

식품회사를 위한 선반수명분석 소프트웨어

장경 · 이진범

단국대학교 산업공학과 대학원

A Shelf Life Analysis Software for Food Industry

Kyung Chang, Jin Bum Lee

Dept. of Industrial Engineering, Graduate School, Dankook University

In this paper a software program is given for food product life (shelf life) estimation. There are many modules of related operations, considering the characteristic of food industry so that users can easily use and understand the software, and we make the related data referenced in data base. In food industry acceleration tests depend on food deterioration differential equations. Based on such equations, etc, this paper suggests a shelf life estimation software program.

Keywords: Shelf life, Software, Food industry

1. 서론

식품산업에서 신제품 개발 시, 가장 중요한 요인 중 하나는 소매점 등에서 요구된 품질수준을 얼마 동안 유지하는가를 나타내는 제품수명을 알아내는 것이다(장경과 이재하, 1998). 하지만 제품의 보관환경인 판매점 등의 환경 하에서 제품의 품질저하(Deterioration)나 품질소멸은 오랜 시간-수개월 내지 수 년-이 걸리는 경우도 있다.

이런 난점을 해결하기 위해 평상 시보다 더 열악한 조건에서 실험을 하여, 제품의 수명을 단축시키거나, 제품 품질을 급속히 저하시켜서 짧은 기간 동안에 자료를 얻은 후, 적절한 절차를 통하여 정상상태에서의 제품수명을 추정하는 가속수명시험 방법을 사용한다(류근중과 강창욱, 1998).

본 논문은 가속수명시험에서 얻어진 자료를 가지고 선반수명(Shelf-life)을 추정하는데 관련된 여러 모수(parameters)를 계산하는 과정을 전산화하고 계산에 필요한 값들을 제시해 줌으로써 통계비전문가인 연구담당자들이 보다 쉽고, 정확하게 선반수명을 추정하여 경쟁

기업에 뒤처지지 않게 도움을 주고자 한다.

가속수명시험에 대한 연구는 사용환경에서의 모수(parameters)를 추정(estimation)하는 문제와 어떤 방법으로 수행할 것인가를 결정하는 설계 문제로 대별된다(원영철, 1999). 기존 논문들을 위 분류에 의해 분류해보면 다음 <표 1-1>과 같다.

가속수명시험에 대한 연구 중 특정산업, 특정제품의 모수추정(parameter estimation) 등에 대한 연구에는 Boychinova et al.(1991), Conti et al.(1992), Hirose(1997), Dimitrov(1990), Meeker 와 Luvall(1995), 이석훈 et al.(1996), 황선진과 김병수(1998), Bai 와 Lee(1996) 등이 있다.

본 논문의 대상인 식품산업에서 각종 모수추정 및 제품수명추정과 관련된 연구를 검토해 보면, 그 사용된 방법들에는 이항통계량, 신뢰구간, 제곱평균근, 상관관계, 최소제곱분석, 분산분석, 주성분분석 등이 있다(장경과 이재하, 1998).

위 이론적 검토에서 보는 바와 같이 모수 추정 문제에 대한 기존 논문들은 이론적 고찰 및 활용에 관한 연구이었으나, 가속수명시험 결과 데이터로 제품 수명 추

<표1-1> 가속수명에 관한 기존 연구의 분류

분류	기존 연구 논문
모수 추정 문제	장경과 이재하(1998), 황선진과 김병수(1998), Hirose(1993), Mohamed(1995), Bai 와 Lee(1996), 이석훈 et al.(1996), Meeker 와 Luvalle(1995), Kvam과 Samaniego(1993), 박병구와 윤상철(1997), Maciejewski(1995), Dimitrov(1990), Hirose(1997), Conti et al.(1992), Boychinova등(1991), Glaser(1984) 등
실험 설계 문제	Boulanger 와 Escobar(1994), 서순근과 조호성(1996), 서순근과 정원기(1997), 서순근과 최종덕(1991), 서순근과 김갑석(1996), 서순근 et al.(1998), 정상욱과 배도선(1998), 이석훈과 박희창(1996), 윤원영과 정성기(1993), 전영록(1995), Luvalle(1993), Islam 와 Ahmad(1994), Ahmad 와 Islam(1996) 등

정에 관련된 모수들을 계산해 주는 소프트웨어 연구는 아직까지 없었다.

본 논문은 식품산업에서 중요한 업무인 가속수명실험 자료로부터 제품수명추정에 관계된 모수를 계산해 주는 프로그램을 구축하여 격심한 제품 개발 경쟁 기업환경에 효율적으로 업무를 지원하고자 한다.

본 논문은 제2장 가속수명실험에 대한 이론적 배경에 대해 설명하고, 제3장에서는 제2장에서 언급된 주제를 취급하는 소프트웨어 구축에 대해 다룬다. 제4장에서는 결론 및 추후 연구과제에 대해 논한다.

2. 가속수명시험 이론

식품에서 품질저하에서는 주로 3가지 반응 속도를 논한다(주현규 et al., 1995).

(1) 0차 반응은 품질 손실이 최초 농도에 관계 없이 일정 속도로 일어나는 것으로 신선한 과실 및 채소와 일부 냉동식품 및 일부 냉장 doughs의 효소적 분해반응(enzyme reaction), 건조곡물, 건조한 낙농제품, 건조한 pet 식품, 단백질 영양가의 손실을 일으키는 비효소적 갈변반응(non-enzymatic browns), 스넥, 건조식품, 냉동식품등의 산패를 일으키는 지방산화반응(liquid oxidation) 등이 있다.

(2) 1차 반응은 품질 손실속도가 품질농도에 의하여 결정되는 반응으로 실제로 식품의 품질손실을 일으키는 많은 반응이 1차 반응이다. 식용유나 건조채소의 산패(rancidity), 신선한 육류나 생선의 미생물 증식과 가열처리 식품의 사멸(microbial growth and death), 어류

나 육류의 미생물에 의한 이취(異臭)나 점물질 생성(off-flavours and slime by microbial population), 통조림 식품이나 건조식품의 비타민 손실(vitamin loss), 건조식품에 대한 단백질 품질의 손실(loss of protein quality) 등이 해당된다.

(3) 2차 반응의 품질손실은 매우 드물게 나타난다. 예를 들면 토마토 주스와 통조림된 이유식에서의 비타민 파괴(vitamin destruction), 순수지질에서의 산패(rancidity) 등이 여기에 속한다.

위 3가지 반응을 설명하는 식품의 품질저하(deterioration) 반응식은

$$\frac{dA}{dt} = - K A^n \tag{2.1}$$

이며, 여기서 A 는 측정된 품질특성치, n 은 반응차수, K 는 온도, 습도 등에 영향을 받는 비율 상수, t 는 선반수명(shelf life), "-"는 통상적으로 품질특성이 시간이 지나감에 따라 감소함을 나타내는 음부호이다.

식(2.1)에서, 반응차수가 0차인 0차 반응식은 $n = 0$ 을 대입하면

$$\frac{dA}{dt} = - K \tag{2.2}$$

식(2.1)에서, 반응차수가 1차인 1차 반응식은 $n = 1$ 을 대입하면

$$\frac{dA}{dt} = - K A \tag{2.3}$$

식(2.1)에서, 반응차수가 2차인 2차 반응식은 $n = 2$ 을 대입하면

$$\frac{dA}{dt} = - K A^2 \tag{2.4}$$

로 각각 되어서 0차, 1차, 2차 반응식은 각각 식(2.2), 식(2.3), 식(2.4)가 된다.

0차 반응식에서 모수를 구하기 위해 식(2.2) 양변을 적분하면

$$A = A_0 - K t \tag{2.5}$$

을 얻고, 여기서 A_0 는 관심 있는 특성의 초기치이다.

한편 K 는 식(2.5)를 다시 정리하여, 식 (2.6)이 된다.

$$K = \frac{A_0 - A}{t} \tag{2.6}$$

식(2.3) 양변을 적분하고 지수로그를 취하면

$$\ln(A / A_0) = K t \tag{2.7}$$

이 되고, 이는 다시 $\ln A - \ln A_0 = K t$ 이다. 위의 식을 A와 K에 의한 식으로 정리하면 식(2.8), 식(2.9)를 얻을 수 있다.

$$A = e^{\ln(A_0) + K t} \quad (2.8)$$

$$K = \frac{\ln A_0 - \ln A}{t} \quad (2.9)$$

식(2.4)로 부터 적분에 의하여

$$1/A - 1/A_0 = K t \quad (2.10)$$

를 얻게 되는데 이것을 A와 K의 식으로 도출하면, 식(2.11)과 식(2.12)

$$A = 1 / (1/A_0 + K t) \quad (2.11)$$

$$K = \frac{1/A - 1/A_0}{t} \quad (2.12)$$

가 된다.

0, 1, 2차 반응식들 중에서 0차, 1차 반응식이 보통 품질악화추정에 사용되며, 이 반응식들과 관련하여 여러 품질저하 반응 상수 (D, Q_{10}, z)들이 사용된다.

1차 반응의 경우에 상수 D는 다음과 같이 정의된다.

$$\log(A/A_0) = \frac{t}{D} \quad (2.12)^*$$

그러면 식(2.7) 및 대수성질에 따라

$$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) = \ln(10) \log\left(\frac{A}{A_0}\right) = K t \quad \text{이므로 다시}$$

$$\text{식(2.12)*에 따라 } \ln(10)\left(\frac{t}{D}\right) = K t \text{ 로부터}$$

$$D = \ln(10)/K \quad (2.13)$$

을 얻는다.

한편, half life는 현재 남아있는 품질 특성치가 초기 품질 특성치의 1/2이 되는 시간을 나타내는 것으로 다시 말하여 $A/A_0 = 0.5$ 일 때의 시간을 말한다. 따라서, 0차 반응에서 $t_{0.5}$ (half life)는 식(2.5)로부터 얻어지는데, 이 경우 $A = 0.5(A_0)$ 이므로 $t_{0.5}$ 는 식(2.14)와 같다.

$$t_{0.5} = \frac{A_0}{2K} \quad (2.14)$$

식품의 품질저하 1차 반응에서 $t_{0.5}$ 는 식(2.7)로부터 $\ln(A/A_0) = \ln(0.5) = K t_{0.5}$ 즉,

$$t_{0.5} = \frac{\ln(0.5)}{K} \quad (2.15)$$

이고, 식(2.12)*로부터 $\log(0.5) = \frac{t_{0.5}}{D}$ 이므로 모수 D와 $t_{0.5}$ 와의 관계는 식(2.16)이 된다.

$$t_{0.5} = -\log(0.5) D \quad (2.16)$$

또한, 식품의 품질저하 2차 반응에서 $t_{0.5}$ 는 식(2.11)로부터

$$t_{0.5} = \frac{1}{A_0 K} \quad (2.17)$$

이 된다.

온도가 10°C 변화할 때 반응률(reaction rate)의 변화 배수인 Q_{10} 은 식 $K_2 = K_1 [Q_{10}]^{(T_2 - T_1)/10}$ 으로부터 식(2.18)과 같이 얻어진다.

$$Q_{10} = [K_2/K_1]^{10/(T_2 - T_1)} \quad (2.18)$$

여기서 K_1 는 절대온도 T_1 에서의 반응률 상수, K_2 는 절대온도 T_2 에서의 반응률 상수, T_1 는 절대온도, T_2 는 절대온도이다. Q_{10} 은 또한 Arrhenius equation

$$K = A_0 e^{\frac{-E_a}{RT}} \text{ 으로부터 다음 식(2.19)와 같이 얻어지며}$$

$$Q_{10} = e^{\frac{10}{T_1 T_2} \frac{E_a}{R}} \quad (2.19)$$

여기서 E_a 는 활성화 에너지, R 는 gas constant 또는 Boltzman 상수이다.

식품의 품질저하(deterioration) 반응이 0차 반응일때, Q_{10} 은 아래 식(2.20)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{10} = \frac{t_1}{t_2}, \quad (2.20)$$

여기서 t_1 은 온도 T °C 에서의 shelf life, t_2 는 온도 $T+10$ °C에서의 shelf life(주현규 et al., 1995)이다.

또한 z 는 다음식 $\frac{K_2}{K_1} = 10^{(T_2 - T_1)/z}$ 으로부터

$$z = \frac{T_2 - T_1}{\log \frac{K_2}{K_1}} \quad (2.21)$$

으로 정의되며, Arrhenius equation을 쓰면

$$z = \frac{\ln 10}{E_a/R} T_1 T_2 \quad (2.22)$$

의 관계식을 가지며, 식(2.22)와 식(2.19)에 의해 식(2.23)과 같이 나타낼 수도 있다.

$$z = 10 \frac{\ln(10)}{\ln Q_{10}}, \quad (2.23)$$

주요 관심모수인 t (shelf life)는 식(2.5), 식(2.8), 식(2.11)에 의해 다음과 같이 표현된다.

품질저하 반응이 0차 반응 일때의 t (shelf life)는

$$t = \frac{A_0 - A}{K} \quad (2.24)$$

품질저하 반응이 1차 반응 일때의 t (shelf life)는

$$t = \frac{\ln A - \ln A_0}{K} \quad (2.25)$$

품질저하 반응이 2차 반응 일때의 t (shelf life)는

$$t = \frac{1/A - 1/A_0}{K} \quad (2.26)$$

또한, 0차 반응일 때 shelf life t_2 는 식(2.20)에 의해 다음 식(2.27)과 같이 나타낼 수 있다(주현규 등, 1995).

$$t_2 = t_1 [Q_{10}]^{\frac{T_1 - T_2}{10}} \quad (2.27)$$

마지막으로, 온도와 시간 관계를 나타내는 아레니우스(Arrhenius)모델의 기본식은 $k = k_0 \exp(-\frac{E_a}{RT})$ 이다. 이 식에서 반응속도상수 k 대신 모수 t 를 사용하면 식(2.28)과 같이 표현할 수 있다. 본 프로그램에서는 식(2.28)을 이용하여 특정온도 T_s 에서의 수명 t_s 를 구한다.

$$t_{s'} = t_0 \exp \frac{E_a}{R} (\frac{1}{T_s} - \frac{1}{T_0}) \quad (2.28)$$

여기서 $T_{s'}$ 는 특수 가속조건 of 절대온도, T_s 는 가속조건 of 절대온도, T_0 는 가동조건 of 절대온도, t_s 는 가속반응에 걸리는 시간, t_0 는 반응에 걸린시간, $t_{s'}$ 는 특수 가속조건하의 수명이다. 이들 주요모수의 정의는 (Toledo, 1991)에 있으며, 그 관계성 도출은 (장경 과 이재하, 1998)에 나와 있다.

3. 가속실험 자료분석소프트웨어

본 논문에서는 작성 시간이 짧고 사용자가 쉽게 수정

할 수 있다는 장점(한경수와 안정용, 1997), 그리고 MS-Excel이나 MS-Access로 작성한 파일과 연결 사용의 용이성 때문에 Visual-Basic으로 프로그램(명칭: 가속실험 자료 분석 소프트웨어)을 작성하였다.

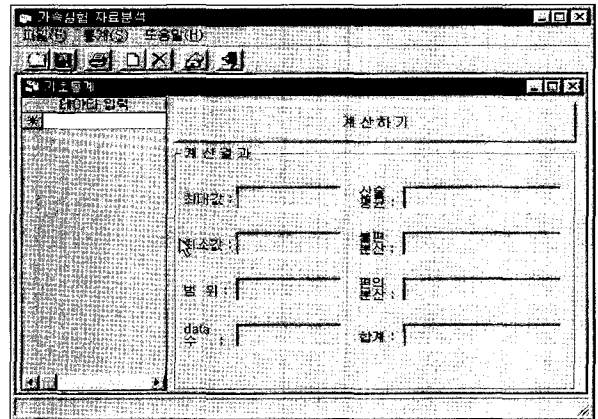
본 프로그램은 식품산업에서 제품수명을 추정하는 데 필요한 모수들-품질저하(deterioration)반응식에서 도출된 모수와 아레니우스(Arrhenius)모델에서 도출된 모수-을 통계분야 비전문가나 고급인력이 아닌 담당자나 연구원들이라도 보다 쉽고 정확한 추정을 할 수 있게 해 주고자 하는 것이다.

1) 프로그램의 구성

본 프로그램에서는 아래 <표 3-1>과 같이 1개의 Main Form과 27개의 Sub Form, 1개의 Module로 구성된다. 프로그램의 자세한 내용은 부록에서 다루기로 한다.

'가속실험 자료 분석 소프트웨어'의 실행 화면은 다음 <그림 3-1>과 같다.

각 메뉴들을 설명하면, [파일]메뉴에서는 파일의 저장, 인쇄, 작성, 불러오기 등을 할 수 있고, 그 서브메뉴는 다음과 같은 작업을 한다.



<그림 3-1> 가속실험자료분석 프로그램 실행중의 Main Form

- ① 새 작업영역 : 새로운 파일을 작성한다.
- ② 삭제 : 선택한 레코드를 삭제한다.
- ③ 불러 오기 : 작성된 데이터 파일(확장자가 qc)을 불러온다.
- ④ 저장 하기 : 작업한 데이터 파일(확장자가 qc)을 저장한다.
- ⑤ 인쇄 : 사용한 모든 창의 결과를 프린터로 출력한다.

[도움말]메뉴의 서브메뉴는 다음과 같은 작업을 한다.

- ① 만든 이 : 만든 이의 정보를 알 수 있다.

<표3-1> 가속실험 자료 분석 소프트웨어 프로그램의 구성

Sub Form	frmAlgo1	t0.5 결과치에 대한 알고리즘
	frmAlgo2	Q10 결과치에 대한 알고리즘
	frmAlgo3	Z 결과치에 대한 알고리즘
	frmAlgo4	t 결과치에 대한 알고리즘
	frmAlgo5	K 결과치에 대한 알고리즘
	frmAlgo6	A 결과치에 대한 알고리즘
	frmAorder1	알고리즘 접근 [K by A0, A, t]
	frmAorder2	알고리즘 접근 [A by A0, K, t]
	frmAorder3	알고리즘 접근 [t by A, A0, K]
	frmArrhen	Arrhenius 공식 및 일반차(차수≥1)이용 계산
	frmForder	A0, A, t 에 의한 1차반응속도식 계산
	frmForder1	알고리즘 접근 [t0.5 by K or D(1차)]
	frmInfo	제작자, 프로그램에 대한 간략한 정보
	frmMean	Data들의 기초통계 계산
	frmNorder1	알고리즘 접근 [D by K]
	frmNorder2	알고리즘 접근 [Q10 by K1, K2, T1, T2]
	frmNorder3	알고리즘 접근 [Q10 by T1, T2, Ea, R]
	frmNorder4	알고리즘 접근 [Z by K1, K2, T1, T2]
	frmNorder5	알고리즘 접근 [Z by T1, T2, Ea, R]
	frmNorder6	알고리즘 접근 [Z by Q10]
frmSorder	A0, A, t 에 의한 2차반응속도식 계산	
frmSorder1	알고리즘 접근 [t0.5 by A0, K(2차)]	
frmSplash	프로그램 실행시 초기화면	
frmZorder	A0, A, t 에 의한 0차반응속도식 계산	
frmZorder1	알고리즘 접근 [t0.5 by A0, K(0차)]	
frmZorder2	알고리즘 접근 [Q10 by t1, t2]	
frmZorder3	알고리즘 접근 [t by Q10, T1, T2, t1]	
Main Form	frmMDIMain	프로그램 주화면
Module	mdlLibrary	전역변수의 선언 및 함수정의

② 공식 알고리즘 : 어떤 모수를 구하고자 할 때의 필요한 입력자료를 알려준다.

[통계]메뉴는 기초통계와 기술적인 통계로 크게 나눌 수 있고 그 내용은 아래와 같다.

① 기초통계 : 관측된 자료의 평균, 분산, 범위, 합계 등 기초적인 통계치들을 계산해 준다.

② A0, A, t 접근 : A0, A, t값들을 알고 있을 때 구할 수 있는 모수들을 계산해 준다.

③ 알고리즘 접근 : 알고리즘에 의한 모수값을 계산해 준다.

④ 아레니우스 공식(차수≥1) : 아레니우스 모델식을 이용하여 특정한 가속조건시의 수명을 구한다.

본 프로그램에서 사용한 계산식- 제2장에서 설명한 식들-을 메뉴와 연결하여 모수 값을 구하는 알고리즘으로 표현하면 다음 <표 3-2>와 같다.

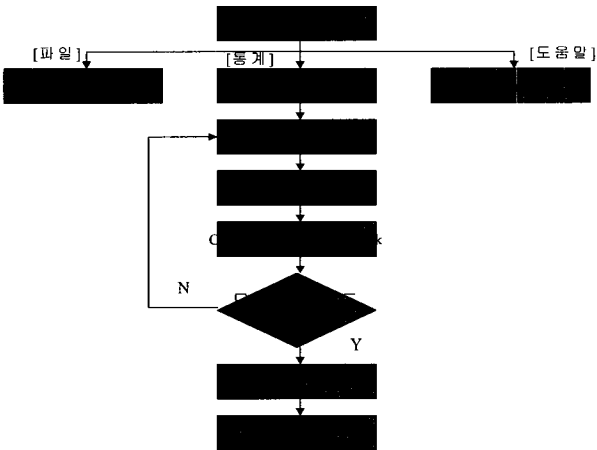
2) 프로그램의 실행

본 프로그램의 실행절차를 보면 먼저 Main Form의 3개의 Main Menu를 선택한 후 각 Main Menu의 Sub

<표3-2> 프로그램 메뉴와 반응식 및 반응상수 알고리즘과의 연결

주 메뉴	서브메뉴				관계식	
	접근방식	반응 조건	모수	입력치		
통계	A0, A, t 접근	0차 반응	t0.5, k	A0, A, t	(2.6)	
		1차 반응	t0.5, k	A0, A, t	(2.14)	
		2차 반응	t0.5, k	A0, A, t	(2.9)	
		2차 반응	t0.5, k	A0, A, t	(2.15)	
주메뉴	접근방식	서브메뉴			관계식	
		모수	입력치	반응조건		
통계	알고리즘 접근	D	K		(2.12)(2.17)	
		t0.5	A0, K	0차	(2.13)	
			K or D	1차	(2.14)	
			A0, K	2차	(2.15)	
		Q10	t1, t2	0차	(2.16)	
			K1, K2, T1, T2		(2.20)	
			T1, T2, Ea, R		(2.18)	
		z	K1, K2, T1, T2		(2.19)	
			T1, T2, Ea, R		(2.21)	
			Q10		(2.22)	
		K	A0, A, t	0, 1, 2차	(2.23)	
			t	A0, A, K	0, 1, 2차	(2.6)(2.9)(2.12)
				Q10, T1, T2, t1	0차(t = t2)	(2.24)(2.25)(2.26)
		아레니우스 공식	t s	t0, ts, T0, Ts, T s		(2.27)

Menu를 선택하면 각 Menu에 연결된 계산 Form이 Load되고 입력필드(Text Box)에 모든 값들을 입력 후 '계산하기'라는 Command Button을 선택함으로써 계산 과정을 거친 결과가 출력필드(Label Box)에 출력되는 것이다. 다음 <그림 3-2>은 [통계]메뉴의 선택에 의한 계산 Form의 실행절차이다.

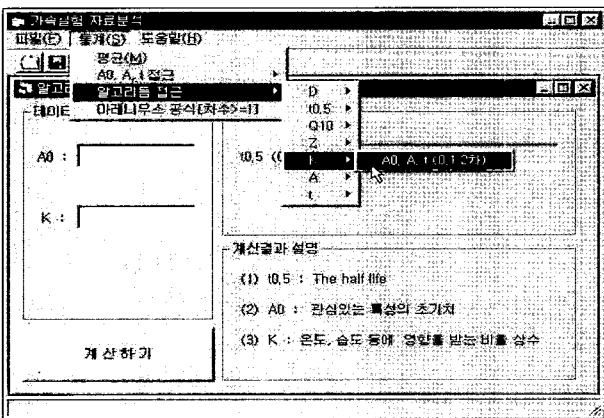


<그림 3-2> 가속실험자료분석 프로그램의 계산 Form의 실행절차

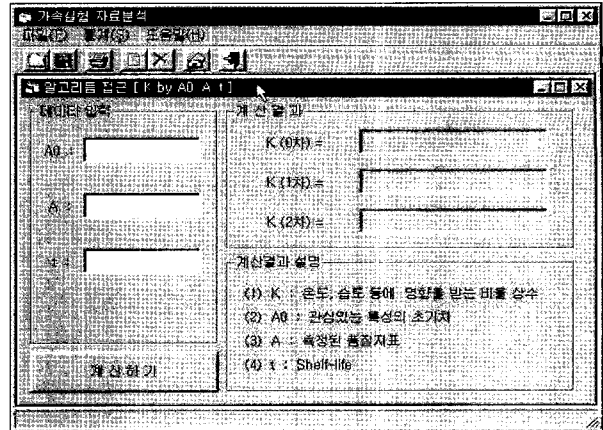
계산 Form은 [통계]메뉴의 4개의 Sub Menu에 연결된 Form들을 의미하며 실행절차는 모두 같아 여기서는 한 경우의 Sub Menu 실행절차만을 제시하였다. 위 절차가 이루어지는 과정을 프로그램 화면으로 설명하려면 먼저 Main Menu에서 [통계] → [알고리즘 접근] → [K] → [A0, A, t(0,1,2차)]를 선택하면 <그림 3-3>과 같이 된다

다음의 <그림 3-4>는 위 절차에 의해 선택된 계산 Form으로 A0, A, t를 입력하여 모수 K(0,1,2차)값을 구하는 Form이다.

위 계산 Form에서 A0, A, t 값들을 입력하여 '계산하

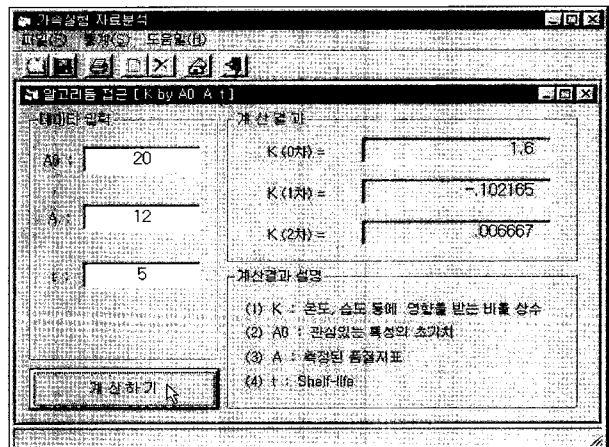


<그림 3-3> 계산 Form의 실행절차 중 메뉴선택 절차



<그림 3-4> 계산 Form의 실행절차 중 선택 화면 Load 절차

기' 버튼을 클릭 아래의 <그림 3-5>과 같이 계산 결과가 표시된다.



<그림 3-5> 계산 Form의 실행절차 중 계산결과화면 표시절차

위 그림들로 설명한 바와 같이 다른 계산 Form들도 유사한 방법으로 사용할 수 있다. 이러한 구성의 소프트웨어 프로그램으로써, 통계, 제품수명, 미방 등에 익숙하지 않은 현장의 담당자에게 분석/사용의 편리함과 결과의 이해/활용에 큰 도움을 줄 수 있다.

4. 결론

식품산업에서 제품수명 추정은 중요한 요소 중의 하나이다. 경쟁회사를 보다 먼저 시장을 확보하려면 제품 개발 시 빠른 시간 내에 제품 수명을 알아내야 한다. 본 논문에서는 개인용 컴퓨터를 활용하여 가속실험에 의한 결과 자료를 가지고 제품 품질저하에 관련된 여러

모수들을 추정하는 ‘가속실험 자료분석 소프트웨어’를 개발하였다.

가속실험 자료분석 소프트웨어 개발이 중규모 식품회사에게 다음과 같은 이점이 있다고 본다.

- (1) 제품개발 시 적정온도, 유통기한 등의 관련 모수들을 산출, 계산하는 것이 용이해짐.
- (2) 통계 비전문가인 담당자도 쉽게 사용.

본 연구에서 개발한 프로그램은 윈도우즈 환경에서 실행되는 풀-다운메뉴 방식의 프로그램으로 사용하기는 편하지만, 가속 수명 등에 관한 기본 지식이 없는 사용자에게 결과의 해석까지도 지원할 수 있는 사용자 위주의 대화형 프로그램으로 개발을 하는 추가적 연구가 앞으로 긴요하리라고 본다.

참고문헌

[1] 류근중, 강창욱, “수명의 양쪽규격을 고려한 정수중단 ALT 샘플링검사 계획”, *공업경영학회지* 제21권 제45집, 1998.

[2] 박병구, 윤상철, “수정 아레니우스 모형에서 가속수명시험에 대한 조건부 신뢰 구간”, *품질경영학회지* 제25권 제3호, 1997.

[3] 서순근, 김갑석, “Optimal Design of Accelerated Life Tests with Different Censoring Times”, *산업공학회지* 제24권 제4호, 1996.

[4] 서순근, 김갑석, 하천수, “브라운 운동을 따르는 열화현상을 이용한 일정스트레스 가속수명시험의 최적설계”, *산업공학회지* 제26권 제1호, 1998.

[5] 서순근, 정원기, “수명이 대수정규분포를 따를 때 연속 및 간헐적 검사하에서 가속수명시험의 설계와 소표본 연구”, *산업공학회지* 제 23권 제1호, 1997.

[6] 서순근, 조호성, “대수정규분포와 간헐적 검사하에서 가속수명시험방식의 설계”, *품질경영학회지* 제24권 제2호, 1996.

[7] 서순근, 최종덕, “지수고장분포 및 단속검사하의 최적가속수명시험의 설계”, *산업공학회지* 제17권 제1호, 1991.

[8] 윤원영, 정성기, “증가하는 스트레스에서의 최적가속수명시험”, *산업공학회지* 제19권 제2호, 1993.

[9] 원영철, “확률적 스트레스하에서 가속수명시험에 관한 연구”, *울산대학교 대학원 산업공학과 박사학위논문*, 1999.

[10] 이석훈, 박희창, “병렬 시스템의 부분적 가속수명검사를 위한 최적계획”, *품질경영학회지* 제24권 제4호, 1996.

[11] 이석훈, 박희창, 강현희, “환경 효과를 포함한 가속

수명검사 모형을 이용한 추론”, *응용통계연구* 제9권, 제2호, 1996.

[12] 장경, 이재하, “가속실험하에서 식품산업에서 선반수명의 추정”, *설비관리학회지* 제3권 제2호, 1998.

[13] 전영록, “지수수명분포에 대한 가속수명시험 샘플링 검사방식의 설계:제 II종 관측중단의 경우”, *품질경영학회지* 제23권 제4호, 1995.

[14] 정상욱, 배도선, “와이블 분포에서 부분가속수명시험의 초적설계”, *산업공학회지* 제24권 제3호, 1998.

[15] 주현규외 4인, *최신식품저장학*, 수학사, 1995.

[16] 한경수, 안정용, “MS-EXCEL과 Visual-Basic으로 개발한 통계적 공정관리 소프트웨어”. *품질경영학회지* 제24권 제2호, 1996.

[17] 황선진, 김병수, “Universal motor 가속시험에 관한 연구”, *대한산업공학회 98 추계학술대회*, 1998.

[18] Ahmad, N., Islam, A., “Optimal accelerated life test designs for Burr Type XII distributions under periodic inspection and Type I censoring”, *Naval Research Logistics* Volume 43, Number 8, 1996.

[19] Bai, D. S., Lee, N. Y., “Nonparametric-Estimation for Accelerated Life Tests Under Intermittent Inspection”, *Reliability Engineering and System Safety* Volume 54, Number 1, 1996.

[20] Boulanger, M., Escobar L. A., “Experimental-Design for a Class of Accelerated Degradation Tests”, *Technometrics* Volume 36, Number 3, 1994.

[21] Boychinova, N., Filev, V., Michev, O., “Some aspects of IC reliability estimation through accelerated life tests”, *Microelectronics and Reliability* Volume 31, Number 6, 1991.

[22] Conti, P. C., Marchisio, L., Tinet, G. C., “Performances and Reliability of HEMTs-State-of-the-Art and Experimental-Analysis”, *Microelectronics and Reliability* Volume 32, Number 11, 1992.

[23] Dimitrov, S., “Conception for reliability prediction and estimation of MOS intergrated circuits”, *Microelectronics and Reliability* Volume 30, Number 1, 1990.

[24] Glaser, R. E., “Estimation for a Weibull Accelerated Life Testing Model”, *Naval Research Logistics* Volume 31, Number 3, 1984.

[25] Hirose, H., “Estimation of threshold stress in accelerated life-testing”, *IEEE Transactions on Reliability* Volume42, Number 4, 1993.

[26] Hirose, H., “Mixture model of the the power

- law", IEEE Transactions on Reliability Volume 46, Number 1, 1997.
- [27] Islam, A., Ahmad, N., "Optimal-Design of Accelerated Life Tests for the Weibull Distribution Under Periodic Inspection and Type-I Censoring", Microelectronics and Reliability Volume 34, Number 9, 1994.
- [28] Kvam, P. H., Samaiego, F. G., "Life testing in variably scaled environments", Technometrics Volume 35, Number 3, 1993.
- [29] Luvalle, M. J., "Experiment design and graphical analysis for checking acceleration models", Microelectronics and Reliability Volume 33, Number 5, 1993.
- [30] Maciejewski, H., "Accelerated life test data analysis with generalized life distribution function and with no aging model assumption", Micro - electronics and Reliability Volume 35, Number 7, 1995.
- [31] Meeker, W. Q., LuValle, M. J., "Accelerated life test model based on reliability kinetics", Technometrics Volume 37, Number 2, 1995.
- [32] Mohamed, M., "Exchange of censorship types and its impact on the estimation of parameters of a Weibull regression model", IEEE Transactions on Reliability Volume 44, Number 3, 1995.
- [33] Toledo, R. T., *Fundamentals of Food Process Engineering*, Van Nostrand Reinhold, Second Edition. 1991.