

ATP와 APC 간의 관련성 규명을 위한 최적의 변수변환법에 관한 연구

문혜경¹ · 신재경² · 김양숙³

¹창원대학교 자연과학대학 식품영양학과 · ²창원대학교 자연과학대학 통계학과 ·
³창원 반동초등학교

접수 2016년 8월 24일, 수정 2016년 9월 23일, 게재확정 2016년 10월 10일

요약

안전한 급식을 위해서는 식중독사고와 연관성이 있는 미생물의 위해요소들이 실시간적으로 모니터링 되고 통제되어야 한다. 선진국에서는 실시간 위생 모니터링 도구로 ATP (adenosine triphosphate) Luminometer를 활용한 사례가 여러 건 보고되었다. ATP analyser는 ATP bioluminescence (생물발광성)의 원리를 이용하여 RLU (relatively light unit) 값으로 위생수준을 간접적으로 측정할 수 있게 해준다고 알려져 있다. 이에 국내 급식산업에서도 이를 활용할 수 있도록 조리도구들을 대상으로 일반세균수 (aerobic plate count; APC)와 RLU 간에 상관성이 존재하는지를 확인할 필요성이 제기 되었다. 본 연구는 급식소의 조리도구 표면에 사전 처리없이 ATP (RLU)와 APC (CFU)를 측정하여 상관관계 존재 여부 파악 및 이들 관계의 최적인 모델을 찾아보고자 하였다. 이들에 대한 분석 결과를 조리도구별로 요약하면 다음과 같다. 도마, 칼, 국그릇 (스텐), 식판 (카보) 자료는 1차 변환의 로그변환이, 컵 자료는 2차 변환의 제곱근-역변환 (혹은 역-제곱근변환)이, 국그릇 (카보) 자료는 2차 변환의 제곱근-제곱근변환이 표준화 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 가장 좋게 나타났으나 식판 (스텐) 자료는 원자료, 1차 변환 및 2차 변환 모든 경우에서 정규성을 만족하지 못하여 이변 자료에서는 최적인 경우를 찾을 수가 없었다.

주요용어: 변환자료, 유의확률, 정규성 검정, aerobic plate count, adenosine triphosphate.

1. 서론

안전한 급식을 위해서는 식중독사고와 연관성이 있는 미생물의 위해요소들이 실시간적으로 모니터링 되고 통제되어야 한다. 그러나, 실제 작업현장에서는 미생물적 위해요소들을 관리하기 위한 작업도구 및 환경의 위생수준에 대한 모니터링이 제대로 수행되지 못하는 실정이다. 선진국에서는 실시간 위생 모니터링 도구로 ATP (adenosine triphosphate) bioluminescence (생물발광성) 원리에 의한 ATP Luminometer를 활용한 사례가 여러 건 보고되었다. 하지만 국내 급식현장에서는 작업도구 및 환경의 위생수준에 대한 모니터링이 아직도 육안검사만으로 이루어지는 경우가 대부분이다. 이 경우, 세척·소독이 잘못된 방법으로 수행되었다 하더라도 이를 육안으로 판단할 수 없어 위해요소들이 그대로 방치되는 경우가 발생할 수 있다.

¹ (51140) 경남 창원시 의창구 창원대학교 20, 창원대학교 식품영양학과, 교수.

² 교신저자: (51140) 경남 창원시 의창구 창원대학교 20, 창원대학교 통계학과, 교수.

E-mail: jkshin@changwon.ac.kr

³ (51783) 경남 창원시 마산합포구 구산면 해양관광로 1460-14번지, 반동초등학교, 영양교사.

ATP analyser는 고감도 생물발광법 (Bioluminescence assay) 원리를 이용한 측정기로 살아있는 세포의 ATP 분해과정에서 방출되는 빛 (ATP-bioluminescence)을 측정함으로써 미생물이 가지고 있는 ATP를 통해 세균수를 간접적으로 측정하는 기기로 이때 방출되는 빛을 RLU (relatively light unit, 생물발광단위)라고 한다. 모든 살아 있는 세포는 대사 작용에 이용되는 에너지의 근원인 ATP를 지니며, 미생물 오염이 증가 할수록 상대적으로 ATP함량도 증가하므로 ATP 함량을 측정함으로써 오염 미생물의 수를 가늠할 수 있다.

일반적으로 청결상태를 판정하기 위해 시행되는 미생물 검사의 가장 기본은 APC (aerobic plate count)로 일반세균수를 지칭하며 측정단위를 CFU (colony forming unit)라고 한다. 미생물 검사에서는 세균수만을 위생의 척도로 하는 반면 ATP-bioluminescence techniques는 세균뿐만 아니라 비 미생물 (흙, 부스러기, 세척제 등)과 생산물의 찌꺼기에 대해서도 영향을 받기 때문에 폭 넓게 오염도를 파악할 수 있으며, 실시간적으로 측정할 수 있어 미생물의 성장을 미리 막을 수 있는 장점을 지닌다.

ATP-bioluminescence assay는 식품공장에서 신속한 청결도 모니터링 수단으로 널리 이용되며 이외에도 미생물이 존재하거나 관여하고 있는 각종 sample (fermented liquor, activated sludge, starter culture)에 있어 미생물의 측정 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. ATP-bioluminescence assay를 이용한 돈육, 우유의 미생물적 품질검사에 관한 연구(Werlein과 Fricke, 1997)가 다수 보고되고 있으며 우유 (Bell 등, 1996), 무균 포장된 주스(Ryan, 1996)등 식품산업 전반에 걸쳐 그 이용도가 증대되고 있다 (Turantas, 1996). ATP 분석은 표준평판법의 대체 방법으로도 이용될 수 있다고 보고되었고 (Bautista 등, 1995), Marena 등 (2002)은 손에서의 CFU와 ATP기록 사이에 유의적인 상관성이 있다고 보고하였다.

일반적으로 이전의 연구들은 실험실의 통제된 상황에서 시행된 결과로 실제 급식현장과는 차이가 있을 수 있다. Kim 등 (2010)은 2009년 창원 시 소재 단채급식소에서 사용한 칼, 도마, 고무장갑의 표면을 대상으로 사전 처리 없이 ATP luminometer와 일반 세균수용 건조필름을 이용한 미생물 배양법을 동시에 적용하는 연구를 수행하였다. 3가지 조리도구의 ATP (RLU)와 APC (CFU)를 측정해 분석한 결과에서는 정규성을 만족하지 않았지만 이들 값을 모두 로그변환한 후 분석한 결과 ATP와 APC 사이에는 유의적인 상관성이 존재하는 것으로 나타났다. Kim 등 (2009)도 호텔 주방을 대상으로 한 위생실태 조사결과와 ATP 측정값 간에 높은 상관성이 있음을 보고하였다. Seo 등 (2011)은 노인복지시설 급식소를 대상으로 한 ATP 측정이 청결도 판정, 기준치 초과 시 실시간적 위생지도 및 이를 통한 종사자 위생의식 제고에 큰 도움이 된다고 보고한 바 있다. 한 어린이급식관리지원센터에서는 보육교사를 대상으로 배식위생교육 실시 전후에 6개 항목 (정수기 물, 정수기 꼭지, 식사 테이블, 반차 집게, 배식 자 손, 피 급식 자 손)을 대상으로 ATP를 측정하며 교육 후의 ATP가 6개 항목 모두에서 교육 전에 비해 유의적으로 감소해 미생물학적 품질이 향상되었음을 보고한 바 있다 (Seo와 Jeon, 2015). 이처럼 ATP 측정은 주관적 육안 위생 점검을 보완하거나 위생교육 효과를 높이기 위한 방법으로써 향후 식품취급 현장 활용도는 지속적으로 증가하리라고 사료된다.

식품영양과 통계이론을 접목한 연구로는 Jo와 Chang (2013)은 체지방 반복측정자료에 대해 연구하였으며, Hwang 등 (2015)은 사찰 음식의 대중화에 대한 인식도를 연구하였으며 그리고 Lee (2015)는 전통 떡에 대한 인지도 등과 구매의도와와의 관련에 대해 연구하였다.

본 연구에서의 조사대상 급식소의 도마, 칼, 컵, 국그릇 (스텐), 국그릇 (카보네이트; 이하 카보), 식판 (스텐) 및 식판 (카보)에 대한 이전의 연구 (Kim 등, 2010)에서는 통계적으로 상관성에 관한 연구나 회귀분석의 경우에는 정규성을 만족하지 않거나 CFU와 RLU사이에 상관계수가 높지 않은 경우에 일반적으로 로그 변환을 한 후 분석하였으며 RLU값에 영향을 주는 다양한 독립변수들이 있을 수 있으나, 세균증식정도를 간편하게 측정할 수 있고 일반적으로 현재 식품 취급 현장에서 많이 사용되고 있는 CFU의 한 가지 독립변수로만 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 통계적으로 로그 변환 이외 다른 변환

을 적용하고 1차 변환의 결과를 바탕으로 2차 변환까지 시도하여 가장 적절한 모형을 찾아보고자 한다.

2. 연구 방법

2.1. 시료채취 장소

2009년도 창원시 소재 학교급식소 5개소와 산업체 급식소 8개소를 대상으로 시료를 채취하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 식품접촉표면의 ATP의 RLU값 측정

측정에 사용된 조리도구는 도마, 식판 (스텐, 카보), 국그릇 (스텐, 카보), 칼, 컵으로 조리도구에 남아 있는 미생물 및 식품잔유물의 ATP값을 측정하기 위하여 Clean-Trace™ Surface ATP (3M Co., Saint paul, MN, USA)를 이용하여 일정면적을 swab하였다. 이를 Clean-Trace™ NG Luminometer (3M Co, Loughborough, UK) 기기에 넣어 RLU 값을 측정하였다.

2.2.2. 식품접촉표면의 일반세균수의 CFU값 측정

일반 세균수를 측정하기 위해 ATP luminometer용 검체 채취 시 사용한 동일한 도마, 칼, 컵, 국그릇 (스텐), 식판 (스텐), 국그릇 (카보), 식판 (카보) 내부를 e-swab (3M Co., Shanghai, China)을 이용하여 채취하였다. 단, ATP 측정을 위해 swab된 부분은 일반세균수에 영향을 줄 수 있으므로 ATP 측정 시 사용된 부분의 가장 인접한 부위의 동일한 면적을 채취하였다. 채취된 시료는 0.1%의 peptone water (Difco, Sparks, USA)를 이용하여 원하는 희수배수로 희석시킨 후, 1mL을 취해 일반세균수 측정용 건조필름인 3M Petrifilm™ aerobic plate count (3M Co., Saint paul, MN, USA)에 접종하였다. 항온조로 옮겨 $35\pm 1^\circ\text{C}$ 에서 24시간 배양하고 30~300개의 붉은색 집락이 형성된 필름을 선택하여 3M Petrifilm™ Reader (3M Co., Saint paul, USA)로 계수함으로써 CFU 값을 얻었다.

3. 연구 결과 및 해석

3.1. 자료 구분 및 변수 변환

먼저 7가지의 조리도구들에 대한 기술통계량과 표본 수를 Table 3.1에 나타내었다.

Table 3.1 Descriptive statistics for cooking utensils data

Item	N	ATP (RLU)		APC (CFU)	
		Mean	Sd	Mean	Sd
Cutting board	71	30942.20	107462.87	39516.29	99906.94
Knife	68	22212.01	90846.47	10382.79	50998.01
Cup	64	1647.20	3587.63	40296.80	272829.24
Soup bowl (stainless)	64	481.66	1156.28	2501.25	16254.45
Tray (stainless)	48	939.60	1789.84	26556.88	66027.40
Soup bowl (carbon)	65	201.85	276.38	42.23	122.38
Tray (carbon)	59	666.05	3493.44	2313.56	7180.16

다음으로 자료 분석을 위해 독립변수를 APC 값으로 하고 종속 변수를 ATP의 값으로 하였다. 원 자료와 변수변환은 원 자료에 대한 1차 변환으로 로그 변환, 제곱근변환, 역변환을 실시하였으며, 최적의 변환 모델을 구하기 위해 3가지의 1차 변환에 대해 다시 각각 3가지의 2차 변환을 하여 분석을 하였다. 마지막으로 정규성 검정으로는 콜모고로프-스미노프 검정을 실시하였다. 정규성검정의 결과 유의확률이 0.05 이상이면 귀무가설 (H_0 : 정규성을 만족한다)을 채택하여, 정규성을 만족한다고 볼 수 있다. 분석 결과 최적인 경우에는 표에서 ⊙표시를 하였다.

3.2. 대상 자료들에 대한 분석 결과 및 해석

3.2.1. 도마 자료

Table 3.2를 보면 원 자료 및 1차 변환의 결과 중 로그 변환만 정규성을 만족하는 것으로 나타났으며 이때의 표준화 회귀계수는 0.533이고 결정계수 R^2 는 0.284였다. 다음으로 Table 3.3의 1차 변환의 각각에 대한 2차 변환 결과를 살펴보면, 제곱근-제곱근 변환이 (원 자료를 1차로 제곱근 변환을 한 후 변환된 자료를 다시 제곱근 변환 하였다는 의미를 나타냅니다. 이하 같은 의미로 해석하면 됩니다.) 1차 변환인 로그 변환의 표준화 회귀계수 및 결정계수 R^2 보다 높게 (각각 0.623과 0.388) 나타났지만, 정규성 검정의 유의확률이 모든 표의 유의확률 0.000은 정규성을 만족하지 못하고 있다. 따라서, 이상의 결과를 종합해 보면 도마 자료의 경우에는 1차 로그 변환이 가장 최적이라고 생각할 수 있다.

Table 3.2 The first transformation result of the cutting board data

Classification	Raw data (x)	Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Standard regression coefficient	0.243	0.533	0.462	0.047
Significance probability	0.043	<0.001	<0.001	0.753
Coefficient of determination (R^2)	0.059	0.284	0.213	0.002
Significance probability of test of normality	<0.001	0.200	<0.001	<0.001
Final choice		⊙		

Table 3.3 The second transformation result of the cutting board data

First transformation	Classification	Second transformation		
		Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Log transformation ($\log x$)	Standard regression coefficient	0.485	0.518	0.363
	Significance probability	<0.001	<0.001	0.011
	Coefficient of determination (R^2)	0.235	0.268	0.131
	Significance probability of test of normality	0.200	0.200	0.001
Final choice				
Square root transformation (\sqrt{x})	Standard regression coefficient	0.533	0.623	0.277
	Significance probability	<0.001	<0.001	0.056
	Coefficient of determination (R^2)	0.284	0.388	0.077
	Significance probability of test of normality	0.200	<0.001	<0.001
Final choice				
Inverse transformation ($1/x$)	Standard regression coefficient	0.533	0.277	0.243
	Significance probability	<0.001	0.056	0.043
	Coefficient of determination (R^2)	0.284	0.077	0.059
	Significance probability of test of normality	0.200	<0.001	<0.001
Final choice				

3.2.2. 칼 자료

Table 3.4를 살펴보면 원 자료에 대한 회귀계수 (0.920) 및 결정계수 R^2 (0.847)가 가장 높으나, 이 경우에도 정규성을 만족하지 못하였다. 따라서 1차 변환 결과에서는 로그 변환만이 정규성을 만족하였다. 또한 1차 변환에 대한 각각의 2차 변환 결과를 나타낸 Table 3.5에서는 제곱근-제곱근 변환이 1차 변환의 로그 변환보다 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 높은 것 (각각 0.756 및 0.572)으로 나타났으나, 역시 정규성을 만족하지 못하였다. 이들을 종합해보면, 칼 자료의 경우에는 1차 로그 변환이 최적이라고 생각할 수 있다.

Table 3.4 The first transformation result of the knife data

Classification	Raw data (x)	Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Standard regression coefficient	0.920	0.386	0.821	0.118
Significance probability	<0.001	0.035	<0.001	0.535
Coefficient of determination (R^2)	0.847	0.149	0.674	0.014
Significance probability of test of normality	<0.001	0.200	<0.001	<0.001
Final choice		⊙		

Table 3.5 The second transformation result of the knife data

First transformation	Classification	Second transformation		
		Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Log transformation ($\log x$)	Standard regression coefficient	0.196	0.293	0.030
	Significance probability	0.298	0.115	0.875
	Coefficient of determination (R^2)	0.039	0.086	0.001
	Significance probability of test of normality	0.200	0.200	0.047
Final choice				
Square root transformation (\sqrt{x})	Standard regression coefficient	0.386	0.756	0.051
	Significance probability	0.149	<0.001	0.787
	Coefficient of determination (R^2)	0.035	0.572	0.003
	Significance probability of test of normality	0.200	0.001	0.001
Final choice				
Inverse transformation ($1/x$)	Standard regression coefficient	0.386	0.051	0.920
	Significance probability	0.149	0.787	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.035	0.003	0.847
	Significance probability of test of normality	0.200	0.001	<0.001
Final choice				

3.2.3. 컵 자료

Table 3.6의 컵 자료를 살펴보면 1차 변환 중 역 변환의 회귀계수 (0.717) 및 결정계수 R^2 (0.514)가 가장 높으나, 이 경우에도 정규성을 만족하지 못하였다. 1차 변환 중 로그 변환이 회귀계수 (0.511) 및 결정계수 R^2 (0.261)가 가장 높았으며 정규성도 만족하였다. 2차 변환을 시도한 결과인 Table 3.7을 살펴보면 제곱근-역 변환 (혹은 역-제곱근 변환)인 경우의 회귀계수 (0.776) 및 결정계수 R^2 (0.603)가 가장 높았으며, 정규성도 만족하고 있다. 따라서, 이들 결과를 종합해 보면 컵 자료의 경우에는 1차 변환의 로그 변환보다 2차 변환의 제곱근-역 변환 (혹은 역-제곱근 변환)이 최적이라고 할 수 있다.

Table 3.6 The first transformation result of the cup data

Classification	Raw data (x)	Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Standard regression coefficient	0.367	0.511	0.379	0.717
Significance probability	0.003	0.001	0.002	<0.001
Coefficient of determination (R^2)	0.135	0.261	0.143	0.514
Significance probability of test of normality	<0.001	0.200	<0.001	<0.001
Final choice				

Table 3.7 The second transformation result of the cup data

First transformation	Classification	Second transformation		
		Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Log transformation ($\log x$)	Standard regression coefficient	0.647	0.580	0.737
	Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.419	0.337	0.544
	Significance probability of test of normality	0.117	0.200	0.200
	Final choice			
Square root transformation (\sqrt{x})	Standard regression coefficient	0.511	0.515	0.776
	Significance probability	0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.261	0.266	0.603
	Significance probability of test of normality	0.200	<0.001	0.070
	Final choice			⊙
Inverse transformation ($1/x$)	Standard regression coefficient	0.511	0.776	0.367
	Significance probability	0.001	<0.001	0.003
	Coefficient of determination (R^2)	0.261	0.603	0.135
	Significance probability of test of normality	0.200	0.070	<0.001
	Final choice		⊙	

3.2.4. 국그릇 (스텐)

Table 3.8의 국 그릇 (스텐) 자료의 원 자료와 1차 변환 결과를 살펴보면, 로그 변환 자료의 회귀계수 (0.530) 및 결정계수 R^2 (0.281)가 가장 높았으며, 정규성도 만족하고 있다. 다음으로 1차 변환들에 대한 각각의 2차 변환 결과인 Table 3.9를 살펴보면 제곱근-제곱근 변환일 때의 회귀계수 (0.729) 및 결정계수 R^2 (0.532)가 1차 변환의 로그 변환 때 보다 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 더 높았으나, 아쉽게도 정규성을 만족하지 못하였다. 따라서, 이들 결과를 종합해 보면 국그릇 (스텐)의 경우에는 1차 로그 변환이 최적이라고 할 수 있다.

Table 3.8 The first transformation result of the soup bowl (stainless) data

Classification	Raw data (x)	Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Standard regression coefficient	0.110	0.530	0.437	0.236
Significance probability	0.387	0.006	<0.001	0.256
Coefficient of determination (R^2)	0.012	0.281	0.191	0.056
Significance probability of test of normality	<0.001	0.200	<0.001	<0.001
Final choice		⊙		

Table 3.9 The second transformation result of the soup bowl (stainless) data

First transformation	Classification	Second transformation		
		Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Log transformation ($\log x$)	Standard regression coefficient	0.502	0.522	0.441
	Significance probability	0.010	0.007	0.027
	Coefficient of determination (R^2)	0.252	0.272	0.194
	Significance probability of test of normality	0.200	0.200	0.200
	Final choice			
Square root transformation (\sqrt{x})	Standard regression coefficient	0.530	0.729	0.392
	Significance probability	0.006	<0.001	0.052
	Coefficient of determination (R^2)	0.281	0.532	0.154
	Significance probability of test of normality	0.200	0.002	0.040
	Final choice			
Inverse transformation ($1/x$)	Standard regression coefficient	0.530	0.392	0.110
	Significance probability	0.006	0.052	0.387
	Coefficient of determination (R^2)	0.281	0.154	0.012
	Significance probability of test of normality	0.200	0.040	<0.001
	Final choice			

3.2.5. 식판 (스텐)

Table 3.10의 식판 (스텐) 자료에 대한 1차 변환 결과를 살펴보면, 원 자료와 모든 1차 변환 자료의 경우에 대해서 정규성을 만족하지 못하므로 1차 변환 자료에 큰 의미가 없다고 할 수 있다. 1차 변환들에 대해 각각의 2차 변환을 시도한 Table 3.11의 결과에서도 모든 2차 변환 자료에 대해 정규성을 만족하지 못하였다. 따라서, 식판 (스텐)의 경우에는 이번 실험에서는 최적인 경우를 찾을 수가 없었다. 그러나, 만약 정규성검정의 유의확률을 0.01 이상으로 한다면 1차 변환인 경우는 로그 변환 자료의 회귀계수 (0.946) 및 결정계수 R^2 (0.896)가 가장 높으며, 2차 변환인 경우는 로그-제곱근 변환 자료의 회귀계수 (0.943) 및 결정계수 R^2 (0.889)가 가장 높으며 유의확률도 0.048로 0.05에 가장 가까운 값을 보여주고 있어 1차 변환의 로그 변환이 최적이라 할 수 있다.

Table 3.10 The first transformation result of the tray (stainless) data

Classification	Raw data (x)	Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Standard regression coefficient	0.846	0.946	0.934	0.839
Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Coefficient of determination (R^2)	0.716	0.896	0.872	0.704
Significance probability of test of normality	<0.001	0.011	0.037	<0.001
Final choice				

Table 3.11 The second transformation result of the tray (stainless) data

First transformation	Classification	Second transformation		
		Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Log transformation ($\log x$)	Standard regression coefficient	0.938	0.943	0.926
	Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.880	0.889	0.858
	Significance probability of test of normality	0.011	0.048	0.004
Final choice				
Square root transformation (\sqrt{x})	Standard regression coefficient	0.946	0.896	0.886
	Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.896	0.802	0.785
	Significance probability of test of normality	0.011	0.042	<0.001
Final choice				
Inverse transformation ($1/x$)	Standard regression coefficient	0.946	0.886	0.846
	Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.896	0.785	0.716
	Significance probability of test of normality	0.011	<0.001	<0.001
Final choice				

3.2.6. 국그릇 (카보)

국 그릇 (카보)의 원 자료와 1차 변환 자료의 분석 결과인 Table 3.12를 살펴보면, 로그 변환 자료만 정규성을 만족하고 있지만, 원 자료에 비하여 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 낮게 나와 적절하지 않았다. 따라서 1차 변환들에 대해 각각의 2차 변환을 시도한 결과인 Table 3.13에서는 제곱근-제곱근 변환이 1차 변환의 로그 변환보다 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 높게 나타났으며, 정규성도 만족하고 있다. 따라서, 국그릇 (카보)의 경우에는 2차 변환 중 제곱근-제곱근 변환이 최적이라고 할 수 있다.

Table 3.12 The first transformation result of the soup bowl (carbon) data

Classification	Raw data (x)	Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Standard regression coefficient	0.456	0.110	0.633	0.090
Significance probability	<0.001	0.617	<0.001	0.681
Coefficient of determination (R^2)	0.208	0.012	0.401	0.008
Significance probability of test of normality	<0.001	0.200	0.012	<0.001
Final choice				

Table 3.13 The second transformation result of the soup bowl (carbon) data

First transformation	Classification	Second transformation		
		Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Log transformation ($\log x$)	Standard regression coefficient	0.042	0.075	0.016
	Significance probability	0.850	0.732	0.943
	Coefficient of determination (R^2)	0.002	0.006	0.000
	Significance probability of test of normality	0.017	0.104	0.001
Final choice				
Square root transformation (\sqrt{x})	Standard regression coefficient	0.110	0.703	0.023
	Significance probability	0.617	<0.001	0.916
	Coefficient of determination (R^2)	0.012	0.494	0.001
	Significance probability of test of normality	0.200	0.200	<0.001
Final choice ⊙				
Inverse transformation ($1/x$)	Standard regression coefficient	0.110	0.023	0.456
	Significance probability	0.617	0.916	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.012	0.001	0.208
	Significance probability of test of normality	0.200	<0.001	<0.001
Final choice				

3.2.7. 식판 (카보)

원 자료와 1차 변환 자료의 결과인 Table 3.14를 살펴보면, 로그 변환 자료의 회귀계수 (0.879) 및 결정계수 R^2 (0.773)가 가장 높고 정규성도 만족하고 있다. 2차 변환을 시도한 결과인 Table 3.15를 살펴보면, 제곱근-로그 변환과 역-로그 변환이 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 가장 높고 정규성도 만족하고 있으나, 1차 변환 자료의 로그 변환과 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 동일하다. 따라서, 식판 (카보)인 경우에는 1차 변환인 로그 변환, 2차 변환인 제곱근-로그 변환과 역-로그 변환이 최적이라고 할 수 있다. 그러나, 힘들고 복잡한 2차 변환보다는 단순하게 1차 로그 변환을 하는 것이 가장 적절할 것이다.

Table 3.14 The first transformation result of the tray (carbon) data

Classification	Raw data (x)	Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Standard regression coefficient	0.604	0.879	0.796	0.599
Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001	0.003
Coefficient of determination (R^2)	0.365	0.773	0.634	0.359
Significance probability of test of normality	<0.001	0.200	<0.001	0.003
Final choice ⊙				

Table 3.15 The second transformation result of the tray (carbon) data

First transformation	Classification	Second transformation		
		Log transformation ($\log x$)	Square root transformation (\sqrt{x})	Inverse transformation ($1/x$)
Log transformation ($\log x$)	Standard regression coefficient	0.833	0.861	0.756
	Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.694	0.742	0.572
	Significance probability of test of normality	0.200	0.200	0.200
	Final choice			
Square root transformation (\sqrt{x})	Standard regression coefficient	0.879	0.867	0.731
	Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.773	0.751	0.535
	Significance probability of test of normality	0.200	<0.001	0.141
	Final choice			
Inverse transformation ($1/x$)	Standard regression coefficient	0.879	0.731	0.604
	Significance probability	<0.001	<0.001	<0.001
	Coefficient of determination (R^2)	0.773	0.535	0.365
	Significance probability of test of normality	0.200	0.141	<0.001
	Final choice			

4. 결론 및 토의

본 연구에서의 조사대상인 급식소의 도마, 칼, 컵, 국그릇 (스텐), 국그릇 (카보), 식판 (스텐) 및 식판 (카보)에 대한 이전의 연구들은 통계적으로 상관성에 관한 연구나 회귀분석의 경우에는 정규성을 만족하지 않거나 APC와 ATP 사이에 상관계수가 높지 않은 경우에 일반적으로 로그 변환을 한 후 분석하였다. 본 연구에서는 통계적으로 로그 변환 이외 다른 변환을 적용하고 1차 변환의 결과를 바탕으로 2차 변환까지 시도하여 가장 적절한 모형을 찾아보았다. 우선 이들 7가지의 조리도구는 모두 원 자료인 경우에는 정규성을 만족하지 않았다. 모든 자료의 1차 변환은 로그 변환, 제곱근 변환 및 역 변환을 하였으며 2차 변환은 각각의 1차 변환에 대해 다시 로그 변환, 제곱근 변환 및 역 변환을 시도하였다. 원 자료, 1차 변환자료 및 2차 변환자료들에 대한 분석 결과를 조리도구별로 요약하면 다음과 같다. 앞의 3장에서 서술한 것처럼 도마, 칼, 국그릇 (스텐), 식판 (카보) 자료는 1차 변환의 로그 변환이 표준화 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 가장 좋게 나타났으며, 컵 자료는 2차 변환의 제곱근-역 변환 (혹은 역-제곱근 변환)이 표준화 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 가장 좋게 나타났다. 국그릇 (카보) 자료는 역시 2차 변환의 제곱근-제곱근 변환이 표준화 회귀계수 및 결정계수 R^2 가 가장 좋게 나타났으나 식판 (스텐) 자료는 원 자료, 1차 변환 및 2차 변환의 모든 경우에 정규성을 만족하지 못하여 이번 자료에서는 최적의 경우를 찾을 수가 없었다. 따라서 본 연구 결과로 볼 때 급식소에서의 식판 (스텐) 외 다른 조리도구들에 대한 실시간 위생 모니터링 도구로 ATP Luminometer를 활용할 수 있으며, 위생관리를 위해 육안검사와 병행한다면 보다 효과적인 것으로 사료된다. 향후 과제로는 지역 간의 차이를 알아보기 위해 창원시 소재 급식소 이외 다른 지역 소재 급식소의 시료를 채취하여 분석할 수도 있으며, 학교 급식소와 산업체 급식소 간 비교도 가능하다. 본 연구에서는 종속변수 ATP에 APC의 한 가지 독립변수로만 연구를 하였으므로 제한점이 있다고 할 수 있다. 이에 향후 ATP값에 영향을 주는 다양한 변수들을 고려한 추가 연구가 필요하다고 생각한다. 또한 실제 연구 결과를 살펴보면, 최적 모형에 대한 설명력이 크게 높게 나타나고 있지 않으므로 이에 대한 원인의 추후 연구가 필요하다.

마지막으로 변수변환에 대하여 로그 변환, 제곱근 변환, 역변환을 이용하여 2단계 변환을 실시하면서 정규성의 변화를 살펴봄과 최적의 변수변환 모형을 탐색하였으나, 추후 최적의 변수 변환을 찾기 위하여 Box-Cox 변수변환에서 최적의 람다를 이용하는 등의 다양한 방법으로 연구할 필요성이 있다.

References

- Bautista, D. A., Vaillancourt, J. P., Clarke, R. A., Renwick, S. and Griffiths, M. W. (1995). Rapid assessment of the microbiological quality of poultry carcasses using ATP bioluminescence. *Journal of Food Protection*, **58**, 551-554.
- Bell, C., Bowles, C. D., Toszeghy, M. J. K. and Neaves, P. (1996). Development of a hygiene standard for raw milk based on the lumac ATP bioluminescence method. *International Dairy Journal*, **6**, 709-713.
- Hwang, E. G., Kim, S. J., Kim, B. K. and Lee, J. Y. (2015). Awareness analysis for popularization of temple food in monks. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **26**, 1217-1224.
- Jo, J. N. and Chang, U. J. (2013). A statistical analysis of the fat mass repeated measures data using mixed model. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **24**, 303-310.
- Kim, B. Y., Song, H. Y., Park, I. S., Kim, Y. S., Lee, Y. S. and Ha, S. D. (2009). A correlation study of surveillance data and ATP bioluminescence assay for verification of hygienic status in major hotel in Seoul. *Journal of Food Hygiene and Safety*, **24**, 277-284.
- Kim, Y. S., Moon, H. K., Kang, S. I. and Nam, E. J. (2010). Verification of suitability of ATP luminometer as the monitoring tool for surface hygiene in foodservices. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, **39**, 1719-1723.
- Lee, M. K. (2015). A study on differences by gender in influence of recognition, usage, convenience and preference on purchase intention for traditional Kotean rice cake. *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, **26**, 875-883.
- Marena, C., Lodola, L., Zecca, M., Bulgheroni, A., Carretto, E., Maserati, R. and Zambianchi, L. (2002). Assessment of handwashing practices with chemical and microbiologic methods : Preliminary results from a prospective crossover study. *American Journal Infect Control*, **30**, 334-340.
- Ryan, R. A. (1996). Bioluminescence testing of aseptically packaged fruit juice. *Milk Industry International*, **98**, 13-15.
- Sea, S. H., Moon, S. J. and Choi, J. H. (2011). Evaluation of hygienic status using ATP bioluminescence assay and food service workers' sanitation performance in elderly welfare facilities. *Journal of Korean Dietetic Association*, **17**, 277-284.
- Sea, Y. J. and Jeon, M. S. (2015). Effects of an education program on sanitation status at centers for children's food service management - Focusing on Jung-gu and Dong-gu regions of Daejeon Metropolitan City. *Korean Journal of Community Nutrition*, **20**, 447-459.
- Turantas, F. (1996). ATP bioluminescence method and applications in food microbiology. *Gida*, **21**, 331-335.
- Werlein, H. D. and Fricke, R. (1997). Applicability of the swab sampling technique in order to determine the microbial quality of poultry by means of ATP bioluminescence. *Archiv fuer Lebensmittelhygiene*, **48**, 14-16.

A study on the optimal variable transformation method to identify the correlation between ATP and APC

Hye-Kyung Moon¹ · Jae-Kyoung Shin² · Yang Sook Kim³

¹Department of Food and Nutrition, Changwon National University

²Department of Statistics, Changwon National University

³Bandong Elementary School

Received 24 August 2016, revised 23 September 2016, accepted 10 October 2016

Abstract

In order to secure safe meals, the hazards of microorganisms associated with food poisoning accident should be monitored and controlled in real situations. It is necessary to determined the correlation between existing common bacteria number (aerobic plate count; APC) and RLU (relative light unit) in cookware. In this paper, we investigate the correlation between ATP (RUL) and APC (CFU) by using three types of transform (inverse, square root, log transforms) of raw data in two steps. Among these transforms, the log transform at the first step has been found to be optimal for the data of cutting board, knife, soup bowl (stainless), and tray (carbon). The square root-inverse and the square root-square root transform at the second step have been shown to be optimal respectively for the cup and for the soup bowl (carbon) data.

Keywords: Aerobic plate count, adenosine triphosphate, significance probability, test of normality, transformation data.

¹ Professor, Department of food and nutrition, Changwon National University, Changwon 51140, Korea.

² Corresponding author: Professor, Department of statistics, Changwon National University, Changwon 51140, Korea. E-mail: jkshin@changwon.ac.kr

³ Nutrition teacher, Bandong Elementary School, Changwon 51783, Korea.