

특집 제1회 김치의 과학과 산업화 심포지움

김치포장용기에서 압력발생 및 부피팽창

이 동 선

경남대학교 식품공학과

서 론

김치는 살균과정을 거치지 않고 소비되는 특성을 가진 식품으로서 저장 및 유통과정중 유산균 등의 미생물에 의한 발효가 계속 진행되므로 화학적 품질이 변화할 뿐만 아니라 발효에 의하여 생성되는 CO₂에 의하여 강성용기의 경우 압력이 발생하고 유연포장의 경우 부피가 팽창하게 된다. 이러한 압력발생이나 부피팽창은 소비자에게 수용될 수 없는 외관을 만들 뿐만 아니라 심한 경우 용기의 누설이나 파손을 가져오게 되므로 포장김치의 품질유지를 위해서 적절히 제어되어야 한다.

김치의 발효 숙성으로부터 압력발생이나 부피팽창을 가져오는 유산균의 변화를 보면 발효 초기에는 편성이상젖산발효균(1)(obligate heterofermentative lactic bacteria)인 *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus brevis*가 많이 번식하여 젖산, 에탄올, CO₂ 등을 생성하고, 이들 발효산물에 의해 김치가 산성화되고 발효조건이 혐기상태로 되어 호기성균의 성장을 억제하는 중요한 역할을 한다(2-4). 그리고 발효 후기에는 통성상젖산발효(facultative homofermentative)균인 *Lactobacillus plantarum*이 주로 자라며 이 시기는 *Leuconostoc mesenteroides*수가 감소하고 *Lactobacillus plantarum*의 수가 최대로 될 때 김치는 완전히 시어지는 것으로 보고되고 있다(2,3). 김치발효로부터의 CO₂ 발생은 상당히 많은 부분이 이상젖산발효균인 *Leuconostoc mesenteroides*에 기인할 것으로 추정되며 이는 저장 유통 중 포장의 팽창이나 압력발생을 유발시키는 부정적인 결과는 반대로 김치에 탄산미와 함께 좋은 풍미를 주게 된다(5). *Leuconostoc mesenteroides*가 저온, 저염농도에서 활성이 강하기 때문에 이 조건에서 숙성된 김치에서 CO₂가 많이 발생하고 좋은 맛을 주게 된다(2,5). 또한 CO₂의 용해도가 저온에서 높으므로(6) 발생된 CO₂가 김치 국물에 많이 녹게 되는 것도 저온, 저염농도에서 숙성된 김치가 상큼하고 시원한 맛이 강한 이유의 하나이다. 이는 김치의 주 발효균으로서 김치의 맛과 풍미에 좋은

효과를 주는 유산균이 *Leuconostoc mesenteroides*이라는 점에서도 김치발효에서 CO₂발생과 용액에서의 용해의 중요성이 강조되게 된다(2).

Leuconostoc mesenteroides 등의 유산균에 의한 CO₂ 발생이 품질에 긍정적인 기여를 함에도 불구하고 김치포장용기에서 압력발생 및 부피팽창을 유발하는 부정적인 면을 어떻게 해결하고 조화시키나 하는 것이 김치포장 설계의 중요한 과제의 하나이다. 이를 위해서 가장 먼저 이루어져야 할 것은 김치로부터의 CO₂ 발생이 어떠한 변수에 의하여 얼마나 영향을 받느냐의 문제와 함께, CO₂ 발생으로 인해 발생하는 포장내의 압력이나 부피의 변화를 예측하는 것이다. 이로부터 포장의 압력 및 부피를 제어하는 김치 포장조건이나 유통조건 설계가 시작될 수 있을 것이다. 김치의 발효속도에 가장 현저하게 영향을 줄 수 있는 제어변수가 염도와 온도이기 때문에 김치발효중 CO₂ 발생을 온도 및 염도의 함수로서 modeling하는 것이 가장 근본적인 과정으로 생각되어 본고에서 필자의 연구결과를(7) 일부 소개하고자 한다. 얻어진 model을 이용하여 저장유통 중 김치포장의 압력 및 부피변화를 예측할 수 있는 가능성에 관하여도 검토하였다.

아울러 필자의 연구실에서 편홍의 개념을 포장에 도입함으로써 압력발생의 문제를 해결하면서 포장내의 헤드스페이스와 김치액즙에 다량의 CO₂를 축적시킬 수 있는 결과를(8) 얻었고 이에 대해서 일부 다루고자 한다.

김치의 발효 숙성중 CO₂ 발생과 압력변화

포장된 김치의 발효 숙성 중에 일어나는 pH 및 총산의 변화와 함께 CO₂ 발생은 그림 1과 같은 경향을 보인다. 김치는 발효가 진행되면서 총산은 증가하고 pH는 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 일반적으로 김치의 적숙기(optimum ripening time) 즉, 총산 0.6%(lactic acid %), pH 4.2에 도달하는 시간은(2) 15°C에서 약 6일 정도 소요되는 것으로 나타난다. 이와 함께 김치는 발효의 진행과

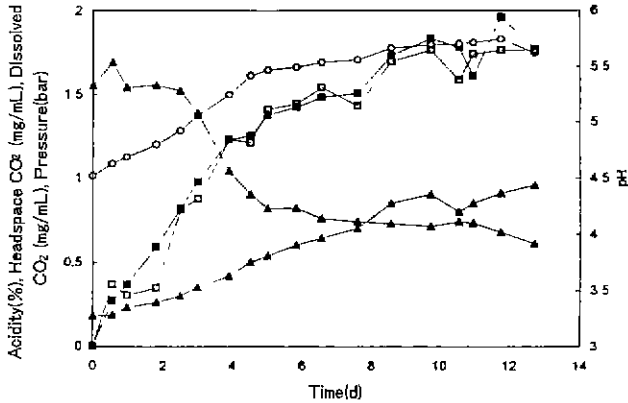


그림 1. 15°C에서 저장된 포장김치의 pH, 총산, 헤드스페이스의 CO₂ 농도, 액즙의 용존 CO₂ 농도, 압력의 변화.

염도: 3%, 용적: 430ml, 총진량: 250g, 자유용적: 193.5ml

-△-: pH, -▲-: 총산, -■-: 헤드스페이스 CO₂ 농도, -□-: 용존 CO₂ 농도, -○-: 압력

함께 헤드스페이스의 CO₂ 분압과 김치액즙 속에 녹아 있는 CO₂의 양은 비슷한 속도로 계속적으로 증가하다가 발효 적속기인 6일 후 부터 그 증가가 아주 완만해지고 있다. 헤드스페이스 내에서 이러한 CO₂ 분압의 증가로 인하여 김치포장의 압력도 증가하고 있으며 그 경향은 CO₂ 분압의 변화와 비슷하다. 그리고 김치포장의 헤드스페이스의 산소 및 질소 분압에는 큰 변화가 없었다(데이터는 생략). 따라서 김치포장의 저장 유통중 압력의 발생은 CO₂ 발생에 기인하며 이는 헤드스페이스의 CO₂ 농도나 분압의 증가와 함께 액즙속의 용존 CO₂를 증가시키며 이는 김치의 관능적인 품질에 중요하다.

한편, 김치 액즙 속에 녹아있는 용존 CO₂와 헤드스페이스의 CO₂ 분압 사이에는 다음 식 (1)의 Henry의 법칙이 성립되게 된다.

$$D_{CO_2} = \zeta_{CO_2} \times P_{CO_2} \quad (1)$$

여기서 D_{CO₂}는 김치 액즙 속에 녹아있는 용존 CO₂ 농도 (mg/ml), P_{CO₂}는 김치포장의 헤드스페이스 CO₂ 분압(bar), ζ_{CO₂}는 Henry 상수(mg/ml bar)이다.

식 (1)에서의 Henry의 상수는 Rammert 등(9)에 의하여 여러가지 성분을 함유한 액체식품에 대해서 제시된 다음의 식 (2)가 사용될 수 있다.

$$\begin{aligned} \zeta_{CO_2} = & 3.36764 + 0.07 \left(1 - \frac{D_{O_2}}{9} \right) \\ & - (0.014 - 0.00044 D_{O_2}) P_{CO_2} - 0.12723 \theta \\ & + 2.8256 \times 10^{-3} \theta^2 - 3.3597 \times 10^{-5} \theta^3 + 1.5933 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \times 10^{-7} \theta^4 - (0.47231 - 0.02988 \theta + 1.1605 \\ & \times 10^{-3} \theta^2 - 2.2510 \times 10^{-5} \theta^3 + 1.5933 \times 10^{-7} \theta^4) \\ & \times \left(\frac{C_S}{128} + \frac{C_a}{43} + \frac{C_{NaCl}}{27} + \frac{C_f}{50} \right) \quad (2) \end{aligned}$$

여기서 D_{O₂}는 용존산소 농도(mg/L), θ는 온도(°C), C_S는 당의 농도(g/L), C_a는 알코올 농도(%), C_{NaCl}는 염도 및 총산의 농도(g/L), C_f는 과즙 농도(%)이다.

식 (1)의 Henry의 법칙을 이용하여 헤드스페이스의 CO₂ 분압으로 부터 포장된 김치의 액즙에 녹아있는 용존 CO₂를 계산하였을 때 실제로 측정된 값과 잘 일치하고 있음을 그림 2를 통해서 알 수 있다. 따라서 발효과정중 김치에 녹아있는 용존 CO₂의 양은 헤드스페이스의 CO₂ 분압을 측정하여 식 (1)의 Henry의 법칙을 사용하여 예측하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

김치발효에서의 CO₂ 발생 특성을 알기 위하여 총산의 변화와 함께 김치발효중 CO₂ 발생을 보면, 김치발효과정에서 발생하는 CO₂ 생성량은 김치액즙속에 녹아있는 용존 CO₂량과 헤드스페이스의 CO₂량을 더하여 얻을 수 있다. 그리고 앞에서 살펴 본 바와 같이 김치 액즙속의 용존 CO₂ 농도는 헤드스페이스의 CO₂ 분압과는 Henry의 법칙 식 (1)이 성립되므로, 김치발효중 생성된 총 CO₂ 발생량은 이상기체상태방정식의 관계를 이용하여 정리하면 다음 (3) 식으로 계산하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} CO_2 \text{발생량} &= (C_{CO_2} \times V_F) + (D_{CO_2} \times V_L) \\ &= \left(\frac{P_{CO_2} \times V_F \times M_{CO_2} \times 100000}{RT} \right) \\ &+ (\zeta_{CO_2} \times P_{CO_2} \times \rho_L \times W) \quad (3) \end{aligned}$$

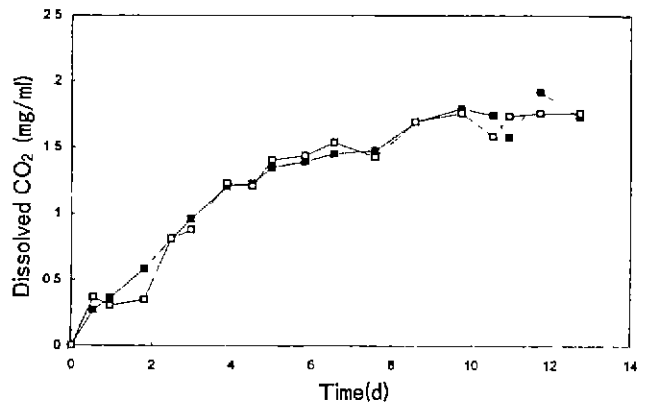


그림 2. Henry의 법칙에 의한 용존 CO₂ 농도의 예측.

실험조건은 그림 1과 동일.

-■-: 헤드스페이스 CO₂ 분압로부터 예측된 용존 CO₂ 농도, -□-: 측정 용존 CO₂ 농도

여기서 C_{CO_2} 는 김치포장내 헤드스페이스의 CO_2 농도, V_F 는 포장의 자유용적(ml), V_L 은 김치액즙의 부피(ml), M_{CO_2} 는 CO_2 의 분자량(0.044kg/mol), R 은 기체상수(8.314 J/K mol), T 는 절대온도(K), ρ_L 은 김치무게당 액즙의 부피(ml/g), W 는 김치의 무게(g)이다.

김치발효로 인하여 김치포장내에서 생성되는 CO_2 총 생성량을 식 (3)을 이용하여 구하여 보면 총산이 0.5~0.6% (lactic acid %) 부근에 도달할 때까지는 직선적으로 증가하다가 그 이후에는 완만한 증가를 보이고 있다(그림 3). 김치발효에 의한 CO_2 발생이 높은 발생속도의 1단계 및 저발생속도의 2단계로 나누어지는 이유는 김치발효에 관여하는 미생물의 동적변화에 의한 결과로 추측된다. 김치의 총산이 0.5~0.6%(lactic acid %)에 도달하기까지의 발효는 편성이상젖산발효(obligate heterofermentative) 유산균인 *Leuconostoc mesenteroides*에 의하여 일어나며, 그 이후의 숙성 및 산패는 통성정상젖산발효(facultative homofermentative)균인 *Lactobacillus plantarum*에 의하여 이루어진다(2-4). 따라서 1단계의 높은 CO_2 발생속도는 김치발효를 주도하고 김치발효 초기에 성장하는 *Leuconostoc mesenteroides*에 의한 것으로 생각되고 2단계의 완만한 CO_2 발생은 *Lactobacillus plantarum*에 의하여 주도되는

것으로 생각된다. 그리고 총산이 0.5~0.6%(lactic acid %) 부근에서 젖산균이 *Leuconostoc mesenteroides*에서 *Lactobacillus plantarum*으로 활성이 바뀌어가는 단계인 것으로 추측된다. 김치발효 중기에 *Streptococcus*와 *Pediococcus*가 나타나지만 이들은 모두 정상젖산발효(homofermentative)균으로서 CO_2 발생에 주는 영향은 없거나 미미할 것으로 생각된다(2-4).

따라서 김치 발효 중의 CO_2 발생속도를 두 단계(1단계, 2단계)로 분리하여 분석하는 것이 적절한 것으로 생각되며, 각 단계의 CO_2 발생은 시간에 대해서 직선적인 것으로 가정할 수 있었다. 김치발효에서 CO_2 발생속도를 온도와 염도의 함수로 측정한 결과는 표 1과 같다. 이 데이터의 분석에서 Arrhenius 방정식을 이용하여 1단계 및 2단계의 CO_2 발생속도의 온도의존성을 식 (4)와 (6)으로 표현하고, 염도에 대한 의존성은 다음의 식 (5) 및 (7)로 나타낼 수 있었다.

[LA] ≤ 0.5%인 1단계에서는

$$R_{CO_2,1} = K_1 \exp\left(\frac{-E_{A1}}{RT}\right) \quad (4)$$

$$\ln K_1 = -0.495S + 53.265 \quad (5)$$

[LA] ≥ 0.6%인 2단계에서는

$$R_{CO_2,2} = K_2 \exp\left(\frac{-E_{A2}}{RT}\right) \quad (6)$$

$$\ln K_2 = -0.325S + 41.935 \quad (7)$$

여기서 [LA]는 총산(lactic acid) 농도(% w/w), $R_{CO_2,1}$ 와 $R_{CO_2,2}$ 는 각각 1단계와 2단계에서 CO_2 발생속도(mg/kg d), E_{A1} 와 E_{A2} 는 각각 $R_{CO_2,1}$ 와 $R_{CO_2,2}$ 에 대한 활성화에너지(J/mol), K_1 과 K_2 는 preexponential factor(mg/kg d), S 는 김치의 염농도(% w/w)이다. 1단계 및 2단계의 CO_2 발생속도에 대해서 각각의 활성화에너지 E_{A1} 와 E_{A2} 는 110.1, 86.8kJ/mol로 얻어졌다.

임의의 염도를 가진 김치를 어떤 온도에 저장하였을 때의 CO_2 발생속도는 총산 함량이 0.5% 이하일 때는 식 (4)와 (5), 총산 함량이 0.6% 이상일 때는 식 (6)과 (7)을 사용하여 계산할 수 있다. 온도 및 염도에 따른 CO_2 발생의 이러한 함수관계는 Lee 등(10)이 김치의 총산 증가에 대해서 확립한 것과 비슷한 것이다. 이러한 CO_2 발생속도에 대한 온도와 염도의 함수로서 제안된 이 모델을 3~28°C 범위의 온도에서 그리고 2~4% 범위의 염도에 대한 data를 사용하여 확립되었다. 표 1에서는 확립된 CO_2 생산 model을 이용하여 온도 및 염도에 따른 CO_2 발생속도를 계산한 결과와 측정된 CO_2 생산속도를 비교하고 있는데 서로간에 비교적 잘 일치하고 있다.

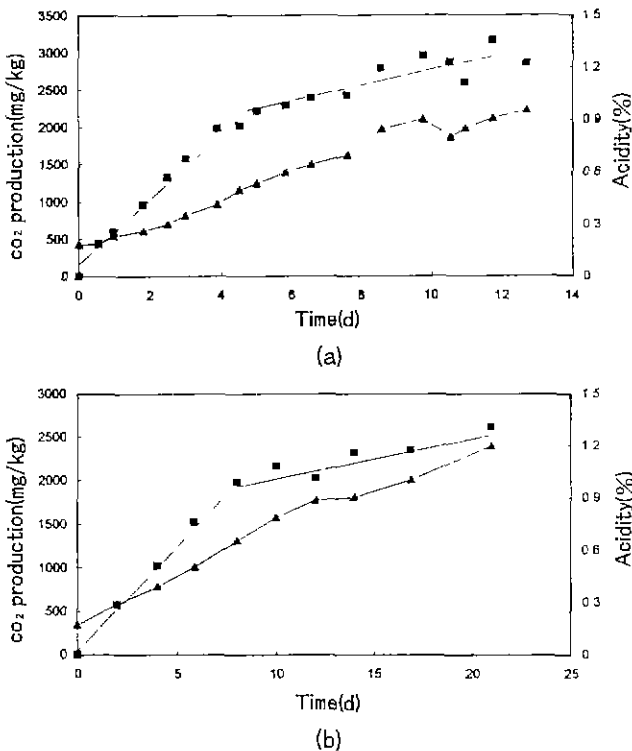


그림 3. 3% 염도인 김치의 발효중 CO_2 발생의 형태.
 (a) 그림 1의 실험조건, (b) 13°C, 용적: 500ml, 총전량 : 250g, 자유용적: 267ml.
 -▲- : 총산, -■- : CO_2 발생량

표 1. 온도 및 염도에 따른 CO₂ 발생속도

Salt content (%)	Temperature (°C)	CO ₂ production rate(mg/kg d)			
		1st stage		2nd stage	
		Experimental	Estimated*	Experimental	Estimated*
2	28	3421.8	3998.6	750.9	750.0
	15	617.4	549.8	142.4	157.0
	10	281.0	244.2	86.5	82.8
	3	70.5	74.6	-	-
3	28	2198.0	2437.4	566.2	541.9
	15	367.6	335.1	119.0	113.4
	10	159.5	148.8	60.8	59.8
	3	39.3	45.5	-	-
4	28	1302.3	1485.8	377.9	391.6
	15	270.1	204.3	83.7	81.9
	10	120.5	90.7	41.6	43.2
	3	18.3	27.7	-	-

*Estimation was from Equations (4) and (6)

유통과정중 김치포장의 압력 및 부피의 예측

위에서 제시된 일련의 방정식에 의하여 김치발효 중의 CO₂ 발생속도를 예측하는 것이 가능하다. 이러한 CO₂ 발생속도의 예측으로부터 저장이나 유통중의 김치포장에서 일어나는 압력의 변화나 부피의 팽창을 예측하는 것이 김치포장의 설계에 필요하다.

기본적으로 김치발효로부터 생산된 CO₂는 앞의 식 (3)의 관계에 의해 액즙에 녹거나 헤드스페이스에 기체로 존재하며, 헤드스페이스에 기체로 존재하는 CO₂가 강성용기의 경우에는 부피가 일정한 조건에서 압력을 발생시키고 유연포장의 경우에는 압력이 1기압으로 일정한 조건에서 (일반적인 유연한 필름포장의 경우 내압은 외기압과 평형 관계에 있게 되므로) 부피를 팽창시키게 되는 것으로 생각할 수 있다.

강성용기 포장의 경우 시간 t동안에 생성된 CO₂의 양에 대해서 식 (3)과 비슷한 다음 식 (8)의 관계가 성립된다.

$$\int R_{CO_2} W dt = \left(\frac{P_{CO_2} \times V_F \times M_{CO_2} \times 100000}{RT} \right) + (\zeta_{CO_2} \times P_{CO_2} \times \rho_L \times W) \quad (8)$$

여기서 R_{CO₂}는 김치에서의 CO₂의 발생속도(mg/d kg)이다.

CO₂의 발생량인 좌변의 $\int R_{CO_2} W dt$ 는 앞에서 제시된 CO₂ 발생 model로부터 얻어질 수 있고 이는 일정한 V_F의 조건에서 우변의 관계로 P_{CO₂}를 결정짓게 된다. ζ_{CO_2} 도 식 (2)에 의해서 포장내 CO₂ 분압인 P_{CO₂}의 함수이므로 식

(8)에서 P_{CO₂}를 결정하기 위한 풀이는 수치해석적으로 이루어질 수 있다. 먼저 초기 변수들로 김치의 무게, 포장내 헤드스페이스의 부피, 김치의 염도, 초기 압력, 초기 총산, 초기 온도 등을 자료를 입력하고 시간 간격 Δt 동안의 온도를 읽고 그 온도에 따른 Δt 동안의 총산의 증가를 예측하게 된다. 이를 위해서 CO₂ 발생속도 데이터를 얻은 실험 데이터에 대해서 Lee 등(10)의 총산 증가 model을 이용하여 분석하고 parameter들을 구하여서 이용하였고 그 결과는 아래의 식 (9)~(14)으로 표현될 수 있다.

[LA] ≤ 0.8% 일 때

$$\frac{d[LA]}{dt} = V_C \quad (9)$$

$$V_C = C_1 \exp\left(\frac{-124063}{RT}\right) \quad (10)$$

$$\ln C_1 = -0.3738 S + 50.392 \quad (11)$$

[LA] ≥ 0.8% 일 때

$$\frac{d[LA]}{dt} = -Q[LA] + P \quad (12)$$

$$Q = C_2 \exp\left(\frac{-85100}{RT}\right) \quad (13)$$

$$\ln C_2 = -0.098 S + 33.99 \quad (14)$$

Δt 동안의 총산의 증가가 계산되어 시간 t에서의 총산 함량이 0.5% 보다 작을 때는 식 (4)을 이용하여 단위시간당 CO₂ 발생속도, R_{CO₂}를 계산하고 0.6% 이상일 때는 식 (6)를 이용하여 CO₂ 발생속도, R_{CO₂}를 계산한다. 총산이 0.5~0.6% 사이에 있을 때에는 보간법을 사용하여 다음 식 (15)

에 의해서 CO₂ 발생속도를 계산하게 된다.

$$R_{CO_2} = \left(\frac{0.6 - [LA]}{0.1} \right) \times R_{CO_2,1} + \left(\frac{[LA] - 0.5}{0.1} \right) \times R_{CO_2,2} \quad (15)$$

이러한 방법에 의하여 시간 t까지의 R_{CO₂}를 적분하여 발생된 총 CO₂량($\int R_{CO_2} W dt$)을 얻으면 식 (8)의 수치계산적 방법에 의하여 CO₂의 분압 P_{CO₂}를 얻을 수 있고, 포장의 전체 압력은 O₂, CO₂ 그리고 N₂의 분압을 더하여 구할 수 있다. 포장내 O₂와 N₂의 양은 변화가 없는 것으로 가정할 수 있다. 다만 온도가 초기온도와 달라지면 Boyle-Charles의 법칙에 의해 압력이 달라지는 것을 고려하여야 한다.

유연포장의 경우는 식 (8)에 있어서 발생되는 CO₂로 인하여 V_F가 시간에 따라 변하게 되므로 반복적인 계산이 필요하다. 즉, Δt동안 V_F가 일정한 것으로 가정하고 증가된 P_{CO₂}를 얻은 다음 이 P_{CO₂}에 해당하는 1기압에서의 CO₂의 부피를 얻는다. 그리고 처음에 존재하던 O₂와 N₂의 양에 해당하는 1기압에서의 O₂와 N₂의 부피를 더하면 포장의 전체부피를 얻게된다. 식 (8)에서 시간 t까지 발생된 CO₂ 발생량($\int R_{CO_2} W dt$)을 얻어서 그 때의 헤드스페이스 부피, V_F에 해당하는 CO₂ 분압을 수치해석적으로 계산한다. 다음으로 식 (16)에 의해서 헤드스페이스에 존재하는 CO₂ 가스가 압력 1기압에 노출될 때 얻어지는 CO₂ 부피, V_{CO₂}를 얻은 다음, 같은 방법으로 얻은 1기압에서의 O₂ 및 N₂의 부피를 더하여 파우치 포장의 헤드스페이스, V_F를 새롭게 구한다.

$$V_{CO_2} = (P_{CO_2} / 1.01325) \times V_F \quad (16)$$

여기서 V_{CO₂}는 유연포장에서 1기압조건으로 환산된 CO₂의 부피(ml)이다. 이렇게 얻은 헤드스페이스의 V_F에서 다시 같은 방법으로 CO₂ 분압을 얻고 1기압에서의 안정된 V_F값을 다시 얻게 된다. 전체포장의 부피는 V_F에 곱한 김치의 부피를 더하여 구할 수 있다.

위에서 얻어진 CO₂ 발생 model에 의해서 유리용기에 포장된 김치의 총산과 압력을 예측한 결과 전체적으로 실험데이터와 잘 일치하고 있음을 보이고 있다(그림 4). 또한 제시된 김치포장의 부피변화 simulation model에 의해 PET/Al/ CPP의 100g단위 김치포장에 대해서 변하는 온도에서 부피변화를 예측한 결과 그림 5에서 나타난 바와 같이 실험 데이터와 잘 일치하고 있었다.

김치발효에 의한 CO₂ 발생을 modeling하고 이를 이용

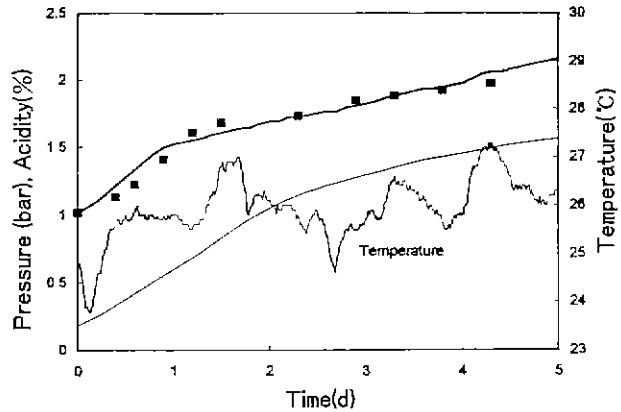


그림 4. 변화하는 온도조건에 보관된 김치포장 유리용기의 압력 예측.

염도: 3%, 용적: 850ml, 총전량: 500g, 자유용적: 361ml.
 ■: 압력 측정치, —: 압력 예측치, - - : 총산(예측치)

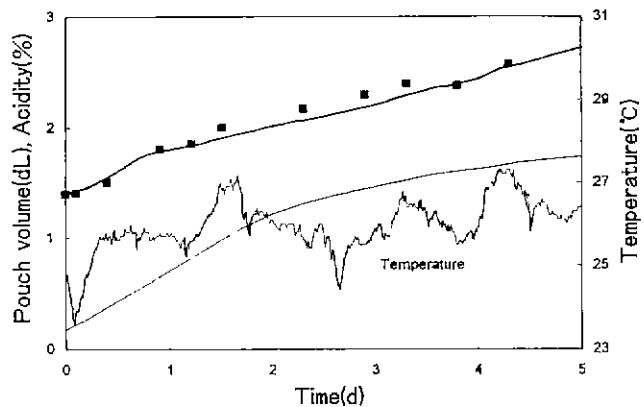


그림 5. 변화하는 온도조건에 보관된 김치포장 파우치의 부피 변화 예측.

염도: 3%, 파우치 크기: 17.5×10.0cm, 총전량: 100g, 초기자유용적: 29.3ml.
 ■: 부피 측정치, —: 부피 예측치, - - : 총산(예측치)

하여 강성용기포장에서의 압력과 유연포장에서의 부피를 예측하는 방법을 소개하였다. 제시된 model과 방법은 김치의 저장 유통중 포장의 압력 및 부피의 변화를 예측하는 것을 가능케하여 과도한 압력발생이나 부피팽창을 예방하는 포장의 개발에 앞으로 이용되어 포장김치의 상품성 제고에 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 제시된 model이 적용될 수 있는 온도와 염도는 각각 3~28°C 그리고 2~4%의 범위에 있으며 이는 현실적으로 이용되는 일반적인 김치의 염도와 저장온도의 범위를 포함한다. 본고에서 고려하지 않은 김치의 원료조건, 부원료의 조건 등에 따라서 김치로부터의 CO₂ 발생속도가 달라질 수 있고 이가 포장의 예측된 압력이나 부피변화를 다르게 할 수 있을 것으로

생각되지만 이러한 simulation model은 변화의 범위를 제시할 수 있다는데 그 의미가 있다고 하겠다.

핀홀을 이용한 김치의 활성포장

김치포장에서 압력발생이나 부피팽창이 문제가 되므로 이를 해결할 수 있는 방안의 하나로서 핀홀을 이용하는 방법에 관하여 필자들은 약간의 연구를 수행하였다. 김치포장에 작은 핀홀을 설치해 놓으면 포장내에서부터 포장외부로 완만한 가스 흐름이 존재하게 되고, 포장내외에 압력이 항상 평형을 유지하므로 압력발생이나 부피 팽창의 문제는 없어지게 된다. 그리고 본인들의 연구결과에 의하면 핀홀 포장은 김치발효로부터 생성된 CO₂가스에 의하여 포장내의 산소 및 질소를 축출하고 이로 인하여 유산균의 생육을 촉진하고 특히 김치의 주발효균이면서 이상젖산발

효균인 *Leuconostoc mesenteroides*의 생육을 도와주므로 김치 포장내에 다량의 CO₂를 발생시키므로 CO₂ 분압을 증가시켜서 김치 액즙에 다량의 CO₂를 용해시킬 수 있는 것으로 나타난다(표 2). 포장내에 다량의 CO₂를 축적시킨 핀홀 포장에서의 김치는 밀폐포장에서의 김치에 비해 탄산미가 강한 시원한 김치를 제공해 주는 것으로 관능검사에 의하여 확인할 수 있었다(8). 핀홀포장은 *Leuconostoc mesenteroides*을 포함한 유산균의 생육을 단기간에 집중시켜서 김치의 발효속도를 빠르게 하여 김치의 발효 숙성기간을 단축시키고, 김치의 저장기간을 단축시킬 수 있는 가능성도 있지만 적절한 저장 및 유통관리관리에 의해 탄산미가 높으면서 좋은 풍미의 김치를 소비자에게 공급할 수 있는 가능성을 보이고 있다.

핀홀에 의해서 포장이 갖는 포장외부와의 차단성이 상실되고 저장공간에 김치냄새가 누설되는 문제가 발생할

표 2. 15°C에서 보관된 핀홀김치포장과 밀폐김치포장의 비교

Package**	Attribute	Time(d)					
		0	1.9	3.9	7.0	10.9	13.2
Closed package	Package atmosphere(atm)						
	O ₂	0.21	0.19	0.20	0.18	0.16	0.15
	CO ₂	0.00	0.10	0.10	0.22	0.42	0.47
	N ₂	0.79	0.75	0.74	0.76	0.77	0.76
	pH	6.03	5.81	5.40	5.30	4.59	4.00
	Acidity	0.21	0.24	0.30	0.32	0.48	0.69
	Microflora(CFU/ml)						
	Total viable cells	9.4×10 ⁵	—	1.5×10 ⁵	8.7×10 ⁷	4.5×10 ⁸	4.1×10 ⁸
	<i>Streptococcus</i> sp.	7.3×10 ²	—	2.0×10 ²	3.9×10 ⁵	6.2×10 ⁷	3.2×10 ⁷
	<i>Pediococcus</i> sp.	4.9×10 ²	—	2.4×10 ⁴	6.3×10 ⁵	1.4×10 ⁸	8.2×10 ⁷
	<i>Lactobacillus</i> sp.	3.8×10 ⁴	—	4.0×10 ⁴	4.8×10 ⁷	2.2×10 ⁸	2.7×10 ⁸
	<i>Leuconostoc</i> sp.	1.8×10 ⁴	—	4.0×10 ⁴	3.6×10 ⁷	9.1×10 ⁷	6.0×10 ⁸
	Yeast	1.0×10 ²	—	1.0×10 ⁰	3.5×10 ⁰	<1	<1
Pinhole package***	Package atmosphere(atm)						
	O ₂	0.21	0.16	0.14	0.10	0.06	0.06
	CO ₂	0.00	0.11	0.20	0.28	0.47	0.58
	N ₂	0.79	0.67	0.62	0.56	0.40	0.31
	pH	6.03	5.63	5.45	5.23	4.35	3.93
	Acidity	0.21	0.25	0.26	0.32	0.60	0.84
	Microflora(CFU/ml)						
	Total viable cells	9.4×10 ⁵	—	7.5×10 ⁵	1.2×10 ⁸	1.1×10 ⁹	6.4×10 ⁸
	<i>Streptococcus</i> sp.	7.3×10 ²	—	2.0×10 ³	8.0×10 ⁵	9.0×10 ⁷	3.6×10 ⁷
	<i>Pediococcus</i> sp.	4.9×10 ²	—	2.4×10 ⁴	3.8×10 ⁶	1.2×10 ⁷	2.8×10 ⁷
	<i>Lactobacillus</i> sp.	3.8×10 ⁴	—	7.0×10 ⁴	1.6×10 ⁸	2.4×10 ⁸	2.0×10 ⁸
	<i>Leuconostoc</i> sp.	1.8×10 ⁴	—	6.9×10 ⁵	1.0×10 ⁸	3.1×10 ⁸	2.0×10 ⁷
	Yeast	1.0×10 ²	—	4.0×10 ⁰	2.0×10 ⁰	<1	<1

*Salt content : 3.9%

**Jar volume : 1000ml ; fill weight : 620g

***Pinhole package has a metal capillary of 0.3mm diameter and 21mm length as a pinhole

수 있는데 이러한 문제는 해결이 필요한 하나의 과제이며 적절한 여러 포장디자인에 의해서 극복될 수 있을 것으로 생각한다(8).

결 론

헤드스페이스의 CO₂ 농도와 김치액즙의 CO₂ 농도 사이의 관계는 Henry의 법칙의 관계가 성립되었고, 이러한 관계는 발효중 발생하는 CO₂ 양의 측정을 쉽게 하였고 이를 이용함에 의하여 포장내 CO₂ 분압의 예측을 가능케 하였다. 김치발효중 CO₂ 발생속도는 시간에 대해 직선적인 2단계로 나누어 분석할 수 있었고, 각 단계의 CO₂ 발생은 $R_{CO_2,t} = K_i \exp(-E_a/RT)$ 의 관계로 나타낼 수 있었다. 그리고 여기서 K_i는 염도의 함수로 표현될 수 있었다. 포장의 압력이나 부피는 헤드스페이스의 N₂, O₂, CO₂의 기여부분을 더함에 의해서 예측할 수 있었고, 예측치는 일정 온도 및 변하는 온도조건에서의 압력과 부피의 변화의 실험치와 잘 일치하는 것으로 나타났다. 김치포장용기에 미세한 핀홀을 장치함에 의하여 압력발생을 줄임과 아울러 포장내에 높은 CO₂ 분압을 유지시킬 수 있어서 시원하고 톡쏘는 맛이 강한 김치로 숙성시킬 수 있는 것으로 나타났다.

문 헌

1. Beuchat, L. R. : Application of biotechnology to indigenous fermented foods. *Food Technol.*, **49**, 97(1995)
2. 민태익, 권태완 : 김치발효에 미치는 온도 및 식염농도의 영향. *한국식품과학회지*, **16**, 443(1984)
3. 이철우, 고창영, 하덕모 : 김치발효 중의 젖산균의 경시적 변화 및 분리 젖산균의 동정. *산업미생물학회지*, **20**, 102(1992)
4. 신동화, 김문숙, 한지숙, 임대관, 박완수 . 시판 김치의 발효 온도별 성분과 미생물변화. *한국식품과학회지*, **28**, 137(1996)
5. 친종희, 이혜수 : 김치의 휘발성 유기산과 이산화탄소에 관한 연구. *한국식품과학회지*, **8**, 90(1976)
6. Ooraikul, B. and Stiles, M. E. : *Modified Atmosphere Packaging of Food*. Ellis Horwood, New York(1991)
7. Lee, D. S. and Kwon, H. R. : Estimation of pressure and volume changes for packages of kimchi, a Korean fermented vegetable. *Packaging Technol. Sci.*, **9**, in press (1996)
8. Lee, D. S. and Paik, H. D. : Use of pinhole to develop an active packaging system for kimchi, a Korean fermented vegetable product. *Packaging Technol. Sci.*, submitted for publication(1996)
9. Rammert, M. and Paderborn, M. H. P. : Die Löslichkeit von Kohlendioxid in Getränken. *Brauwelt*, **131**, 488(1991)
10. Lee, K. S. and Lee, D. S. : A Kinetic model for lactic acid production in kimchi, a Korean fermented vegetable dish. *J. Ferment. Bioengin.*, **75**, 392(1993)