

확률 모형을 이용한 콩나물 무침의 미생물적 품질 변화 예측

박진표¹

¹경남대학교 컴퓨터공학부

접수 2010년 7월 24일, 수정 2010년 9월 11일, 게재확정 2010년 9월 15일

요약

냉장 조리 개념으로 가공되어 유통되는 한국 고유 식품에 대해서 다양한 조건에서의 안정성을 평가하여 안전한 저장 및 유통 조건을 찾고, 조건별 저장기한의 설정 방법을 찾고자한다. 이를 위해 한국 고유 식품 중에 냉장 조리 개념으로 가공되어 유통되는 콩나물 무침의 품질 변화에 영향을 많이 미치는 미생물적인 변화를 예측하기위해서, 콩나물 무침에 오염된 초기 균수에 대한 확률분포를 예측하였다. 그리고 저장 중 식품품질 변화를 예측하기 위해서 콩나물 무침을 0, 5, 10 그리고 15°C에서 1-5일간 저장하였을 때 증식한 미생물 수에 대한 붓스트랩 신뢰구간을 구하였다.

주요용어: 냉장 조리, 미생물 수, 붓스트랩 신뢰구간, 한국 식품.

1. 서론

사회적 여건이 다양하게 변화함에 따라 우리의 식생활에서 cook-chill 개념으로 가공되어 유통되어지는 한국 고유의 식품은 그 종류가 점점 증가하며 그 중요성이 증가하고 있다. 또한 미래의 IT 환경 하에서 한국 고유 식품의 효율적인 냉장유통 관리를 위해서는 저장 중 품질변화에 대한 정보가 체계적으로 정리되어 있어야 한다. 즉, 실시간으로 작동하는 고속정보망의 컴퓨터 네트워크의 의사결정구조에 식품 모델 정보로서 냉장식품의 저장안정성과 품질변화예측 모델이 정립되어져서 제공되어야 한다. 하지만 이러한 냉장조리 한국식품의 저장과 유통에 대해서 최근까지 큰 관심이 부여되거나, 체계적인 연구가 이루어지지 못하였다.

냉장 저장 식품의 품질변화로는 물리화학적 요소, 미생물학적 요소, 관능적 요소로 구성된다 (Brown, 1992). 특히 미생물학적 품질변화는 냉장 식품의 안전성과도 관계되므로 이에 대한 정확한 파악과 평가가 필요하다. 이러한 다양한 식품의 품질변화특성을 정량적으로 표현하고 예측하기 위하여 화학반응속도론이나 예측미생물학과 같은 kinetics이론이 사용될 때, 많은 유용한 점을 제공할 수 있다. 수학적인 모델링 기법을 적용함에 의하여 여러 조건에서의 품질변화를 표시할 수도 있고, 또 가능한 저장조건에서의 품질변화를 예측할 수도 있다 (Blackburn, 2000). 또한 동일한 식품이라도 그 자체가 갖는 다양성이 많기 때문에 초기 품질 및 저장성 등에서의 차이들을 통계적인 분포로 정립하고, 신뢰성의 구간을 확인할 필요가 있다. 최근에는 초기 오염 미생물분포의 차이가 미생물 생육에 미치는 영향에 대하여 연구가 이루어지고 있으며, 변화하는 다양한 온도 및 환경조건하에서 미생물 증식을 모델링하려는 연구가 이루어지고 있다. 또한 여러 가지 확률 모형을 이용하여 식품산업체에서 생산되는 식품에 오염된 미생물 수를 분석하는 연구가 많이 이루어지고 있다 (Corradini 등, 2001; 박경진 등, 2003; Kim 등, 2003; Lee 등, 2007).

¹ (631-701) 경남 창원시 마산 합포구 월영동 449번지, 경남대학교 컴퓨터공학부, 교수.
E-mail: jppark@kyungnam.ac.kr

이러한 점에서는 냉장식품의 저장수명을 결정하고, 안전한 저장조건을 제시하고 관리하기 위해서는 식품공학, 미생물학적, 통계학적 분야의 협력에 의한 데이터의 생산과 모델의 확립이 요구된다. 특히 저장 중 품질변화에 대한 기초 데이터의 축적이 부족한 냉장조리 한국 고유 식품에 대해서는 이러한 필요는 더욱 강조된다.

따라서 본 연구는 cook-chill 개념으로 가공되고 유통되는 한국 고유 식품에 대해서 다양한 조건에서의 저장 안정성을 평가하여 안전한 저장 및 유통 조건을 정립하고, 조건별 저장기한의 설정 방법을 개발하고자 한다. 이를 위해서 한국 고유 식품 중에서 콩나물 무침을 재료로 선택하였다. 콩나물 무침의 품질 변화에 영향을 미치는 초기 오염 미생물 분포를 찾았다. 또한 변화하는 다양한 온도에서 증식하는 미생물 수에 대한 신뢰구간을 예측하였다. 예측된 확률분포와 신뢰구간을 이용하여 미생물의 품질 변화와 가능한 저장 수명을 예측 하고자한다.

2. 재료 및 분석 방법

냉장 조리 식품의 품질 변화에 영향을 끼치는 여러 요인 중에 미생물학적인 품질변화의 영향을 예측하기 위해서 냉장조리식품인 콩나물 무침을 시료로 선택하였다. 콩나물 무침은 삶은 콩나물 (1000g), 다진 마늘 (19g), 소금 (24g), 깨소금 (8g) 그리고 참기름 (18g)으로 조리되었다. 콩나물 무침의 초기 미생물 오염도를 조사하기 위해서 마산에 있는 대형마트에서 판매되는 콩나물 100g씩 매일 구입하여 실험실로 옮겨서 실험을 실시하였다.

처음 콩나물 무침을 0, 5, 10 그리고 15°C 일정한 온도에 저장하였다. 100g의 콩나물 무침을 폴리스티렌 쟁반에 넣고, 폴리스티렌 필름으로 봉하였다. 이 100g의 콩나물 무침으로부터 시료를 20g씩 3번 추출하였다. 추출 된 20g에 멸균된 펩톤 (peptone) 수를 넣고 무균 상태에서 시료를 분쇄하였다. 분쇄 된 시료를 배지에 도말하여, 배지에 자란 균수를 측정하였다. 측정된 균수는 log CFU/g으로 표시되었다. 조사된 자료는 Lee (2007)에 의해서 보고되었다.

최근 실제 몇몇 식품에 오염된 일반세균 수에 대해서 확률분포를 활용하여 해석하는 방법론이 제안되었다 (Nussinovich 등, 2000; Peleg 등, 2000).

초기 오염된 미생물 수에 적합한 확률분포를 찾기 위해서 @RISK 4.5 (Palisade Co. USA)를 이용하였다. 초기 균수에 가장 적합한 분포를 찾기 위해서 카이제곱 통계량의 p-값을 이용하였다. 그러나 p-값은 관측된 자료의 분포와 적합된 분포 사이에 어느 정도의 오차가 있는 지를 파악하기는 힘들다. 이러한 문제를 보완하기 위해서 세 가지 종류의 적합도그림 (goodness-fit plots)을 이용하였다.

각 온도 (5, 10, 15°C)에서 며칠 보관 후 증식한 미생물 수의 평균에 대한 신뢰구간을 구하기 위해서 모집단의 분포에 대한 가정이 없어도 신뢰구간 구축이 가능한 붓스트랩 방법인 BCa (Bias Corrected and accelerated)방법을 이용하였다. BCa 방법은 Efron (1993)에 의해 제안된 방법으로 모수의 함수에 대해서 간단하게 적용될 수 있다. 다른 방법과 비교하면 더 정확한 신뢰구간을 구할 수 있다. 대부분 실제 연구에서 분포에 대한 가정이 잘 맞지 않거나 확인을 할 수 없는 어려움이 많다. 따라서 비모수적인 방법인 붓스트랩 방법이 실제 연구에 많이 사용되고 있다 (권오진 등, 2010; 이재영 등, 2004).

3. 초기 미생물 균수의 확률분포

미생물 수의 변화는 여러 요인에 영향을 받는다. 동일한 원료로부터 만들어 지는 제품도 로트별 일별로 다양하게 나타난다. 그림 3.1은 콩나물 무침에 오염된 초기 미생물 수에 대한 일별 분포를 상자 그림으로 나타 낸 것이다. 그림 3.1에서 보듯이 콩나물 무침에 오염된 세균에 대한 분포가 다양하게 나타났다. 최근에 미생물 수의 변화를 예측하기위해서 확률분포를 활용하고 있다. 미생물 수에 대한 확률분포

는 삼각분포, 와이블분포, 일반베타분포, 로그정규분포, 정규분포, 로지스틱분포 등 많은 후보 분포들이 있다 (Corradini 등, 2001).

여러 가지 후보 분포 중에서 콩나물 무침에 초기 오염된 미생물 수에 가장 적합한 분포를 찾기 위해서 카이제곱 통계량의 p-값의 크기에 따라 적합한 분포의 순위를 결정하였다. 카이제곱 통계량의 p-값이 크면 클수록 적합도는 높다. 그러나 p-값을 이용하여 적합한 분포를 선정 했을 경우에 관측된 자료의 분포와 적합한 분포 사이에 어느 정도의 오차가 있는 지를 파악하기는 힘들다. 이러한 문제를 보완하기 위해서 세 가지 종류의 적합도그림을 이용하였다.

그림 3.2는 관측된 초기 오염된 미생물 수의 히스토그램과 적합한 분포의 확률밀도함수를 겹쳐서 그린 그림이다. 이 그림은 히스토그램이 적합한 분포에 어느 정도 적합한가에 대한 시각적인 정보를 제공한다. 특히 어떤 특정한 구간에서 적합한 분포가 관측된 자료에 적합한지를 나타낸다. 이 그림에서 히스토그램과 적합한 분포 사이에 차이가 작으면 작을 수록 적합도가 높다.

그림 3.3은 그림 3.2에서 히스토그램과 적합한 분포 사이의 오차를 그래프로 나타낸 것이다. 이 그림은 그래프가 0을 중심으로 가깝게 위치하면 할수록 적합도가 높다.

그림 3.4는 초기 미생물 분포의 백분위수와 적합한 분포의 백분위수를 그래프로 나타낸 Q-Q그림이다. 이 그림이 기울기가 1인 직선에 가까우면 가까울 수록 적합도가 높다. 그림 3.4에는 Q-Q 그림의 추세가 기울기가 1인 직선에 어느 정도 가까운가를 시각적으로 나타내기 위해서 직선을 겹쳐서 나타내었다. 분석의 결과를 보면 콩나물 무침에 오염된 초기 균수 (log CFU/g)의 확률분포가 Triang (3.2520, 4.4983, 5.0407)분포로 적합 되었을 때 카이제곱통계량의 p-값이 0.3879로 다른 후보 분포에 비해 가장 컸다. 또한 그림 3.2와 그림 3.3을 살펴보면 초기 균수의 히스토그램이 Triang (3.2520, 4.4983, 5.0407)와 가장 잘 적합한 것으로 나타났다. Q-Q그림의 선형의 정도를 나타내기 위해서 초기 균수 분포의 백분위수와 Triang (3.2520, 4.4983, 5.0407)분포의 백분위수 사이에 상관계수가 0.997105로 1에 가깝다. 또한 Q-Q 그림의 추세가 기울기가 1인 직선에 아주 가깝게 나타났다. 위에서 분석한 여러 가지 결과를 종합해본 결과 초기 균수의 분포로 삼각분포가 가장 적합한 것으로 나타났다. 이 분포의 확률밀도함수는 다음과 같이 주어진다.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x - \min)}{(m.\text{likely} - \min)(\max - \min)}, & \text{for } \min \leq x \leq m.\text{likely} \\ \frac{2(\max - x)}{(\max - m.\text{likely})(\max - \min)}, & \text{for } m.\text{likely} \leq x \leq \max \end{cases} \quad (3.1)$$

여기서 $f(x)$ 는 초기 오염된 미생물 수 (log CFU/g)의 확률밀도함수이다. \min 은 최소값을 나타내는 모수이고, \max 는 최대값을 나타내는 모수값이다. 그리고 $m.\text{likely}$ 는 최빈값을 나타내는 모수이다. 이 분포의 평균, 분산, 왜도는 다음과 같이 주어진다.

$$\text{Mean} = \frac{\min + m.\text{likely} + \max}{3}, \quad (3.2)$$

$$\text{Var} = \frac{\min^2 + m.\text{likely}^2 + \max^2 - \max \cdot m.\text{likely} - m.\text{likely} \cdot \min - \max \cdot \min}{18}$$

$$\text{Skewness} = \frac{2\sqrt{2}f(f^2 - 9)}{5(f^2 + 3)^{3/2}}, \quad \text{여기서 } f = \frac{2(m.\text{likely} - \min)}{\max - \min} - 1$$

또한 첨도는 2.4 그리고 최빈값은 $m.\text{likely}$ 로 알려져 있다.

표 3.1에는 초기 균수의 분포와 삼각분포의 평균, 2.5%-분위수, 중앙값, 97.5%-분위수, 최대값, 표준편차, 왜도 그리고 첨도 값을 정리하였다. 이 확률 분포를 이용해서 콩나물 무침의 품질 변화에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있다.

표 3.1 초기 균수의 분포와 적합된 분포의 통계량 비교

	적합된 분포	초기 균수의 분포
평균	4.2637	4.2628
최소값	3.2520	3.3802
2.5%-분위수	3.4488	3.4770
중앙값	4.3078	4.3636
97.5%-분위수	4.8850	4.8750
최대값	5.0407	4.9890
표준편차	0.3744	0.4021
왜도	-0.3514	-0.3984
첨도	2.4000	2.1887

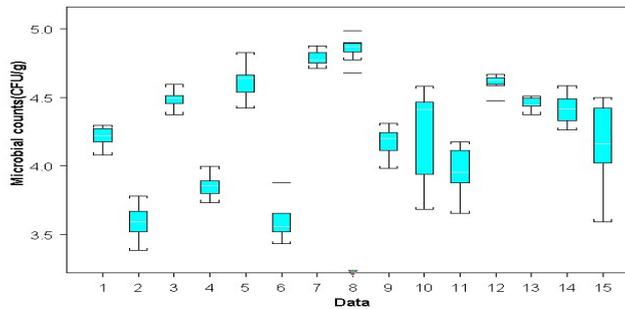


그림 3.1 초기 균수의 상자그림

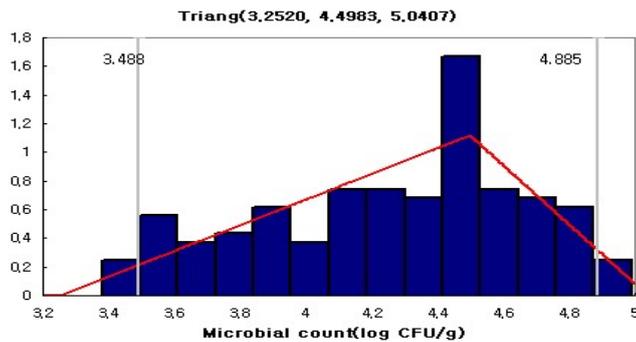


그림 3.2 적합된 확률분포와 초기균수의 히스토그램 분포를 겹쳐 그린 그림 (두 수직선은 적합된 분포의 2.5%-분위수와 97.5%-분위수를 나타낸다.)

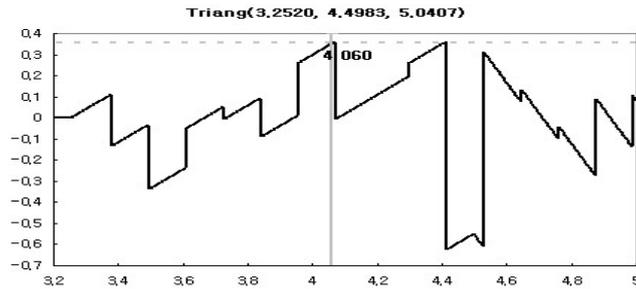


그림 3.3 초기균수의 히스토그램 분포와 적합된 확률분포 사이의 오차 그림 (수직선은 두 분포의 오차의 크기를 나타냄)

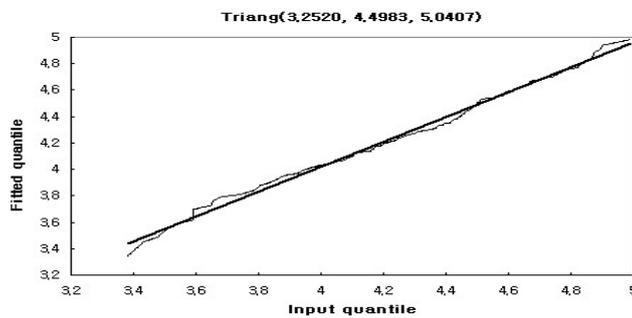


그림 3.4 Q-Q 그림

4. 붓스트랩 신뢰구간

콩나물 무침이 각 온도 (0, 5, 10, 15oC)에서 1-5일간 보관된 후 증식한 미생물 수에 대해 붓스트랩 방법을 이용하여 신뢰구간을 계산하여, 저장수명과 안전한 저장 조건을 조사하고자한다. 여기서 적용되는 방법은 BCa 방법으로 각 표본별로 B=3000번 실시하였다. 다음과 같은 절차에 의해서 각 평균에 대한 신뢰구간이 계산된다.

단계 1: 각 조건에서 관측된 균수 x_1, \dots, x_n 을 이용하여 표본평균 ($\hat{\theta}$)을 계산한다.

단계 2: 관측된 균수를 이용하여 잭나이프 추정량 (Jackknife estimate)을 만든다. 즉 원래 표본에서 i 번째 관측값 x_i 를 제외한 나머지로부터 얻은 추정량

$$\hat{\theta}_{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{i-1} x_j + \sum_{j=i+1}^n x_j}{n-1} \text{ 과 } \hat{\theta}_{(.)} = \frac{\sum_{j=1}^n \hat{\theta}_{(j)}}{n} \tag{4.1}$$

을 구한다.

단계 3: 단계 2에서 구한 $\hat{\theta}_{(i)}$ 와 $\hat{\theta}_{(.)}$ 을 이용하여 acceleration

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(.)} - \hat{\theta}_{(i)})^3}{6[\sum_{i=1}^n (\hat{\theta}_{(.)} - \hat{\theta}_{(i)})^2]^{3/2}} \tag{4.2}$$

를 계산한다.

단계 4: 균수로부터 독립적으로 B=3000회 반복하여 붓스트랩 표본을 만들고, 각 붓스트랩표본으로

부터 평균 $(\hat{\theta}_{(1)}^* \cdots \hat{\theta}_{(3000)}^*)$ 을 계산한다. 그리고 3000개의 평균을 크기 순서대로 나열한다. 그리고 biascorrection

$$\hat{z}_0 = \Phi^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^B I(\hat{\theta}_{(i)}^* - \hat{\theta})}{B} \right) \tag{4.3}$$

를 계산한다. 여기서 $\Phi^{-1}(\cdot)$ 는 표준정규누적분포의 역함수이다.

단계 5: 3,4단계에서 계산한 \hat{a} 과 \hat{z}_0 를 이용하여

$$\alpha_1 = \Phi \left(\hat{z}_0 + \frac{\hat{z}_0 + z(\alpha/2)}{1 - \hat{a}(\hat{z}_0 + z(\alpha/2))} \right), \alpha_2 = \Phi \left(\hat{z}_0 + \frac{\hat{z}_0 + z(1-\alpha/2)}{1 - \hat{a}(\hat{z}_0 + z(1-\alpha/2))} \right) \tag{4.4}$$

를 계산한다. 여기서 $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규 분포의 누적분포함수이다. 그리고 $z(\alpha)$ 는 표준정규분포의 α 100%분위수이다.

단계 6: 순서화 된 3000개의 평균을 이용하여 미생물 수의 평균에 대한 $(1 - \alpha)$ 100% 신뢰 구간 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(\hat{\theta}^{*(\alpha_1)}, \hat{\theta}^{*(\alpha_2)}) \tag{4.5}$$

표 4.1는 0, 5, 10 그리고 150C에서 콩나물 무침을 1-5일간 저장했을 때 증식하는 미생물 수의 평균에 대해 붓스트랩 방법을 통한 95%신뢰구간과 실제 관측된 미생물 수의 평균을 나타낸 것이다. 아래 결과를 보면 00C에서 콩나물 무침을 2일간 보관 했을 때 증식한 미생물 수의 평균은 신뢰계수 95%로 4.329에서4.587사이에 존재한다고 할 수 있다. 이러한 정보를 이용하여 콩나물 무침의 저장 수명과 안전한 저장 조건을 얻을 수 있다.

표 4.1 오염된 미생물 수의 신뢰구간

Temperature (0C)	Times (days)	lower bound	microbial counts mean	upper bound
0	2	4.329	4.466	4.587
	5	5.111	5.131	5.153
5	1	5.152	5.280	5.419
	2	5.956	5.993	6.028
	3	6.982	7.009	7.036
	4	7.601	7.694	7.789
	5	8.009	8.094	8.175
10	1	5.657	5.702	5.741
	2	7.049	7.141	7.239
	3	8.724	8.798	8.878
	4	9.569	9.634	9.705
	5	9.683	9.710	9.738
15	1	6.770	6.805	6.845
	2	8.869	8.896	8.925
	3	9.639	9.675	9.709
	4	10.237	10.326	10.423
	5	10.508	10.568	10.629

5. 결론

cook-chill 개념으로 가공되고 유통되는 한국 고유 식품에 대해서 여러 조건하에서 품질변화를 예측하기 위해서 확률모형을 적용함으로써 다양한 조건에서의 식품품질 변화를 예측할 수 있다. 또한 동일한

식품이라도 그 자체가 갖는 다양성이 많기 때문에 초기 품질 및 저장성 등에서의 차이를 통계적인 분포로 정립하고, 신뢰성의 구간을 구축할 필요가 있다.

본 연구에서는 cook-chill 개념으로 가공되어 유통되어지는 대표적인 한국 고유 식품인 콩나물 무침에 오염된 초기 미생물 수에 대한 확률분포를 예측하였다. 또한 콩나물 무침을 0, 5, 10 그리고 150C에서 1-5일간 저장했을 때 증식하는 미생물 수의 평균에 대해 95%신뢰구간을 구하였다. 예측된 확률분포와 신뢰구간을 적용하여 유용한 정보를 도출해 낼 수 있다. 도출된 정보는 식품의 위해성평가 (risk assessment)에서도 유용한 도구로 사용할 수 있다. 예상되는 위해 (risk)를 예측하여 필요한 예방조치를 취하는데도 이용 할 수 있다. 또한 이러한 정보의 축적은 식품의 생산과 저장 그리고 유통 등 소비의 전 과정에서 품질을 정량적으로 관리 할 수 있는 종합적인 전문가 시스템을 구축 하는데 사용 될 수 있다.

참고문헌

- 박경진, 김성조, 심우창, 천석조, 최원상, 홍중해 (2003). 식품산업체에서 확률분포 모델을 이용한 불규칙적인 미생물 수 분포 활용. <한국식품위생안전성학회지>, **18**, 237-280.
- Blackburn, C. W. (2000). *Modeling shelf life*. In: *The stability and shelf-life of food*, Kilcast, D., Subramaniam, P. (ed), Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 55-78.
- Brown, H. M. (1992). *Shelf-life determination and challenge testing*. In: *Chilled foods*, Dennis, C. and Stringer, M. (ed), Ellis Horwood, NY, USA, 289-307.
- Corradini, M. G., Normand, M. D., Nussinovitch, J., Horowitz, J. and Peleg, M. (2001). Estimating the frequency of high microbial counts in commercial food products using various distribution functions. *Journal of Food Protection*, **64**, 674-681.
- Efron B. and Tibshirani, R. (1993). *An introduction to bootstrap*, Chapman Hall.
- Kim, G. T. Ko, T. D. and Lee, D. S. (2003). Shelf life determination of korean seasoned side dishes. *Food Science and Technology International*, **9**, 257-263.
- Kwon, O. J, Kim, T. Y. and Song, K. M. (2010). Confidence interval forecast of exchange rate based on bootstrap method. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, **21**, 493-502.
- Lee, D. S., Hwang K. J., An D. S., Park J. P. and Lee, H. J. (2007). Model on the microbial quality change of seasoned soybean sprouts for on-line shelf life prediction. *International Journal of Food Microbiology*, **118**, 285-293.
- Lee, J. Y, Kim, M. J. and Lee, Y. W. (2004). A major DNA maker of BM4311 microsatellite locus in hanwoo chromosome 6 using the bootstrap BCa method. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, **15**, 41-47.
- Lee, J. Y., Lee, Y. W. and Kim, M. J. (2004). Bootstrap analysis of ILSTS035 microsatellite locus in hanwoo chromosome 6. *Journal of Korean Data & Information Science Society*, **15**, 75-81.
- Nussinovitch, A., Curasso, Y. and Peleg, M. (2000). Analysis of the fluctuating microbial counts in commercial raw milk-A case study. *Journal of Food protection*, **63**, 1240-1247.
- Peleg, M. and Nussinovitch, A. (2000). Analysis of the fluctuating patterns of microbial counts in frozen industrial food products. *Food Research International*, **33**, 53-62.
- @ Risk (*advanced risk analysis for spreadsheets*) (2005). Palisade Co. USA.

Estimating variation in the microbiological quality of seasoned soybean sprouts using probability model

Jin Pyo Park¹

¹Department of Computer Engineering, Kyungnam University

Received 24 July 2010, revised 11 September 2010, accepted 15 September 2010

Abstract

This study aims to establish storage stability conditions for cook-chilled korean ethnic foods. In order to achieve this aims, we establish a probability model of microbial counts of cook-chilled korean side dishes product-seasoned soybean sprouts. And seasoned soybean sprouts were stored during 1 to 5 days under constant temperature conditions at 0, 5, 10 and 150C. Next we find confidence intervals for variation in the microbiological quality of seasoned soybean sprouts.

Keywords: Bootstrap confidence interval, cook-chill, korean ethnic food, microbial counts.

¹ Professor, Department of Computer Engineering, Kyungnam University, Masanhappo-gu, Changwon-si 631-701, Korea. E-mail: jppark@kyungnam.ac.kr