

국내외기술정보

CA/MA를 이용한 식품포장

홍석인

산업화연구부

CA나 MA란 저장고, 유통 컨테이너, 소형 식품 포장 등의 내부에서 기체를 제거하거나 주입하므로서 적절한 수준의 O_2 , CO_2 , N_2 및 C_2H_4 가 유지되도록 하여, 실제 외부 공기와는 전혀 조성이 다르게 만드는 것을 말한다. 특히 MA는 환경기체의 조성이 정확하게 조절되지 않는 경우, 즉 플라스틱 필름 포장같은 경우에 사용되는 것이고, CA는 일반적으로 기체 조성을 지속적으로 주시하면서 정확하게 조절하는 경우를 말한다.

MA 혹은 CA packaging저장은 생리적 대사과정(physiological process), 예를들어 호흡, 숙성, 변질 등을 지연시키고, 취급하는 동안의 상해 및 미생물에 의한 오염을 최소화하므로서 식품을 최적의 품질로 유지하여 유통기간을 연장시키고자하는 것이다. 이는 냉장과 더불어 식품의 유통기간을 연장시키므로서 농부나 생산자에게는 판매가능기간의 증대라는 직접적인 혜택을 주는 동시에 소비자에게는 최상의 제품을 시간에 구애받음 없이 이용할 수 있도록 하는 역할을 한다.

이러한 CA나 MA 기술을 비교적 최신 공정기술로 생각하고 있으나 사실은 유서깊은 기술로서, 고대 중국에서는 북부에서 남부 지방으로 과일을

운송할때 흙으로 빙은 항아리내에 과일만을 넣는 것이 아니라 이와 함께 나뭇잎과 풀잎을 넣어 운반하였는데, 이들 과일과 나뭇잎, 풀잎의 호흡으로 산소는 적고 이산화탄소는 많은 상태가 되어 과일의 숙성을 지연시켰다. 그외에도 사과를 나무통에 담아 땅에 묻었던 것도 원시적인 MA기법으로 볼 수 있고, 전혀 환기되지 않도록 만든 선적의 창고 또한 마찬가지로 볼 수 있다.

1. CA/MA 조성방법

1.1 수동적 방법(Passive modification)

모든 과채류는 생체이므로 수확후에도 계속해서 호흡을 유지하고 호흡하는 동안에는 산소를 소비하여 이산화탄소를 생성한다. 호흡외에도 미생물의 발육으로 인한 산소 소비, 또는 식품의 산화작용에 의한 산소 소비 등 주변 환경기체의 산소를 소비하는데, 이때 식품이 밀폐된 상태(포장용기, 저장고, 수송용 컨테이너 등)로 유지된다면 주변환경의 기체 조성이 변하게 된다. 식품의 포장용기는 유연성

을 갖는 비차단성 플라스틱류일 수도 있고, 금속 캔, 유리병, 기체 차단이 가능한 저장고나 차단성 플라스틱류가 될 수도 있다(그림 1). 어떠한 경우라도 환경기체에는 변화가 생기지만 기체의 최종 조성비는 각기 다르며, 기체의 변화속도 및 조성은 전적으로 식품과 포장재질에 따라 다르다.

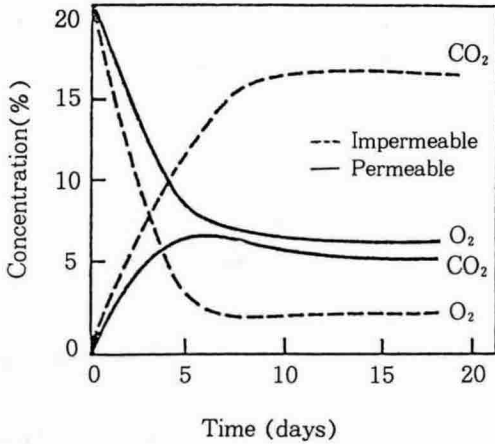


그림 1. Passive atmosphere modification by tomatoes when packaged with permeable and impermeable materials.

1.2 능동적 방법 (Active modification)

수동적 방법으로는 원하는 기체 조성에 다다르는데 상당한 시간이 걸리며, O₂, CO₂ 및 C₂H₄가 적정 수준으로 조절되지 않는 경우를 방지하기 위하여 보다 적극적인 방법을 이용하게 되었다. 가장 흔히 이용되고 있는 것으로는 기체 충전법(gas flushing)이 있는데, 이는 먼저 포장내부에 진공상태를 만들고 이에 다시 혼합기체를 주입하는 방식으로 초기부터 조절된 기체를 사용하기 때문에 포장을 개봉하기 전까지는 거의 변함없이 유지된다(그림 2, 3). 포장재로서 유연성 필름을 사용할 경우 다음의 4단계로 진행된다.

- ① Snorkel 혹은 probes가 포장백(bag)내부로 내려와 진공을 조성

- ② 포장내부의 공기를 완전히 제거하므로써 포장의 외형이 수축

- ③ 적정 혼합기체를 진공상태의 포장내부에 충전

- ④ Snorkel을 회수하는 동시에 가열 밀봉

저장고에 대해 기체 충전법을 적용할 경우, 실제로 진공상태를 이루기는 매우 어려우므로 공기를 뽑아내는 동시에 혼합기체를 주입하는 1단계 과정으로 진행하는데, 원하는 기체 조성에 도달하기까지는 상당히 오랜 시간이 소요되지만 일단 도달된 이후에는 쉽게 조절이 가능하다.

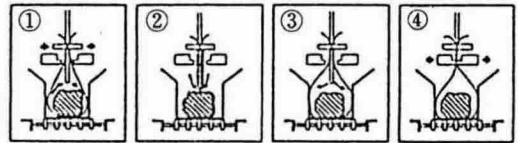


그림 2. Active atmosphere modification with a flexible package.(courtesy of RMF, Grandview, MO)

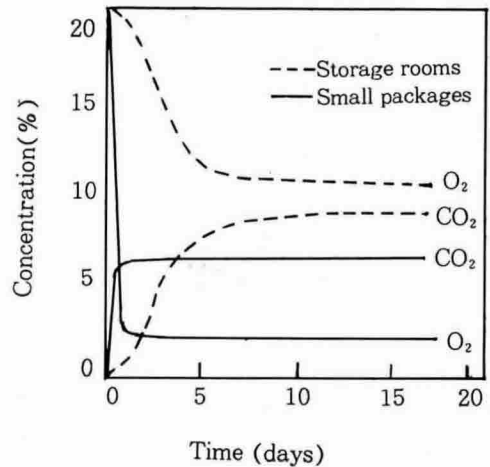


그림 3. Active atmosphere modification by gas flushing. The atmosphere is rapidly changed to the desired composition in small packages; the change is slower when large storage rooms are used.

다른 방법으로는 한두가지 기체를 선택적으로 제거, 첨가, 조절하는 것으로 완전히 밀폐된 실내에서 공기를 순환시키면서 이산화탄소의 농도를 조절한다. 즉, monoethanol amine과 같은 반응물질을 넣은 저장고가 밀실에 연결되어 있어 이산화탄소를 생성하기도 하고 흡수하기도 하여 적정 수준으로 조절한다(그림 4).

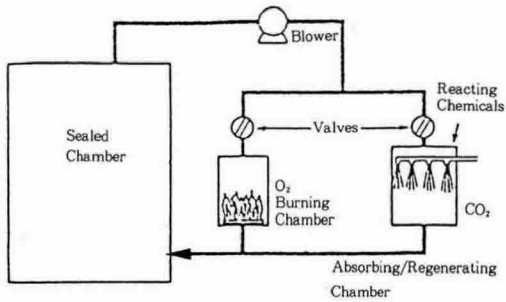


그림 4. An active atmosphere modification system for stationary warehouses. The atmosphere is modified and maintained by removing or adding a specific gas.

세번째 방법은 역시 진공을 이용하는 것으로서 포장용기의 여백공간을 감압시켜 포장내부의 산소 농도를 낮추는 방법으로 연포장내부의 여백을 제거하여 무산소 상태로 만들 수 있고, 밀폐저장고내의 유통용 컨테이너에는 약한 진공을 걸어 이용할 수도 있다. 이러한 체제를 저압 저장 시스템(hypobaric storage system)이라 한다(그림 5).

최근에는 포장내부에서 측정기체(O₂, CO₂, C₂H₄)를 조절하기 위하여 기체 흡착제(scavenger)나 기체 배출제(emitter)을 사용하기도 하는데(표 1), 이들은 유기물 혹은 무기물로서 효소반응이나 화학 반응을 이용하여 특정 기체분자를 묶어두거나 풀어주는 역할을 한다. Iron oxide/Calcium hydroxide 혼합물을 담은 작은 주머니를 캔내부의 여백공간에 투입하므로써 진공을 걸거나 기체충진을 하지 않아도 기체 조절효과를 볼 수 있다. 그외에도 흡착물질을 포장내부 코오팅에 이용하거나, 용기 제조용 수지에 혼합하기도 한다(그림 6).

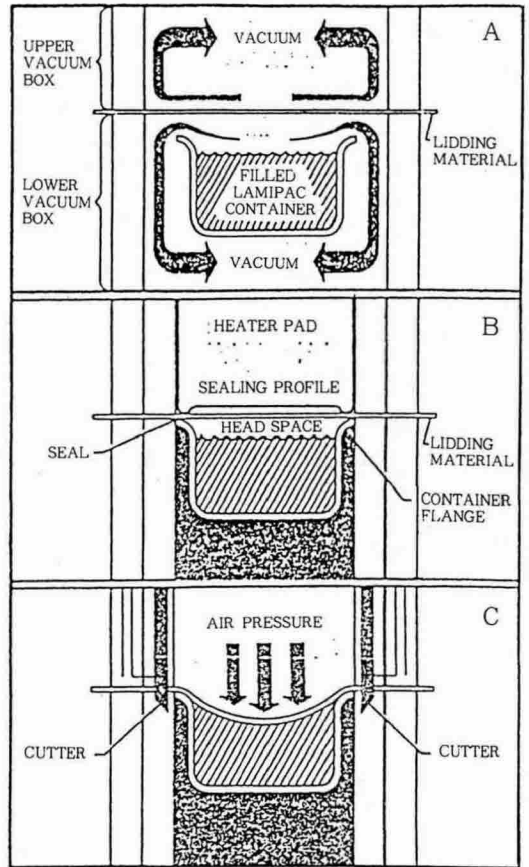


그림 5. Vacuum used to eliminate the headspace and provide an oxygen-free environment.(Courtesy of Genesis Packaging Systems, Pittsburgh, PA)

2. MA/CA 포장의 구성요소

MA/CA 포장시스템에서 필수적으로 고려해야 할 것은 적합한 기계장치, 차단성 필름, 적정 혼합기체, 저장 온도 및 식품의 품질 등이 있다.

2.1 기계장치

포장내부에 기체를 주입하는 방법에는 충전법

표 1. Oxygen, carbon dioxide, and ethylene scavengers/emitters and some possible applications*.

Gas	Scavenger/Emitter	Application
Oxygen	Powdered Iron Oxide	Cured Meats
	Ferrous Carbonate	Cookies
	Iron/Sulfur	Pizza Crusts
	Metal(Platinum) Catalyst	Rice Cakes
	Glucose Oxidase	Bread
	Alcohol Oxidase	
Carbon Dioxide	Powdered Iron Oxide/	Coffee
	Calcium Hydroxide	Fresh Meats
	Ferrous Carbonate/ Metal Halde	Fresh Fish
Ethylene	Potassium Permanganate	Produce (Kiwis, Tomatoes)

* Sacharow, Stanley, "Prepared Foods", p. 121(May 1988).
Courtesy Gorman Pub. Co.

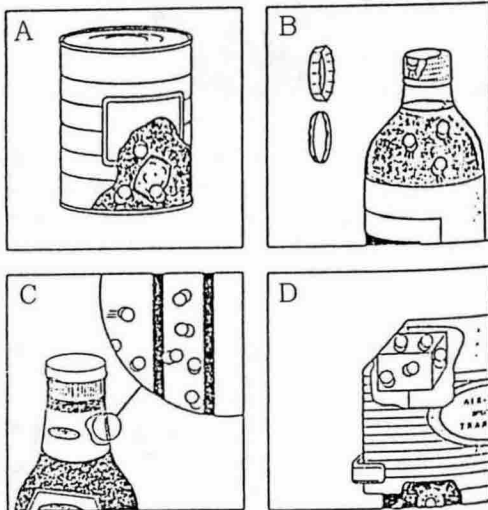


그림 6. Active atmosphere modification by oxygen/carbon dioxide/ethylene scavenging/emitting substances. (Courtesy of Aquanautid Corp., Emeryville, CA)

(gas flushing)과 진공 충전법(compensated vacuum)이 있다. 기체 충전법은 포장내부에 적정 농도가 될때까지 기체를 계속 흘려보내는 방법으로 고속진행이 가능하고, 진공 충전법은 포장내부에 우선 진공을 걸고 그 다음 기체를 주입하는 방법으로 기체의 사용이 매우 효율적이다. 이같은 방법에 의해 기체를 주입하기 위하여 사용하는 기계장치는 3종류가 있다.

- ① Typical form, fill and seal machine : 기체 충전법을 이용하는 기계로서 one roll 필름을 사용한다(그림 7). 먼저 식품을 필름위에 놓거나 필름으로 상부 혹은 측면을 덮어 식품을 감싸는 필름관을 형성하고, 이러한 관내부로 기체 주입구를 통하여 기체를 주입한 후 가열 밀봉하여 절단한다. 비교적 작동이 간단하고 다양하며 고속생산이 가능한 장점이 있다.

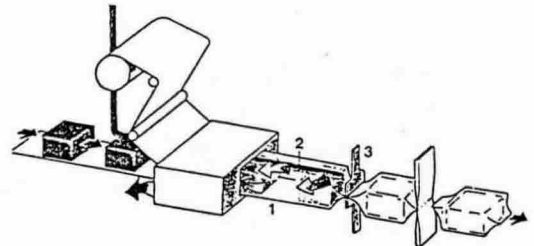


그림 7. Continuous forming gas packaging equipment.

- ② Thermoform machine : 진공 충전법으로 기체를 주입하는 장치로서 가열 성형에 의해 용기를 만들고 그 내부에 식품을 넣은 다음 진공실로 보내어 포장용기내에 진공을 건 상태에서 기체주입 후 덮개 필름을 열봉합하여 완성시킨다(그림 8, 9). 포장내부의 공기를 거의 완전하게 뽑아낸 후(잔여 산소농도 1% 이하)기체주입을 하므로 매우 효율이 높고 산소에 민감한 식품을 다룰때 주로 사용된다.

- ③ Snorkel or bulk package equipment : 내포장을 한 제품이나 안한 제품이나 모두 대형 기체차단성 bag 내부에 투입하고 bag을 닫은 상태에서 probe 혹은 snorkel을 주입하여 이를 통해 공기를 빼냄으로서 진공을 만들고, 혼합기체를 충전한 다음 probe를 제거하고 밀봉한다(그림 2). 제품의 개별포장은 그대로 유지하면서 기체충진을 하므로 유통중에도 제품은 대형포장내의 기체충진상태를 계속 유지하여 유통기한의 연장이 가능해진다.

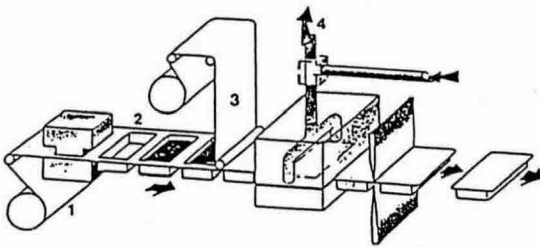


그림 8. Thermoforming gas packaging equipment.

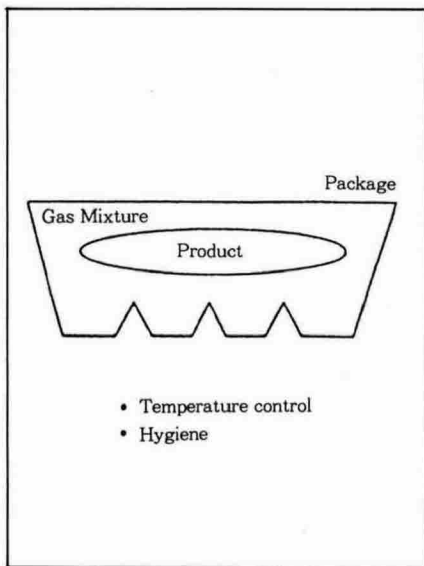


그림 9. Example of a thermoformed gas packaged meat product.

2.2 포장필름

MA/CA포장의 성패 여부를 결정짓는 가장 중요한 요소는 바로 적절한 포장재의 선택으로서 단일성분의 소재도 사용하지만, 전반적으로 다성분 소재(multicomponent)의 사용이 늘고 있다. 이들 다성분 소재 필름은 포장재 선택시에 고려해야 할 여러가지 성질, 예를들어 가열 성형성 누출(leakage) 안정성, 방운성(antifog properties), 수분 투과율, 기체 차단성, 광 차단성, 열접합 안정성 등을 모두 갖추고 있는 것이 일반적이다. 현재 많이 사용되고 있는 고분자 소재는 polyethylene(PE), polypropylene(PP), polystyrene(PS), polyvinylidene chloride(PVDC), ethylene vinyl acetate(EVA), ethylene vinyl alcohol(EVOH), metalized polyester 등이다(표 2).

2.3 적정 혼합기체

기본적으로 N₂, O₂, CO₂기체(표 3)를 적절히 혼합하여 사용한다.

- ① N₂: 불활성 기체(inert gas)로서 산소대신 사용하여 산화방지 역할을 한다. 또한 수분과 지방에 대한 용해도(solubility)가 낮아 제품의 기체흡수로 인한 포장의 외형 붕괴를 막을 수 있으며, 무산소 환경의 조성으로 세균발육억제 효과를 볼 수 있다.
- ② CO₂: 대부분의 사람들이 불활성 기체로서 오해하고 있으나, 실제로는 매우 반응성이 큰 기체이다. 세균의 발육을 억제할 수 있을 뿐만아니라 곰팡이류의 발육을 억제하고 심지어는 곤충을 죽일 수도 있으므로 항균 및 항진균 효과를 위해서는 최소한의 농도로 사용해야 한다. 지방과 수분에 대한 용해도가 매우 높아 포장의 외형 붕괴를 야기하지만 용액상태에서 탄산(carbonic acid)을 형성하므로 식품의 pH와 관능적 성질에 커다란 영

향을 미친다.

- ③ O₂: 식품에는 이용을 금하는 것이 일반적이지만 몇몇 경우에는 사용해야 할 필요가 있다. 즉, 육류의 붉은 색과 같이 식품의 색상을

유지시키거나 과채류의 비호기적 호흡에 의한 품질손실을 방지할 목적으로 사용하며, 특히 혐기성 균주가 잠정적이거나 존재할 가능성이 있는 경우에는 반드시 사용해야 한다.

표 2. Available polymers for plastic film formulation

Film type	Permeabilities ^a			MVTR ^b
	O ₂	CO ₂	CO ₂ /O ₂	
Polyethylene, low density ^c	3900-13,000	7,700-77,000	2.0-5.9	
Polypropylene ^c	1,300-6,400	7,700-21,000	3.3-5.9	
Polystyrene ^c	2,600-7,700	10,000-26,000	3.4-3.8	
Cellulose acetate ^d	1,814-2,325	13,330-15,500	6.7-7.3	1,163-1,395
Polyvinyl chloride ^d	620-2,248	4,263-8,138	3.6-6.9	140-171
Polyvinylidene chloride ^d	15.5	59	3.8	3.1
Rubber Hydrochloride ^d	589-50,375	4,461-209,250	4.2-7.6	7.8-10.9
Nylon-6 ^d	15.5	31	2.0	126
Polyester ^d	52-130	180-390	3.0-3.5	
Polycarbonate ^d	13,950-14,725	23,250-26,350	1.7-1.8	10.9-17.1
Ethylcellulose ^d	31,000	77,500	2.5	310
Methylcellulose ^d	1,240	6,200	5.0	3.100
Polyvinyl alcohol ^d	near 0	near 0	-	1,240
Polyvinyl fluoride ^d	50	171	3.4	-
Polychlorotrifluoroethylene ^d	11.8	124	10.5	0.3
Cellulose triacetate ^d	2,325	13,640	5.9	74-93
Vinyl chlorideacetate ^d	233	853	3.7	62

^a Gas transmission rates have been converted so that all are expressed as ml/mil/m²/day @ 1 atm. CO₂/O₂ permeability ratios have been calculated by the authors.

^b MVTR=moisture vapor transmission rate expressed as ml/day/m²/mil.

^c Data from Hall, C. W. et al., consumer packaging with plastics, AVI pub. co.

^d Data from Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 9, Wiley Interscience.

표 3. Summary of Gas Properties Used in MAP

Oxygen	Maintains "bloom"(color)of fresh meat Sustains basic metabolism Prevents anaerobic spoilage
Nitrogen	Chemically inert Prevents oxidation Prevents rancidity
Carbon dioxide	Inhibits bacterial and mold growth Fat and water soluble Prevents insect attack High concentrations can discolor products(meat) or injure produce (fruits, vegetables)

$$\left| \begin{array}{l} \text{Mass transfer from} \\ \text{the system to sur-} \\ \text{roundings} \end{array} \right| \pm \left| \begin{array}{l} \text{Mass genera-} \\ \text{tion or absorp-} \\ \text{tion} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{Overall mass} \\ \text{accumulation} \end{array} \right|$$

↓ ↓

$$\left| \begin{array}{l} \text{Rate of} \\ \text{moles} \\ \text{of A in} \end{array} \right| - \left| \begin{array}{l} \text{Rate of} \\ \text{moles of} \\ \text{A out} \end{array} \right| \pm \left| \begin{array}{l} \text{Rate of moles} \\ \text{of A generat-} \\ \text{ed or absorbed} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{Rate of moles} \\ \text{of A} \\ \text{accumulated} \end{array} \right|$$

각 항에 대해서 수식으로 표현하면

$$\left| \begin{array}{l} \text{Mass transfer from} \\ \text{the system to sur-} \\ \text{roundings} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{Rate of} \\ \text{moles} \\ \text{of A in} \end{array} \right| - \left| \begin{array}{l} \text{Rate of} \\ \text{moles of} \\ \text{A out} \end{array} \right| = - \int \int F_A ds$$

$$F_A = \text{molar flux} = (\text{moles of A}) / (\text{unit area})(\text{time})$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Rate of moles of} \\ \text{A generated or} \\ \text{absorbed} \end{array} \right| = \pm \int \int \int G_A dr$$

$$G_A = \frac{(\text{the amount of A generated or absorbed})}{(\text{unit area})(\text{time})}$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{Rate of moles} \\ \text{of A} \\ \text{accumulated} \end{array} \right| = \int \int \int \left(\frac{\partial C_A}{\partial t} \right) dr$$

$C_A = \text{molar concentration} = (\text{moles of A}) / (\text{unit volume})$ 이고, 이를 정리하여 나타내면 아래와 같다.

$$- \int \int F_A ds \pm \int \int \int G_A dr = \int \int \int \left(\frac{\partial C_A}{\partial t} \right) dr$$

기하학적 일치를 위해 Gauss정리를 적용하면

$$- \int \int \int (\nabla F_A) ds \pm \int \int \int G_A dr = \int \int \int \left(\frac{\partial C_A}{\partial t} \right) dr$$

라고 나타낼 수 있으며 위의 F_A, G_A, C_A 와 이들의 도함수(derivatives)가 연속적(continuous)이라면

$$-(\nabla F_A) ds \pm G_A = \frac{\partial C_A}{\partial t} \text{ 이다.}$$

3. 동력학적 고찰

MA나 CA시스템의 기체교환 과정을 수학적 모델로 설명하고자 수많은 연구가 행하여져 왔다. MA나 CA시스템에서 가장 중요한 2가지 현상은 시스템 내·외부의 기체확산(mass transfer)과 생화학적 반응(호흡, 미생물생육), 화학적 반응(산화반응, 효소반응), 및 기타 반응(흡착제, 발포제의 작용)에 의한 기체 생성 및 흡착이며, 그밖의 다른 현상으로 물질전달에 상당히 영향력이 있는 누출(leakage)을 들 수 있지만 일반적으로 이것은 따로 분리하여 생각한다.

유한체적의 포장내부에 균질한 식품이 들어 있다고 가정하면, 포장의 표면을 포함한 시스템 전체에서 어느 지점의 molar농도, molar flux, 부피, 확산계수 등을 정의할 수 있으며, 포장상태가 고정적(stationary)이고 누출이 없으며 대류 효과(convective effect)를 무시할만 하다면 분자확산(molecular diffusion)을 유일한 물질전달로 생각할 수 있다. 질량비를 기준으로 포장 시스템에 대한 일반식을 세우면 다음과 같다.

위의 식은 정상상태(steady state) 혹은 비정상상태(unsteady state) 모두에 적용할 수 있으나, 특정 좌표계에서만 성립되는 것이 아니다.

포장재를 통한 기체확산이 Fick's law에 따르면

$$F_A = -D_A \nabla C_A \text{ 이고,}$$

이를 앞서 식에 적용하면

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \nabla^2 C_A \pm G_A \text{ 로서,}$$

포장내부에서 기체의 생성이나 흡착이 없다고 보면 위의 식은

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \left(\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} \right)$$

이다. 이때 D_A 는 Arrhenius방식으로 온도의 영향을 받는다.

$$D_A = D_A * \text{EXP}(-E_a/RT)$$

포장재가 고차단성 필름, 금속 캔, 유리 용기, 밀폐 저장고와 같이 기체 투과성이 없으면 확산에 의한 기체교환이 불가능해지며, 식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = \pm G_A$$

생체류를 포장했을 경우 G_A 는 품목, 품종, 재배지, 생리적 상태, 호흡율 등에 따라 다르며, 더우기 호흡율은 숙성도, 온도, 산소, 이산화탄소, 에틸렌 농도 등 여러 인자들에 의해 영향을 받으므로 일반적으로 모델을 세울 때는 호흡이 0차 반응이나 1차 반응에 따른다고 가정한다. 과채류외의 다른 포장 식품은 산화반응, 효소반응 및 그밖의 화학적 반응을 받으므로 반응차수를 실험에 의해 결정할 수 있고 이로부터 G_A 를 추정할 수 있다. 대부분 식품의 반응은 0차 혹은 1차이고, 흡착제(scavenger)나 발포제(emmitter)를 사용한 경우에도 마찬가지이다.

포장재의 제조과정 중에 혹은 봉합과정 중의 실수로 인해 포장재료에 미세한 구멍이나 흠집이 생기면 상당한 기체누출이 일어나는데, 이러한 경우 기체확산이나 G_A 에 의한 영향은 무시할만하다. 진공 혹은 가압기체로 충전된 포장에서 누출이 일어났을때 포장 내·외부로 흡입 또는 유출되는 기체량은

$$V = \frac{r^4 \pi}{8\eta l} \frac{P_1^2 - P_2^2}{2P_1} t$$

(r =radius of pore [m], l =length of pore [m], π =total volume, t =time [s], P =pressure [Pa], η =dynamic viscosity of gas [Pa · s])

으로 추정할 수 있으며, 진공이나 가압하지 않고 단순히 기체충진했을 경우에는

$$V = D_A r^2 \pi \frac{\Delta P}{l} t \text{ 이다.}$$

가압 혹은 진공의 MA포장에 누출이 발생하면 몇 초내에 MA조성이 무산되고 단순한 기체충진의 경우에도 몇일내로 외부 공기와 같은 농도로 변환된다.

4. 기술개발 현황

주로 과채류가 어떻게 CA나 MA 저장상태에서 견디어낼 수 있는가를 알아내기 위한 연구가 많이 이루어졌다. 현재까지 발표된 여러 과채류에 대한 적정 기체조성은 연구자에 따라 매우 다르므로 대략적인 기체조성(표 4, 5)만을 제시할 수 있을 뿐 정확한 조성비는 각각의 품목과 품종, 재배지, 수확시기 등 많은 인자에 의해 영향을 받는다.

신선 과채류는 MA나 CA기체조성에 따라 크게 4가지로 구분할 수 있는데,

- ① 근채류(Root crops) : 유통기간의 연장을 위하여 저장중에는 무산소 및 무탄산가스상태가 요구된다.

표 4. Recommended CA/MA conditions for fresh produce and processed food products.*

Food Product/Group	Commodity	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
Fresh Produce	Potatoes	0	0
	1 Carrots	0	0
	Beets	0	0
2	Tomatoes	0	3-5
	Peppers	0	3-5
	Cucumbers	0	3-5
	Lettuce	0	2-5
	Celery	0	2-4
	Onions(Dry)	0	1-2
3	Pears	0-5	1-3
	Lemons	0-5	5
	Apples	1-5	2-3
	Cauliflower	2-5	2-5
	Artichokes	3-5	2-3
	Peaches	5	1-2
4	Others	5-15	1-5
Fresh Meats	Beef	20-40	60-80
	Pork	30	30
	Fish	25-35	0
Processed Foods	Bakery Products	0-100	0
	Dried Foods	0-100	0
	Low-Moisture Foods	0-100	0
	Cheese	-	0
	Fats and Oils	-	0

*Percentages are volume or mole percentage; the remainder is nitrogen.

② 채소류(Mainly vegetables) : 약간의 산소(1~5%)만을 필요로 한다.

③ 일반 과채류(Mainly fruits and some vegetables) : 소량의 산소(1~5%)와 이산화탄소(0~5%) 기체조성에서 가장 저장성이 우수하다.

④ 기타 : 그 밖의 고농도 이산화탄소(5% 이상)를 필요로 하는 과채류로 나뉘어진다.

한편, 과채류가 생리적 이상증세를 일으키지 않는 허용한계 최소 O₂농도와 최고 CO₂농도에 따라 표 6, 7과 같이 각 품목별로 구분할 수도 있다.

CA나 MA는 주로 사과나 배의 장기간 저장에 적용되어 왔을뿐 그밖의 다른 과채류에는 아직까지 많이 이용되지 못하다가 최근들어 소매용 MA 포장 및 진공포장의 과채류로 조금씩 적용 범위를 확장해나가고 있다. 이것외에도 수분차단성 필름을 이용하여 과일을 개별 밀봉포장하는 기술(ISP, Individual Seal Packaging)이 이용되고 있는데, 필름과 과일 표면사이에 저산소, 고이산화탄소 및 고에틸렌의 미세 기체조성이 형성되어 간접적인 MA효과를 누릴 수 있다. 주로 사과, 밀감류, 토마토, 레몬 등의 과일에 적용하여 좋은 결과를 얻었으며 특별히 호흡율이 높은 과일의 경우 기체 교환율을 높이고 밀폐 기체내의 에틸렌 누적을 방지하기 위해서 천공된 필름을 사용할 수도 있다.

육류는 또다른 MA나 CA의 적용분야로서, 예를 들어 진공포장하여 냉장시킨 소고기가 약 8주간 품질이 유지되는 반면, 10~15% 이산화탄소로 MA포장한 경우 10주까지 연장되었다. 육류에 대한 MA효과는 유통기간의 연장뿐만 아니라 색상 유지에도 좋은 영향을 미치는데, 고농도 산소에 의해 검붉은 색을 띠게 하는 myoglobin이 선홍색을 띠게 하는 oxymyoglobin으로 전환된다. 돼지고기의 경우에는 산소농도가 30% 정도로서 60~80%인 소고기에 비해 낮으며, 생선

5. Examples of Gas Mixtures for Selected Food Products

Product	Temp °C ^a	O ₂ , %	CO ₂ , %	N ₂ , %
Meat Products				
Fresh meat	0-2	70	20	10
Cured meat	1-3	0	30	70
Pork	0-2	80	20	0
Offal	0-2	40	50	10
Poultry	0-2	0	20-40	60-80
Fish				
White fish	0-2	30	40	30
Oily fish	0-2	0	60	40
Salmon	0-2	20	60	20
Scampi	0-2	30	40	30
Shrimp	0-2	30	40	30
Horticultural Products				
Apples	0-4	3-6	4-6	Balance
Broccoli	5-10	1-2	10	Balance
Celery	2-5	4-6	2-6	Balance
Lettuce	5	2-3	5-6	Balance ^b
Tomatoes	5-10	4	4	Balance
Baked Products				
Bread	RT ^a		60	40
Cakes	RT		60	40
Crumpets	RT		60	40
Crepes	RT		60	40
Fruit pies	RT		60	40
Pitta bread	RT		99	1
Pasta and Ready Meals				
Pasta	4		80	20
Lasagna	2-4		70	30
Pizza	5		52	50
Quiche	5		50	50
Sausage rolls	4		80	20
Other Products				
Potato chips	RT	0		100
Nuts	RT	0		100

^a RT=room temperature.

^b Trace CO.

은 무산소에서 25~35%의 이산화탄소로 포장했을 때 미생물 발육억제에 의한 유통기간 연장효과를 볼 수 있다.

표 6. Classification of fruits and vegetables according to their tolerance to low O₂ concentrations

Minimum O ₂ concentration tolerated (%)	Commodities
0.5	Tree nuts, dried fruits, and vegetables
1.0	Some cultivars of apples and pears, broccoli, mushroom, garlic, onion, most cut or sliced fruits and vegetables
2.0	Most cultivars of apples and pears, kiwifruit, apricot, cherry, nectarine, peach, plum, strawberry, papaya, pineapple, olive, cantaloupe, sweet corn, green bean, celery, lettuce, cabbage, cauliflower, Brussels sprouts
3.0	Avocado, persimmon, tomato, pepper, cucumber, artichoke
5.0	Citrus fruits, green pea, asparagus, potato, sweet potato

일반적으로 대부분의 식품은 산소에 대해 매우 민감하여 지극히 소량의 산소에 의해서도 산화반응을 일으켜 품질손상을 입을 수 있으므로 이러한 경우 진공포장이나 질소와 같은 불활성 기체를 충전하여 수명을 연장시킨다. 예를들어 피자나 제빵류, 파스타 및 곡류 가공제품은 질소와 이산화탄소의 혼합기체로 충전하고, 땅콩, 건조 과일 및 감자칩 등은 질소만을 충전시킨다. 탈산소제는 이러한 면에서 매우 큰 잠재력을 갖고 있는데, 식품의 산소에 대한 적용한계가 지극히 낮은 경우, 즉 산소에 매우 민감한 맥주나 포도주

표 7. Classification of fresh fruits and vegetables according to their tolerance to elevated CO₂ concentrations

Maximum CO ₂ concentration tolerated (%)	Commodities
2	Apple(Golden Delicious), Asian pear, European pear, apricot, grape, olive, tomato, pepper sweet, lettuce, potato
5	Apple(most cultivars), peach, nectarine, plum, orange, avocado, banana, mango, papaya, kiwifruit. cranberry, pea, pepper(chili), eggplant, cauliflower, cabbage, Brussels sprouts, radish, carrot
10	Grapefruit, lemon, lime, persimmon, pineapple, cucumber, summer squash, snap bean, okra, asparagus, broccoli, parsley, leek, green onion, dry onion, garlic, potato
15	Strawberry, raspberry, blackberry, blueberry, cherry, fig, cantaloupe, sweet corn, mushroom, spinach, kale, Swiss chard

(1~3mg O₂/g), 소프트 드링크류(10~40mg O₂/g), 계란 분말(35mg O₂/g), 커피 등은 산소 흡착제를 이용하여 큰 효과를 볼 수 있다. 이의 실제 적용방법은 2가지로서 탈산소제를 규산염(silicate substrate)가루에 결합시켜 포장하기 전 가공중에 첨가하므로써 산소를 제거한 후 액체를 여과하여 규산염을 분리하는 방법이 있고, 이와는 달리 산소 투과성막을 용액과 산소 흡착제 사이에 두어 식품의 가공중 연속적으로 산소를 제거하는 방법도 있다(그림 10). 그외에 새로운 기술로는 불소화공정

이 있는데, 이는 플라스틱 용기 제작을 위해 분출 성형(blow molding)할 때 불소/질소 혼합물을 사용하여 용기의 내부면을 대부분의 유기물에 대해 안정하고 저항력 있게 만든 것으로 산소 차단성을 가지므로 결과적으로 휘발성 향기성분의 손실을 줄일 수 있다.

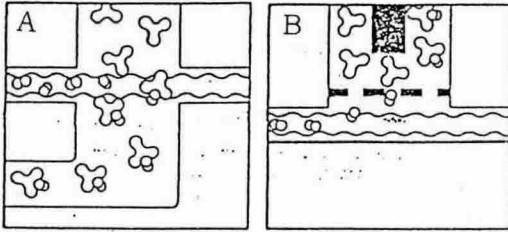


그림 10. Advanced applications of oxygen scavengers. (Courtesy of Aquanautics Corp., Emeryville, CA)

과채류에 대한 MA 실험을 실행한지 60여년이 지났지만 아직까지 MA나 CA의 생체물리적(biophysical) 또는 생화학적(biochemical) 효과에 대해서는 불확실하며, 이에 대한 동력학적 모델화 역시 완전하게 이루어져 있지 않아 적정 기체성을 명확하게 규명할 수 없는 실정이다 그러므로 기존의 포장-식품-기체간의 상호작용에 대한 정보를 이용하여 포장식품의 생리적, 미생물학적, 동력학적 측면을 고려한 모형시스템을 확립하고 더 나아가서는 이를 실제 식품산업에 적용하여 수많은 공정상의 문제 해결에 이용할 수 있도록 하는 것이 앞으로의 과제이다.

참 고 문 헌

1. Adel A. Kader, Devon Zagory, Eduardo L. Kerbel : Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 28(1), 1-30(1988)
2. B. Ooraikul and M. E. Stiles : Modified Atmosphere Packaging of Food, Ellis Horwood LTD, London (1991)
3. J. Ian Gray, Bruce, R. Harte and Joseph Miltz : Food Product Package Compatibility, Proceedings of a Seminar Held at School of Packaging, Michigan State Univ., p134-156(1986)
4. T. P. Labuza and W. M. Breene : J. Food Process. Preserv., 13(1), 1-69 (1989)
5. Shimshon Ben-Yehoshua : HortScience, 20 (1), 32-37(1985)
6. Claudia O'Donnel : Prepared Foods, Sep. p58-59(1991)
7. Richard E, Saunders : TAPPI Journal, Dec. p127-129(1988)
8. E. Varriano-Marston : TAPPI Journal, Jun. p111-113 (1989)
9. John D. Floros : Chemical Engineering Progress, Jun. p25~32 (1990)
10. M. Mathlouthi : Food Packaging and Preservation; Theory and Practice, p115-136 (1986)
11. Y. H. Hui : Encyclopedia of Food Science and Technology, Vol. 3, p1982-1992 (1992)