

저장 중 쇠고기의 품질변화와 효소형 Time-temperature Integrator 색 변화의 Kinetic 모델링

이진명, 이승주*
동국대학교 식품공학과

Kinetic Modeling for Predicting the Qualities of Beef and Color of Enzyme Time-Temperature Integrator During Storage

Jin Myoung Lee, Seung Ju Lee*

Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

Abstract

The kinetic studies were conducted to build a time-temperature integrator (TTI) application system to predict the quality of beef during storage. The color change of TTI and thiobarbituric acid (TBA) value of beef were considered as the variables as function of time and temperature, whose reactions were regarded as zeroth order reactions with Arrhenius equations for temperature dependence. The time courses of the variables were measured at 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, respectively, and the reaction rate constants and the Arrhenius parameters were estimated by regression analysis. The rate constants of TTI color changes were 0.0336, 0.0750, 0.1044, 0.1329 h⁻¹ and those of TBA value 0.0003, 0.0009, 0.0020, 0.0038 h⁻¹ at 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, respectively. The values of activation energies and 95% confidence ranges of TTI and TBA were 30.9±24.7 kJ/mol and 58.1±16.1 kJ/mol, respectively. Using these parameters, the TTI color and TBA values were predicted and compared with experimental data through storage tests, and it ends up fitting each other highly.

Key words: time-temperature integrator, kinetic modeling, beef, TBA value, storage

서 론

경제발달과 식생활 양식의 변화에 따라 육류의 소비는 매년 증가하고 있다(Kim et al., 1996). 그리고 소비자들의 생활 수준이 많이 향상되어 가면서 육류 중에서도 쇠고기의 소비량이 증가하고 있는 추세이다. 쇠고기의 신선도는 저장 및 유통 온도에 의해 많은 영향을 받는다. 쇠고기 중에서도 특히 냉장쇠고기는 저장, 유통조건에 따라 그 품질과 안전성이 좌우되는데 실제로 온도, 상대습도, 산소 등 여러 요인들이 냉장 쇠고기의 품질에 영향을 주게 된다(Kim et al., 1999). 이러한 요인들 중 온도는 육류의 물리적, 화학적, 효소적, 미생물학적 변화를 일으켜 육류의 지방 산화와 단백질의 변성, 변색에 직접적인 영향을 준다(Kim et al., 2002). 이때 온도의 개념은 특정시간 동안의 온도조건이 아니라 시간에 따라 연속적이며 누적된 온도의 이력을 의미한다. 이처럼 냉장 쇠고기의 저장 및 유통과

정에 있어서 온도 이력의 모니터링은 매우 중요하다. 그렇기 때문에 이런 온도 이력에 따라 품질을 보여줄 수 있는 수단이 있다면 냉장 쇠고기의 품질관리를 위해 더 유용할 것이다. 이러한 수단으로 많이 사용되고 있는 방법 중의 하나가 time-temperature integrator(TTI)의 적용이다. TTI는 어패류, 과일 및 채소류, 육류, 유제품 분야에 많이 적용된 바 있다.

TTI란 저장 및 유통 중 제품이 경험한 시간-온도 이력을 정량적으로 나타내는 센서이다. 일반적인 TTI는 시간-온도 이력에 의하여 색이 변화하여 간접적으로 동반된 식품의 품질을 예측하는데 사용된다(Bobelyn et al., 2006). TTI의 색 변화는 센서 구성물의 화학적, 물리적, 효소적 또는 미생물적 반응에 기초를 두고 있다(Claeys et al., 2002). TTI 성능의 기본 요건은 온도의 민감성, 식품 접촉시 독성여부, 경제성으로서 현재 확산형, 효소형, 고분자형 이렇게 3종의 상용제품이 개발된 바 있다. 확산형은 3M monitor Mark(3M Company, St. Paul, MN, USA)가 대표적인데 색을 띠는 지방산 에스테르의 특수종이로 만들어진 심지로의 확산 정도에 기초를 두고 있다. 즉 확산길이에 비례하여 측정치가 결정된다. TTI의 유효 온도범위와 반응은 사용된 지방산의

Corresponding author: Seung Ju Lee, Professor, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea.
Tel: +82-2-2260-3372; Fax: +82-2-2260-3372
E-mail: Lseungju@dongguk.edu

농도와 종류에 따라 결정된다. 효소형 TTI는 VITSAB TTI(VITSAB A.B. Malmö, Sweden)가 대표적이다. 이 TTI는 기질로 사용된 지질의 가수분해에 의해 수소이온농도(pH)의 강하가 생기고 이 변화에 의해 색이 변화된다. 이 TTI는 두 개의 구성성분으로 되어 있는데 하나에는 지질분해 효소수용액이 들어있고 다른 한 편에는 pH 지시계와 함께 지질수용액이 함유되어 있다. 사용목적에 따라 다양한 효소 기질이 사용될 수 있으며 TTI의 활성화는 두 공간을 나누고 있는 막의 파괴에 의해 시작된다. 기질의 가수분해는 pH 저하를 일으키고 지시계의 색깔을 변화시킨다. 주로 암녹색에서 밝은 황색으로 변화되는데 5점 척도의 색변화 정도를 측정하게 된다. 고분자형 TTI는 Lifelines Freshness Monitor와 Fresh-Check TTIs(Lifelines Technology Inc. Morris Plains, NJ. USA)가 대표적이다. 이 TTI는 색을 띠는 고분자형을 만들기 위한 중합 반응에 온도가 의존적이라는 원리를 이용한다. 색 변화는 광학레이저 장치에 의해 감지된다(Kerry et al., 2006).

TTI는 냉동어류, 낙농제품, 육류, 냉동과일 및 채소, 그리고 냉동육류 등 다양한 식품에 적용되고 있다. 냉동어류는 다양한 저장상태에서 냉동어류의 유통기한의 조절을 위한 예측 모델링과 TTI의 적용(Taoukis et al., 1999), 냉동 어류의 품질 모니터링을 위해 TTI 적용의 평가(Giannakourou et al., 2005)와 같은 연구가 보고되었다. 생선의 품질은 온도 별로 시간이 지남에 따라 미생물의 성장속도를 Arrhenius 식을 이용하여 평가를 하였다. 냉동과일 및 채소는 냉동 채소의 품질조절을 위한 도구로서 TTI의 체계적인 적용(Giannakourou & Taoukis, 2002), 버섯의 유통과정에서 버섯의 품질지표로서 TTI의 적용(Bobelyn et al., 2006)과 같은 연구가 보고되었다. 냉동과일 및 채소, 버섯의 품질을 평가하기 위해 본 것은 온도 별로 시간이 지남에 따라 채소와 과일의 색소침착 및 비타민 C의 감소량과 버섯의 갈변을 Arrhenius 식을 이용하여 평가를 하였다. 그리고 낙농제품은 우유의 열처리에 TTI의 적용(Claeys et al., 2002)과 같은 연구가 보고되었다. 열처리한 우유의 품질을 평가하기 위해 온도 별로 시간이 지남에 따라 미생물의 성장속도를 Arrhenius 식을 이용하여 평가를 하였다. 육류에 관하여는 냉동돼지고기의 저장에서 phospholipid phospholipase 시스템을 사용하는 TTI의 적용(Yoon et al., 1994)에 관한 연구가 보고된 바 있다. 냉동 돼지고기의 품질을 평가하기 위해 온도 별로 시간이 지남에 따라 지방의 산패를 보기 위하여 thiobarbituric acid(TBA) 값을 측정하여 Arrhenius 식을 이용하여 평가를 하였다. 이처럼 많은 식품에 TTI가 적용되고 있는 반면 육류에 관하여는 많은 연구가 이루어지지 않았다.

한편, 쇠고기는 고가의 육류 제품으로서 특히 냉장 쇠고기는 유통관리가 잘 못 될 경우 지방의 산패, 미생물의 번식, 이취의 발생, 색소의 침착 등의 품질 저하가 일어날

수 있다(Kerry et al., 2006; Desmarchelier et al., 2007; Zhang et al., 2004). 그 중에서도 온도조절이 쇠고기의 품질에 많은 영향을 미치는데 쇠고기의 사후에 근육의 구조 손실과 단백질 용해도에 많은 영향을 끼친다(Hwang, 2004). 그리고 낮은 온도에서의 육질은 높은 온도에서의 육질보다 품질이 더 좋고 신선도가 오래간다(Park et al., 2001). 이처럼 쇠고기의 품질에 온도가 중요한 역할을 한다. 그렇기 때문에 쇠고기의 품질에 관여하는 여러 요인 중에서도 온도의 개념이 중요한 것이다(Bruce & Ball, 1990). 이렇게 중요한 온도에 따라서 여러 품질 저하가 생기는데 이런 품질의 저하 중 지방의 산패가 빠른 시간에 변하기 때문에 지방의 산패에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 쇠고기의 저장기간이 증가함에 따라 TBA 값이 상승하게 되는데 그것은 쇠고기가 숙성됨에 따라 지방은 지방분해 효소에 의해 가수분해되기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 냉장 쇠고기의 저장에 TTI를 적용하기 위한 선행 단계로서 시판 TTI의 색 변화 및 쇠고기 품질 변화를 예측할 수 있는 kinetic model을 개발하였다. 쇠고기의 품질변수는 지방의 산패 정도를 나타내는 TBA 값(Gokalp et al., 1983)을 대상으로 하였으며 모델링에 필요한 함수식은 0차 반응식과 Arrhenius 식을 사용하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에서는 국내 소비량이 많은 지방함량이 높은 등심 부위를 재료로 사용하였다. 실험에 사용한 쇠고기의 유통경로는 다음과 같았다. 경상남도 섬진강에 있는 H축사에서 사육된 한우는 도살장에서 도축되고 현장에서 위생적으로 소포장된다. 0~4°C의 냉장차로 1일의 운송기간을 거쳐 입수된 쇠고기의 등심 부분을 300 g을 잘게 마쇄하여 50 mL 비이커에 각각 30 g 씩 넣은 후 랩으로 봉인하여 실험에 사용하였다.

TTI는 효소형 TTI(VITSAB AB, Malmö, Sweden)중에서 쇠고기에 가장 적합한 Type B-series와 Type L-series 중 Type L5-8을 사용하였다(VITSAB, 2008).

TBA 값 측정

쇠고기의 저장 중 지방 산패 정도를 조사하기 위해서 TBA 값은 Witte et al. (1970)의 방법을 이용하여 측정하였다. 먼저 10 g의 시료를 50 mL 팔콘 튜브에 넣는다. 0°C, 10°C, 20°C, 30°C에서 각각 저장하면서 3시간 마다 시료가 담긴 팔콘 튜브를 꺼내어 50 µL의 BHA 시약과, 2 M phosphoric acid(20% TCA 포함) 용액 15 mL를 첨가한다. 그리고 균질화한 후 10 mL를 더 넣어 주면서 다시 균질화 한다. 균질화가 끝나면 증류수로 채워 총 부피를 50 mL로 맞추고 뚜껑을 닫고 강하게 흔든 다음 Whatman

No.1 여과지로 걸러 낸다.

여과액 중 5 mL을 취하여 시험관에 넣고 5 mM의 TBA 용액을 5 mL 첨가하여 암실에서 15시간 동안 25°C에서 반응시킨다. UV-Spectrophotometer(Optizen 2120 UV, Mecasys, Korea)를 사용하여 530 nm에서 측정된 흡광도를 TBA 값으로 나타내었다.

TBA 값의 kinetic 모델링

저장 중 쇠고기의 TBA 값 변화는 0차 반응으로 간주하였다(Yoon et al., 1994). 온도 의존성은 Arrhenius 식으로 나타내었다.

$$\frac{d[TBA]}{dt} = K_{TBA} \quad (1)$$

$$K_{TBA} = K_{TBA0} \cdot \exp\left(-\frac{E_{TBA}}{RT}\right) \quad (2)$$

여기서 t는 저장시간(h), K_{TBA} 는 반응속도상수(h^{-1}), K_{TBA0} 는 기준값, E_{TBA} 는 활성화에너지(kJ/mol), R은 이상기체상수(8.314×10^{-3} kJ/mol · K), T는 절대온도(K)를 의미한다. 식(1)을 적분하면 식(3)을 얻을 수 있다.

$$[TBA]_t = [TBA]_0 + K_{TBA} \cdot t \quad (3)$$

여기서 $[TBA]_t$ 와 $[TBA]_0$ 는 각각 시간 t, 초기에서의 TBA 값을 의미한다.

TTI의 색 측정

사용한 TTI는 지질의 효소적 가수분해에 따라 pH가 떨어지면 색이 변하는 제품으로서(VITSAB, 2008), 센서 내 특수하게 격리되어 보관되는 효소와 기질이 사용시 물리적인 조작에 의하여 합쳐지면서 색이 암 녹색으로부터 밝은 황색으로 점차 변화한다. TTI를 0°C, 10°C, 20°C, 30°C에서 각각 보관하면서 2~3시간 간격으로 꺼내어 색도계(CR-200, Minolta Co., Japan)를 사용하여 CIE-L*, a*, b* 값을 측정하였다(Giannakourou & Taoukis, 2002).

TTI 색의 kinetic 모델링

TTI 색변화의 모델링에는 직접 색도값을 사용하지 않고, Taoukis가 본 연구에서 사용된 같은 종류의 TTI에 대하여 성공적으로 적용한 바 있는 식(4)에 의한 변수를 사용하였다(Giannakourou & Taoukis, 2002).

$$F(X_c) = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{1-X_c}\right)} = K_{TTI} \cdot t \quad (4)$$

$$X_c = \frac{C - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \quad (5)$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (6)$$

여기서 $F(X_c)$ 는 색에 대한 변수값, X_c 와 C는 중간매개변수, 그리고 a, b는 CIE-a*, b*값을 의미한다. 또한 온도 의존성은 Arrhenius 식으로 나타내었다.

$$K_{TTI} = K_{TTI0} \cdot \exp\left(-\frac{E_{TTI}}{RT}\right) \quad (7)$$

여기서, K_{TTI} 는 반응속도상수(h^{-1}), K_{TTI0} 는 기준값, E_{TTI} 는 활성화에너지(kJ/mol)를 의미한다.

저장 실험

개발된 kinetic 모델식을 평가하기 위하여 시간-온도 스케줄을 5°C에서 3시간, 13°C 2시간, 20°C 2시간, 27°C 3시간, 23°C 4시간과 같이 총14시간을 임의로 설정하여 보관하면서 TTI의 색과 쇠고기의 TBA 값을 주기적으로 측정하여, 예측값과 실험값을 비교분석하였다.

통계 처리

0차 반응식의 회귀분석에는 식(3)과 식(4)을 직접 사용하였으나, Arrhenius 식의 회귀분석에는 식(2)와 식(7)의 양변에 자연로그를 취하여 선형 함수식으로 변형하여 사용하였다. 식(7)을 변형한 예는 식(8)과 같았다.

$$\ln K_{TTI} = \ln K_{TTI0} - \left(\frac{E_{TTI}}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T}\right) \quad (8)$$

상기의 회귀분석은 일반 MS Office의 Excel 프로그램으로 수행하였다.

결과 및 고찰

쇠고기의 TBA 값 변화 kinetics

Fig. 1은 쇠고기를 0°C, 10°C, 20°C, 30°C에서 각각 보관 중에 시간에 따라 변화하는 TBA 값과 실험값을 회귀분석

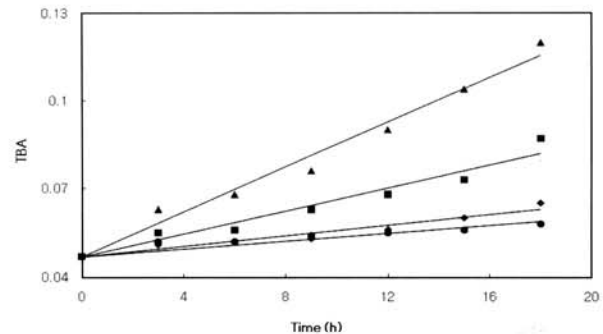


Fig. 1. TBA values of chilled beef at four storage temperatures compared with time. ●, 0°C; ◆, 10°C; ■, 20°C; ▲, 30°C.

Table 1. Comparison of activation energy and reaction rate between TBA of chilled beef and response of TTI ($F(X_c)$ in Eq. 4) in the range of 0°C to 30°C

Temperature (°C)	Reaction rate (1/h)	
	TBA	$F(X_c)$
0	0.0003	0.0336
10	0.0009	0.0750
20	0.0020	0.1044
30	0.0038	0.1329
Activation energy* (kJ/mol)	58.1±16.1	30.9±24.7

*Activation energy and 95% confidence range from regression analysis.

한 결과인 K_{TBA} (Table 1)를 식(3)에 대입하여 산출한 예측값은 각각 원점을 지나는 직선으로 표시하였다. 회귀분석의 R^2 값이 실험 온도구간에서 0.943~0.980으로 나타나 식(3)과 같이 0차 반응에 잘 부합됨을 알 수가 있었다.

시간이 지날수록 TBA 값이 점점 커지는 것을 볼 수가 있다. Lee & Byoun(2003)은 돼지고기와 쇠고기의 지방산패가 진행됨에 따라 TBA 값이 증가함을 보고하였다. K_{TBA} 값은 0°C, 10°C, 20°C, 30°C 별로 각각 0.0003, 0.0009, 0.0020, 0.0038 h⁻¹와 같이 온도에 따라 증가하였으며 특히 높은 온도의 범위에서는 증가 폭이 급격히 크게 나타나 Arrhenius 온도의존성의 특징을 잘 반영하였다.

Fig. 2는 각 온도에 대한 K_{TBA} 의 실험값과 식(2)의 회귀분석으로부터 산출된 직선의 예측값을 나타낸다($R^2=0.992$). 그 결과 활성화에너지인 E_{TBA} 값과 95% 신뢰범위는 58.1±16.1 kJ/mol로서, 타 연구 보고(Yoon et al., 1994)의 결과인 돼지고기의 35.5±6.1 kJ/mol 보다 크게 나타났다. 본 연구에서는 사용된 쇠고기는 지방함량이 많은 등심부위이며, 돼지고기의 경우에는 냉장 돼지고기를 사용하였다. 실험에 사용한 쇠고기의 등심 부분이 냉장 돼지고기보다 지방 함량이 더 높기 때문에 이러한 차이가 나타나는 것으

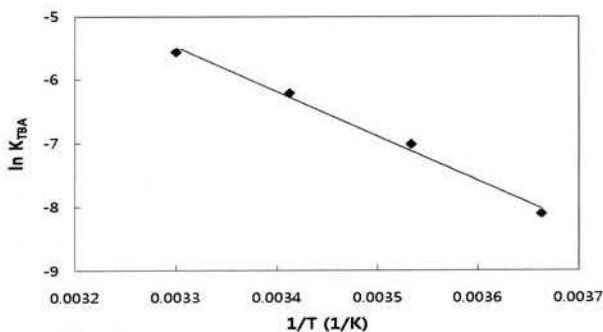


Fig. 2. Arrhenius plot of the reaction rate of TBA value change for chilled beef.

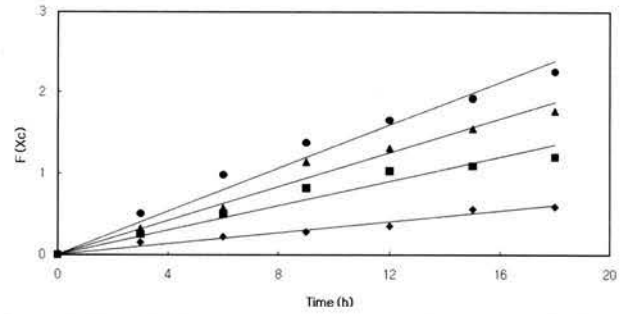


Fig. 3. Responses of TTI color change ($F(X_c)$ in Eq. 4) at four storage temperatures compared with time. ●, 0°C; ◆, 10°C; ■, 20°C; ▲, 30°C.

로 분석된다(Kim et al., 1999; Lee & Byoun, 2005).

TTI의 색 변화 kinetics

Fig. 3은 효소형 TTI를 0°C, 10°C, 20°C, 30°C에서 각각 보관 중에 시간에 따라 변화하는 색을 식(4)에 대입하여 계산한 $F(X_c)$ 값을 보여준다. 동시에 실험값을 회귀분석한 결과인 K_{TTI} (Table 1)를 식(7)에 대입하여 산출한 예측값은 각각 원점을 지나는 직선으로 표시하였다. 회귀분석의 R^2 값이 실험 온도구간에서 0.952~0.984로 나타나 식(4)과 같이 0차 반응에 잘 부합됨을 알 수가 있었다.

시간이 지날수록 TTI의 색 변화는 육안으로 관찰할 때 암 녹색에서 점점 밝은황색으로 변하는 것을 볼 수 있었는데, 색도계로 측정된 a 값이 증가하는 결과와 일치하였다. 여기서 a 값은 (-)에서 (+)로 변할 때 blueness가 작아지고 redness가 증가하는 것을 의미한다(Bruce & Ball, 1990). K_{TTI} 값은 0°C, 10°C, 20°C, 30°C 별로 각각 0.0336, 0.0750, 0.1044, 0.1329 h⁻¹와 같이 온도에 따라 증가하였으며 특히 높은 온도의 범위에서는 증가 폭이 급격히 크게 나타나 Arrhenius 온도의존성의 특징을 잘 반영하였다.

Fig. 4는 각 온도에 대한 K_{TTI} 의 실험값과 식(8)의 회귀분석으로부터 산출된 직선의 예측값을 나타낸다($R^2 = 0.996$). 그 결과 활성화에너지인 E_{TTI} 값과 95% 신뢰구간은

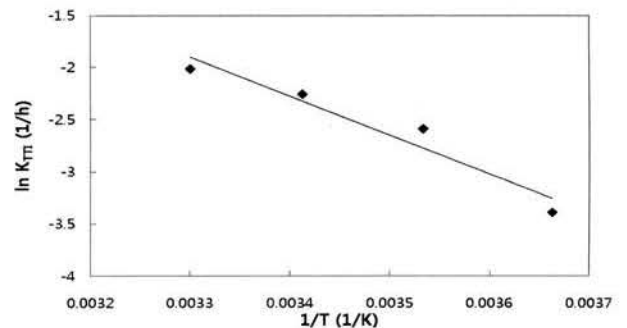


Fig. 4. Arrhenius plot of the reaction rate of TTI color change ($F(X_c)$ in Eq. 4).

30.9±24.7 kJ/mol로서, 본 연구에서 사용된 TTI와 동일업체에서 생산된 효소형 TTI를 사용한 타 연구 보고 (Giannakourou & Taoukis, 2002)의 결과인 99.5±10.7 kJ/mol 보다 작게 나타났다. 이러한 차이는 본 연구에서 사용된 TTI는 쇠고기용인 효소형 type L(model L5-8)인 반면에, 타 연구의 경우에는 채소류용인 효소형 type M (model M2-3510)으로서(VITSAB, 2008), 채소류는 쇠고기보다는 온도의존성이 높기 때문으로 사료된다. 여기서 TTI와 쇠고기의 활성화에너지는 서로 같은 값을 갖는 것이 이상적이지만 (Giannakourou et al., 2005), 본 연구의 결과나 Taoukis et al.(1999)의 결과에서 보면 그 값이 같지 않지만 유사하게 산출되었다. 그 차이에 따라 특정 식품에 대한 특정 TTI의 적합성이 결정된다.

저장 중 TTI와 쇠고기 품질의 비교분석

저장 중 다양한 온도를 경험하게 하여 TTI와 쇠고기 품질변화를 나타내는 TBA 값을 비교하였다. Fig. 5는 TTI와 쇠고기를 보관한 시간에 따른 온도의 경로를 보여준다. 실

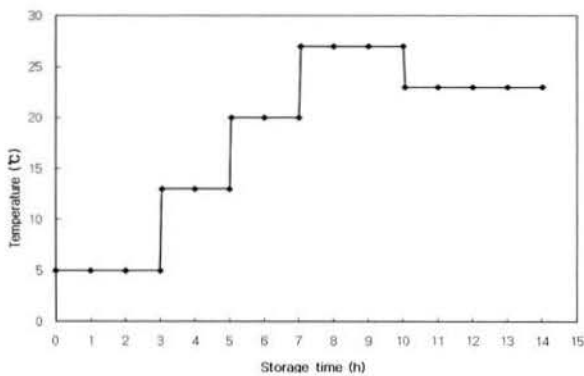


Fig. 5. Storage temperature variation profile for fluctuating temperature exposure. The inner temperatures in the storage chamber reached the set temperatures for each within 2 min at most.

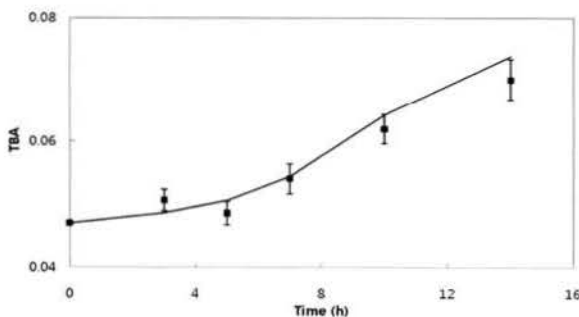


Fig. 6. Predicted (solid lines) and measured (points) TBA values of chilled beef compared with time under dynamic storage conditions shown in Fig. 5. Error bars mean standard deviation (n=5).

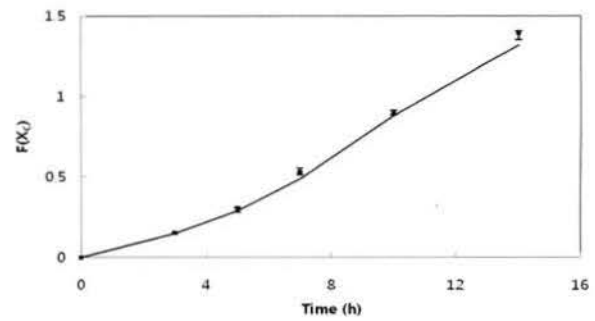


Fig. 7. Predicted (solid lines) and measured (points) responses of TTI color change (F(X)) in Eq. 4) compared with time under dynamic storage conditions shown in Fig. 5. Error bars mean standard deviation (n=5).

을 알 수 있었다.

요 약

본 연구는 쇠고기의 안전유통에 필요한 근본 기술의 일환으로 저장 중 쇠고기의 품질과 time-temperature integrator(TTI)의 색의 변화를 예측할 수 있는 kinetic model을 개발하였다. 먼저 항온의 조건으로 0°C, 10°C, 20°C, 30°C 각각의 온도에서 쇠고기와 TTI를 같이 넣고 TTI의 색 변화와 쇠고기의 품질변수인 thiobarbituric acid(TBA) 값을 측정하였다. 냉장 쇠고기와 시판 효소형 TTI를 구입하여 사용하였다. 온도의존적인 Arrhenius 식과 0차 반응식에 실험 데이터를 사용하여 회귀분석하였다. 반응속도상수는 TBA 값의 경우 각각 온도 별로 0.0003, 0.0009, 0.0020, 0.0038 h⁻¹이었고, TTI 색의 경우 0.0336, 0.0750, 0.1044, 0.1329 h⁻¹로 나타났다. 활성화에너지와 그 값의 95%신뢰범위는 TBA의 경우 58.1±16.1 kJ/mol, TTI의 경우 30.9±24.7 kJ/mol로 산출되었다. 또한 항온 조건이 아닌 시간에 따라 온도가 변화하는 조건에서 쇠고기와 TTI의 변화를 실험하여 함수식의 예측값과 비교 분석한 결과 매우 일치되게 나타났다. 결과적으로 상기 kinetic 함수식은 TBA 값과 TTI 색의 상관관계를 분석하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

Bobelyn E, Hertog MLATM, Nicolai BM. 2006. Applicability of an enzymatic time temperature integrator as a quality indicator for mushrooms in the distribution chain. *Postharvest Biol. Tec.* 42: 104-114.
 Bruce HL, Ball RO. 1990. Postmortem interactions of muscle temperature, pH and extension on beef quality. *J. Anim. Sci.* 68: 4167-4175.
 Claeys WL, Van loey AM, Hendrickx ME. 2002. Intrinsic time temperature integrators for heat treatment of milk. *Trends Food Sci. Tech.* 13: 293-311.

- Desmarchelier P, Fegan N, Smale N, Small A. 2007. Managing safety and quality through the red meat chain. *Meat Sci.* 77: 28-35.
- Giannakourou MC, Taoukis PS. 2002. Systematic application of time temperature integrators as tools for control of frozen vegetable quality. *J. Food Sci.* 67: 2221-2228.
- Giannakourou MC, Koutsoumanis K, Nychas GJE, Taoukis PS. 2005. Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain. *Int. J. Food Microbiol.* 102: 323-336.
- Gokalp HY, Ockerman HW, Plimpton RF, Harper WJ. 1983. Fatty acids of neutral and phospholipids rancidity scores and TBA values as influenced by packaging and storage. *J. Food Sci.* 48: 829-834.
- Hwang IH. 2004. Effect of palatability traits on satisfactory level of Korean beef consumers. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 24: 310-318.
- Kerrt JP, O'Grady MN, Hogan SA. 2006. Past, current and potential utilization of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Sci.* 74: 113-130.
- Kim DG, Lee SH, Kim SM, Seok YS, Sung SK. 1996. Effects of packaging method on physico chemical properties of korean beef. *Korean J. Soc. Food Sci. Nutr.* 25: 944-950.
- Kim IS, Lee SO, Kang SN, Byun JS, Lee M. 1999. The physico-chemical microbial and sensory characteristics of Han-woo and imported chilled beef loins. *Korean J. Food Sci. Anim. Res.* 19: 331-338.
- Kim JW, Chun YH, Jang AR, Min JS, Lee SO, Lee MH. 2002. Determination of physico chemical properties and quality attribute of Hanwoo beef with grade sex. *Korean J. Anim. Sci Technol.* 44: 599-606.
- Lee KA, Byoun KE. 2005. Microbial changes and physico-chemical properties of beef and pork loin with microwave treatment. *Korean J. Hum. Ecol.* 14: 217-221.
- Park GB, Moon SS, Ko YD, Ha JK, Lee JG, Chang HH, Joo ST. 2001. Influence of slaughter weight and sex on yield and quality grades of Hanwoo (Korean native cattle) carcasses. *J. Anim. Sci.* 80: 129-136.
- Taoukis PS, Koutsoumanis K, Nychas GJE. 1999. Use of time-temperature integrators and predictive modeling for shelf life control of chilled fish under dynamic storage conditions. *Int. J. Food Microbiol.* 53: 21-31.
- VITSAB. 2008. Home page. <<http://vitsab.se>>.
- Witte VC, Krause GF, Bailey ME. 1970. A new extraction for determining 2-thiobarbituric acid values of pork and beef during storage. *J. Food Sci.* 35: 582.
- Yoon SH, Lee CH, Kim DY, Kim JW, Park KH. 1994. Time-temperature indicator using phospholipids-phospholipase system and application to storage of frozen pork. *J. Food Sci.* 59: 490-493.
- Zhang SX, Farouk MM, Young OA, Wieliczko KJ, Podmore C. 2005. Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Sci.* 69: 765-772.

(접수 2008년 9월 5일, 수정 2008년 10월 24일, 채택 2008년 10월 30일)