. Shimoni 등[4]은 아라비카 종에 대해 볶은 커피의 수분함량은 0.56~2.42%의 범위이고, 배전온도가 높고 배전시간이 길어질수록 커피의 수분함량이 낮아지는 것으로 보고하여 본 연구의 실험결과와 일치하였다. pH는 커피의 품종과 원산지, 생 원두의 배전정도에 따라 커피의 관능적 특성에 영향을 주는데[10,11], 생 원두는 배전이 진행될수록 신맛이 감소하고 커피의 향미 물질이 증가한다. 로스팅 과정 중에 일어나는 생두의 물리화학적 변화는 Maillard 반응, Strecker 분해반응, 열분해 반응, caramelization 반응이 있다. 주로 Maillard 반응과 caramelization 반응을 통해 커피의 좋은 향기 성분을 생성하면서 구연산이나 사과산등의 신맛이 감소하는 것으로 설명되고 있다[12,13]. 약배전에 비해 강배전에서 pH가 높고 총산 함량이 낮아짐으로 신맛보다는 상대적으로 커피의 다양한 맛이 증가될 것이다. 표면색도의 경우 밝기 정도를 나타내는 L

Table 2. Initial quality of roasted coffee by the roast conditions

Roast degree	Moisture content(%)	pH	Total acidity(%)	Surface color		
				L	a	b
Dark	1.5 ± 0.1	5.70 ± 0.04	0.51 ± 0.01	23.4 ± 0.3	1.7 ± 0.4	12.7 ± 0.4
Medium	1.8 ± 0.1	5.47 ± 0.02	0.60 ± 0.00	26.8 ± 0.3	2.5 ± 0.2	17.3 ± 0.6
Light	2.3 ± 0.1	5.37 ± 0.02	0.66 ± 0.01	31.0 ± 0.2	3.3 ± 0.2	20.1 ± 0.3

Fig. 1. Color difference of roasted coffee by the roast conditions.

값이 강배전 커피에서 낮게 측정되었으며, 배전온도가 높고 배전시간이 길어질수록 커피의 색이 어두워지는 것을 확인할 수 있다(Fig. 1).

2. 배전 커피에서의 CO_2 용해도와 CO_2 발생량

배전정도에 따른 커피 내 CO_2의 용해도는 Fig. 2에 제시되어 있다. H_{CO_2}의 경우 강배전 커피는 4.38 ± 0.13 mg g^{-1} atm^{-1}, 중배전은 3.82 ± 0.65 mg g^{-1} atm^{-1}, 약배전은 3.47 ± 0.49 mg g^{-1} atm^{-1}의 값을 나타냈다. 이는 배전온도가 높을수록 원두의 부피와 기공이 증가하고, 세포벽 내 더 큰 미세기공이 형성되어 높은 CO_2용해를 보이는 것으로 해석된다[14]. 즉, 구조적 변화로서 강배전 일수록 커피 내부 조직이 다공성화 되고 미세기공이 커서 상대적으로 CO_2가 조금 더 용해되는 것으로 추측된다. Shimoni과 Labuza[4]는 Langmuir isotherm 모델을 활용하여 볶은 분쇄 커피에 대해 CO_2 흡수의 거동을 설명하였는데, 비록 배전조건의 차이는 있지만 0.5 atm 기준으로 강배전(1.37 mg g^{-1}), 중배전(1.18 mg g^{-1}), 약배전(0.89 mg g^{-1})으로 진행될수록 CO_2 흡착량이 감소하는 경향을 보였다. 본 연구의 H_{CO_2}를 적용하여도 유사한 경향을 보였는데, 0.5 atm에서 강배전은 2.19 mg g^{-1}, 중배전은 1.91 mg g^{-1}, 약배전은 1.74 mg g^{-1}으로 확인되었고, 비록 본 연구의 용해도가 높지만 배전의 영향에서는 동일한 경향을 보여주었다. 이러한 결과는 커피 내 CO_2의 용해가 수분 함량이나 지방 오일의 존재뿐만 아니라, 배전과정에서 형성된 내부 조직의 다공성과 미세기공 구조에 의한 물리적 흡착 또는 용해 현상에 의해서도 설명될 수 있다. Anderson[15]은 배전된 커피에서 CO_2 이동에 대해 Knudsen 확산, 압력 구동 점성 흐름, 전이영역 확산, 표면 확산, 그리고 다양한 성분으로부터의 탈착 현상이 복합적으로 작용하는 것으로 설명하였다.

커피 원두(Fig. 3(A))와 분쇄 커피(Fig. 3(B))에 대해 배

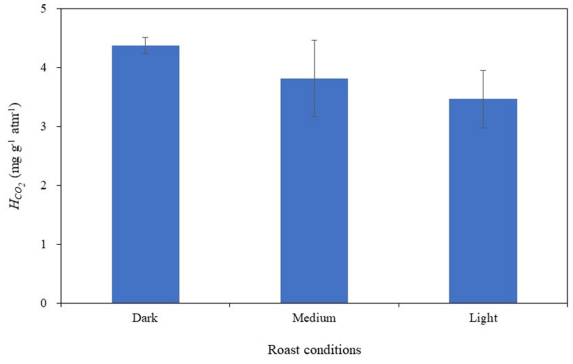

Fig. 2. H_{CO_2} (CO_2 solubility) of roasted coffee depending on the roasting conditions. Vertical bars are standard deviations.

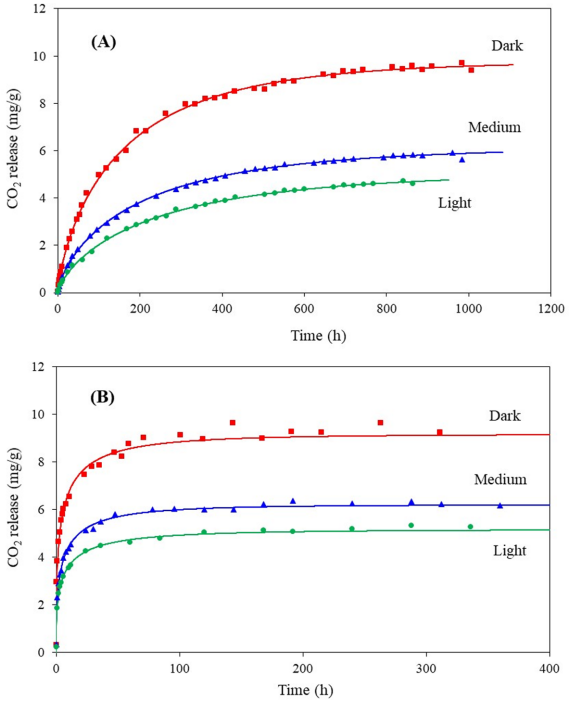

Fig. 3. CO_2 production profiles from roasted whole bean coffee (A) and ground coffee (B). ■: Dark; ▲: Medium; ●: Light.

Table 3. CO_2 production from whole bean coffee and ground coffee described by Weibull function

Condition	Roast degree	Weibull parameter			CO_2 production rate	
		M_∞ (mg/g)	k	λ (h)	$R_{CO2,\lambda/2}$ (mg/g/h)	$R_{CO2,\lambda}$ (mg/g/h)
Whole bean coffee	Dark	9.77	0.755	165.7	0.032	0.016
	Medium	6.15	0.736	208.3	0.016	0.008
	Light	5.08	0.752	246.5	0.011	0.006
Ground coffee	Dark	9.17	0.408	5.12	0.667	0.269
	Medium	6.21	0.436	6.02	0.403	0.165
	Light	5.17	0.407	6.32	0.304	0.122

전정도에 따라 커피에서 방출되는 CO_2 양이 평형에 이를 때까지 CO_2 발생량을 측정하였다. 커피 원두는 약 1,000시간, 분쇄 커피는 약 350시간 측정을 통해 약배전, 중배전, 강배전의 순서로 최대 CO_2 발생량이 증가하는 것으로 확인되었다. Weibull 함수인 식 (3)을 활용하여 묘사된 Fig. 3의 데이터를 분석하면 Table 3에 제시된 바와 같이 커피 원두와 분쇄 커피의 Weibull 함수 parameter을 구할 수 있다. 커피 원두에서 최대 CO_2 발생량인 M_∞ 값은 약배전 5.08 mg g^{-1}, 중배전 6.15 mg g^{-1}, 강배전 9.77 mg g^{-1}이다. 분쇄 커피에서 M_∞ 값은 약배전 5.17 mg g^{-1}, 중배전 6.21 mg g^{-1}, 강배전 9.17 mg g^{-1}이었다. 커피 원두와 분쇄 커피에서 로스팅이 진행될수록 CO_2 발생량이 높아지는 것으로 확인되었다. 반면에 분쇄가 최대 발생량에는 그다지 큰 영향을 주지는 않는 것으로 보인다. 이는 본 실험에서 분쇄 직후에 밀폐병에 바로 담아서 전 과정의 CO_2 발생을 추적한 것으로도 이해된다. 볶은 커피를 담은 밀폐 용기 내에서 CO_2 농도 증가를 적외선 흡수 분광법으로 측정한 Wang과 Lim[16]은 230ºC 18분(강배전) 볶은 커피 원두에서 약 15.6 mg g^{-1}, 230ºC 8분(중배전) 볶은 커피 원두에서 약 11.5 mg g^{-1}, 230ºC 4분(약배전) 볶은 커피 원두에서 약 6.3 mg g^{-1}의 CO_2가 방출되었다고 보고하였다. Smrke 등[2]은 시간에 따른 커피 시료의 무게 변화를 기반으로 한 직접 중량법을 통해 CO_2 를 포함한 방출 전체 가스의 질량을 측정하고, Weibull 분포 모델을 활용하여 설명한 바 있는데, 커피 원두에서 최대 CO_2 발생량인 M_∞ 값은 약배전 3.67 mg g^{-1}, 중배전 7.34 mg g^{-1}, 강배전 12.67 mg g^{-1}이었다. 배전온도와 배전시간의 조건이 달라서 본 연구와 직접적인 비교는 어려울 수 있으나, 전체적으로 비슷한 경향을 보였으며 방출되는 CO_2양은 생원두의 원산지와 종류 및 배전조건 그리고, 측정방법에 따라 달라질 수 있는 것으로 이해된다.

커피 원두와 분쇄 커피에 대해 전체 발생량 중에서 63% 발생되는 시점인 λ은 Table 3에서 확인된다. 커피 원두에서 λ는 강배전 165.7 시간, 중배전 208.3 시간, 약배전 246.5 시간으로 배전이 약할수록 CO_2 발생 시간이 지연되고 있다. 분쇄 커피에서 λ는 강배전 5.12시간, 중배전 6.02 시간, 약배전 6.32 시간으로 커피 원두와 달리 분쇄 작업으로 다량의 CO_2가 일시적으로 한꺼번에 방출되어 배전정도에 따른 발생 시간의 차이가 거의 없었다. 형태인자 k에서는 배전정도에 따른 차이는 거의 없었고, 분쇄 제품에서 그 값이 현저히 감소하였다.

Table 3에 제시된 Weibull 함수 parameter를 식 (2)에 대입하면 시간에 따른 발생 속도를 계산할 수 있다. 커피 원두의 경우 63% 발생 시점인 λ에서 강배전은 0.016 mg g^{-1} h^{-1}, 중배전은 0.008 mg g^{-1} h^{-1}, 약배전은 0.006 mg g^{-1} h^{-1}의 발생 속도이고, 분쇄 커피의 경우 63% 발생 시점인 λ에서 강배전은 0.269 mg g^{-1} h^{-1}, 중배전은 0.165 mg g^{-1} h^{-1}, 약배전은 0.122 mg g^{-1} h^{-1}의 발생 속도로 확인되었다. 강배전으로 갈수록 발생 속도가 빨랐으며, 커피 원두에 비해 분쇄 커피에서 발생 속도가 약 14~20배 높았다. 이는 분쇄 공정으로 단단한 원두의 조직이 파괴되어 CO_2 방출 속도를 촉진시킨 결과이다. Wang과 Lim[16]은 배전된 원두를 굵은 입자에서 고운 입자로 분쇄할수록 입자 표면적이 증가하여 CO_2의 26%에서 59%가 손실되었다고 보고하였다.

위에서 측정하고 정립한 볶은 커피 제품의 CO_2 발생특성의 정보는 제품 가공 조건에 따라서 달라지는 포장내의 기체조성, 부피, 압력의 변화를 예측하는 데에 활용될 수 있을 것이다. 포장의 완전성을 유지하면서 커피의 산화를 지연시키고 커피의 관능적 품질 유지에 도움을 줄 수 있는 기체조성을 형성할 수 있는 최적 포장 설계를 위한 기본 데이터로 활용될 수 있을 것이다. 이는 유통 과정에서의 품질 유지 및 신선도 관리를 위한 커피 저장 및 패키징 기술을 개발하는 데 기여할 것으로 기대된다.

요 약

커피의 배전정도에 따라 초기 품질 특성, CO_2 용해도, CO_2 발생량 및 발생 속도를 분석하였다. 생두에서 배전이 진행될수록 커피의 수분함량은 감소하였으며, pH는 증가하고 총산 함량은 감소하였다. 색도의 경우 배전시간과 온도가 높을수록 커피의 색은 어두워져서 밝기 정도를 표현하는 L 값이 낮았다. 25°C에서 CO_2 용해도는 강배전 커피에서 가장 높았으며, CO_2 발생량 분석에서는 분쇄유무에

상관없이 강배전에서 발생량이 많았다. 커피 원두에서 배전도가 낮을수록 CO_2가 천천히 발생하였지만, 분쇄커피에서는 배전도에 상관없이 CO_2 발생이 빠르게 진행되었다. 이는 분쇄로 인해 다량의 CO_2가 일시적으로 배출됨에 따른 현상이었다. CO_2 방출 속도는 강배전일수록 빠르고, 커피 원두에 비해 분쇄 커피에서 약 14~20배 높은 발생 속도를 보였다. 이러한 연구 결과는 커피의 배전도 및 분쇄 유무에 따라서 달라지는 최적 커피 포장 설계에 적용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원(해당사업명: 고부가가치식품개발사업)의 지원을 받아 연구되었음(No.322019-3).

참고문헌

1. Geiger, R., Perren, R., Kuenzli, R., & Escher, F. 2005. Carbon dioxide evolution and moisture evaporation during roasting of coffee beans. J. Food Sci., 70, 124-130.
2. Smrke, S., Wellinger, M., Suzuki, T., Balsiger, F., Opitz, S.E.W., & Yeretzian, C. 2018. Time-resolved gravimetric method to assess degassing of roasted coffee. J. Agric. Food Chem., 66, 5293-5300.
3. Illy, A., & Viani, R. 1995. Espresso coffee: The science of quality. San Diego, CA: Academic Press. Inc.
4. Shimoni, E., & Labuza, T.P. 2000. Degassing kinetics and sorption equilibrium of carbon dioxide in fresh roasted and ground coffee. J. Food Process Eng., 23, 419-436.
5. Dulsat-Serra, N., Quintanilla-Casas, B., & Vichi, S. 2016. Volatile thiols in coffee: A review on their formation, degradation, assessment and influence on coffee sensory quality. Food Res. Int., 89(2), 982-988.
6. Anese, M., Manzocco, L., & Nicoli, M. C. 2006. Modeling the secondary shelf life of ground roasted coffee. J. Agric. Food Chem., 54(15), 5571-5576. https://doi:10.1021/jf060204k
7. 7. So, Y.J., Lee, M.W., Yoo, K.M., Kang, H.J., & Hwang, I.K. 2014. Physicochemical characteristics and antioxidant activity of dutch coffee depending on different extraction conditions and storage. Korean J. Food Sci. Technol., 46(6), 671-676.
8. Jaisan, C., An, D. S., & Lee, D. S. 2019. Modeling volume change for active flexible package of CO_2-producing kimchi. Food Packag. Shelf Life, 20, 100303. https://doi:10.1016/j.fpsl.2019.100303
9. Wang, H. J., An, D. S., & Lee, D. S. 2017. A model to tune modified atmosphere conditions of powdered infant formula packaging. J. Food Process Eng., 40, e12380. https://doi:10.1111/jfpe.12380
10. Hu, G., Peng, X., Gao, Y., Huang, Y., Li, X., Su, H., & Qiu, M. 2020. Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: Research from the perspective of major chemical ingredients. Food Chem., 331(30), https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127329
11. Elmaci, L., Gok, L., Tokusoglu, O., & Tokusoglu, O. 2022. Impact of roasting degree on sensory profile of Turkish coffee and espresso assessed by Turkish and Brazilian panelists. J. Food Process Eng., 46, https://doi.org/10.1111/jfpp.17201
12. Vignoli, J. A., Viegas, M. C., Bassoli, D. G., & de Toledo Benassi, M. 2014. Roasting process affects differently the bioactive compounds and the antioxidant activity of arabica and robusta coffees. Food Res. Int., 61, 279-285.
13. Król, K., Gantner, M., Tatarak, A., & Hallmann, E. 2019. The content of polyphenols in coffee beans as roasting, origin and storage effect. Eur. Food Res. Technol., 246, 33–39. https://doi. org/10.1007/s00217-019-03388-9
14. Schenker, S., Handschin, S., Frey, B., Perren, R., & Escher, F. 2000. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. J. Food Sci., 65, 452-457.
15. Anderson, B.A., Shimoni, E., Liardon, R., & Labuza, T. P. 2003. The diffusion kinetics of carbon dioxide in fresh roasted and ground coffee. J. Food Eng., 59, 71-78.
16. Wang, X., & Lim, L.-T. 2014. Effect of roasting conditions on carbon dioxide degassing behavior in coffee. Food Res. Int., 61, 144-151.

투고: 2025.06.18 / 심사완료: 2025.06.30 / 게재확정: 2025.07.17