

## 양송이통조림 가공중의 에너지소비량 조사연구

이 동선 · 박 노현 · 신 휴년 · 신 동화  
농어촌개발공사 식품연구소  
(1981년 9월 24일 수리)

## Energy Consumption in Mushroom Canning Factory

Dong Sun Lee, Know-Hyun Park, Hyu-Nyun Shin and Dong Hwa Shin

Food Research Institute/AFDC, Kyung-gi Do 170-31

(Received September 24, 1981)

### Abstract

As a step to investigate energy conservation in canneries, energy consumption pattern and energy usages of various unit operations in a mushroom cannery were examined. The results are as follows;

1. In the mushroom cannery, fuel oil and electricity were used mainly for temperature control of mushroom growing house in winter and various cultivation operation respectively. To grow and process 1 kg of mushroom, thermal energy of 4634 kcal and electrical energy of 0.116 kwh were consumed. About 80% of all energy was consumed for cultivation.
2. Steam qualities at each respective processing line were 92~94%, giving no great differences among lines.
3. As a direct energy in 1 day processing operations of 8 tons of mushroom, thermal energy of  $301.5 \times 10^4$  kcal and electrical energy of 60.1 kwh were used. The energy intensive operations were blanching (35%) and retorting (38%).

### 서 론

1974년 이후 석유에너지 공급이 불안하고 가격이 계속 상승하는 상황에서 식품생산 시스템 중에서 식품가공에 많은 에너지를 소비하고 있어 식품공업에서 소요되는 에너지의 소비절감은 절실히 요구되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 따라서 식품 가공공정의 합리화 및 기존 가공방법들의 비교 연구에 의하여 에너지절감형 가공형태로 유도할 필요가 있다<sup>(3)</sup>. 이를 위하여 Singh<sup>(2)</sup>은 식품 개개의 가공공정에 대한 에너지소비량의 측정 조사와 함께 에너지 절약에 위한 개선점이 통조림가공, 냉동, 건조 및 발효 등에서 검토되고 각 공정에서의 대체에너지 사용에 관한 연구가 수행되어야 한다고 하였다.

통조림 가공공장 및 공정에서의 에너지 소비에 관한

연구로서 Unger<sup>(4)</sup>가 미국 통조림 공장의 에너지 소비 유형을 제시하였고, Rao 등<sup>(5,6)</sup>은 통조림 공장에서의 열 손실을 분석하였다. Vergara 등<sup>(7)</sup>은 채소류 통조림 공장의 에너지 사용에 대하여 분석하여 에너지 소비가 짧은 기간에 집중되고 일부만이 가공에 쓰여지고 있음을 지적하고 에너지 사용에 관한 수학적 모형을 제안하였다. Singh<sup>(2)</sup>은 식품 가공공정중의 에너지 계량방법을 제시하고 그 후 시금치, 복숭아 및 토마토 통조림의 각 가공공정별 에너지 소비를 측정하여 바 있다. (8~10) Kumar 등<sup>(11)</sup>은 토마토의 알칼리박피 및 hot break heating 공정의 에너지 소비를 정밀분석하였고 Singh<sup>(12)</sup>은 통조림 살균공정에서의 에너지 소비를 분석하고 절약가능성에 대하여 검토하였다. 한국 열관리 협회<sup>(13)</sup>에서는 우리나라 전체 산업용 에너지의 72.4%를 소비하는 820개 에너지다소비업체의 에너지 사용 및

관리실태를 조사하였던 바 식품공업은 전체산업의 5.7%에 해당하는 에너지를 소비하고 있다고 보고하였다.

우리나라 주요 식품가공업의 하나인 통조림제조업에서 가장 비중이 큰 양송이 통조림은 1978년도의 가공량이 250만 C/T에 달하고 있으나<sup>(14)</sup>, 살균방법에 있어 공장간의 격차가 심하고 대체적으로 파인 열처리되고 있으며<sup>(15)</sup> 처리공정에 따른 에너지 소비량에 대하여 집중적으로 조사연구된 바는 없었다. 따라서 살균의 적정화와 함께, 모든 가공처리공정에서의 에너지 사용량을 정확히 조사평가함으로써 공정의 합리화를 기하고 에너지감방안수립에 기초자료를 제공코자 전체 식품 가공공장의 에너지소비 형태 조사의 일환으로 본 실험을 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 측정공장 및 가공공정

#### 가. 측정공장 및 가공품목

전라도 소재 공장으로 양송이로 8 ton/day의 처리능력을 가졌고 양송이 한 품목만을 재배하여 가공하였다.

#### 나. 처리공정

전반적인 공정을 보면 원료 양송이는 재배사에서 재배되어 수확후 가공공장에 입하되며 세척, 열탕처리(98°C~100°C, 5분), 정선, 다듬기 및 등급매기기를 한 후 피스 앤드 스템(piece and stem)은 세척하여 603-2호 장통에 담아 탈기(95°C, 4분), 밀봉하였다. 호울(whole)은 등급매기기후 211-3, 211-5, 301-6 및 307-5호 장통에 담아, 211-3 및 211-5호 장통은 자동진공포장으로, 301-6 및 307-5호장통은 가열탈기(95°C, 4분)후 밀봉하였다. 밀봉된 통조림은 살균솥(121°C)에서 각 살균시간별(211-2호 20분, 211-5호 25분, 301-6호 27분 307-5호 32분, 603-2호 45분)로 살균하였으며 냉각할 때 603-2, 301-6 및 307-5호 통조림은 가압냉각하였다. 냉각수는 회수되어 재사용되었다.

#### 다. 측정시기 및 처리물량

각 공정중 에너지 소비는 1981년 5월 하순에 측정하였으며, 이때 공장에서는 하루 약 2 ton씩의 양송이를 가공하고 있었다. 측정값은 이 공장의 정상조입(10 h/day)중의 처리량인 원료양송이 8000 kg, 생산제품 68 oz (603-2)268.2 C/T, 16 oz (307-5) 21.1 C/T, 8 oz (301-6) 18.7 C/T, 5.5 oz (211-5) 195.6 C/T, 4 oz (211-3) 194.9 C/T에 기준하여 환산하였다. 그리고 이러한 제품생산량은 307-5호 통조림의 표준 carton으로 계산하면 399 C/T이었다.

#### 열에너지의 측정

열에너지를 수증기량으로 측정된 공정은 열탕블렌처, 탈기함, 살균솥, 액즙가열이증솥이었다. 열탕블렌처, 탈기함 및 살균솥에서 수증기유량은 오리피스유량계(ITT Barton, Integrating Steam Flow Meter Model 243B)에 의하여 측정하였다. 즉 길이 3 m, 지름 2 in.인 파이프 사이에(상류 2 m, 하류 1 m) 오리피스와 플랜지 탭(flange tap)을 설치하고 이 파이프를 공장내의 수증기배관중에 연결하여 수증기가 흐를 때 압력차를 측정하여 압력보상 적산유량계에 의하여 포화수증기로서 수증기량을 읽고 이를 수증기 건도의 평방근으로 나누어 사용된 수증기 양을 구하였다<sup>(16)</sup>. 액즙가열이증솥에서는 수증기트랩에서 응축되는 응축수의 양을 측정하여 수증기량으로 하였다<sup>(17)</sup>. 수증기 건도는 소등<sup>(18)</sup>이 식품의 비열측정에 사용한 간이 열량계적 방법에 의하여<sup>(8-10)</sup>, 각 공정중의 소비에너지는 8000 kg 처리시의 수증기량과 수증기의 엔탈피를 곱하여 결정하였다. 그리고 연료기준 소비에너지로 환산할 때는 우리나라 농수산물 가공업에서의 보일러 효율 77.3%를 적용하였다<sup>(13)</sup>.

#### 전기에너지의 측정

전체 양송이 가공에 사용된 전동기(motor)는 모두 23대로서 각 전동기 스위치에 적산전력계(대한전선주식회사 계)를 설치하여 시간당 소모되는 에너지를 측정하였고<sup>(19)</sup>, 하루중 전동기 가동시간을 관찰하여 처리물량에 대한 전력소모량으로 환산하였다. 전기에너지를 연료기준 소비에너지로 환산할 때는 한국전력의 1980년 발전효율 35.6%, 송배전 전력손실율 6.9%를 적용하여 1 kwh를 2,595 kcal로 환산하였다<sup>(20)</sup>.

#### 가공공정별 가공물량

각 공정에서 물량은 가공작업 완료후 각 관형별 가공량에 따른 고휘량으로 환산하여 결정하였다.

## 결과 및 고찰

### 양송이 가공공장의 에너지 소비형태

본 조사대상공장의 1980년도 1년간 총가공물량 1015 ton에 대한 가공일지, 보일러일지 및 전기사용량을 통하여 조사한 가공 및 에너지 소비형태는 Fig. 1과 같다. 즉 가공은 전체적으로 3,4 및 5월의 춘기와 11 및 12월의 추기에 집중되고 있으나 유류와 전기에너지의 소비는 이와 직접 상관관계가 없이 유류는 겨울에 집중 사용되고 전기는 가공 피크시간 2개월 전 부터 가공 중 말시까지 많이 소모되었다. 이와같은 이유는 유류는 주로 겨울철 재배사의 온도관리를 위해 소비되었고 전기에너지는 재배용 퇴비제조 및 재배사 관리에 주로 사용되었기 때문인 것으로 생각된다.

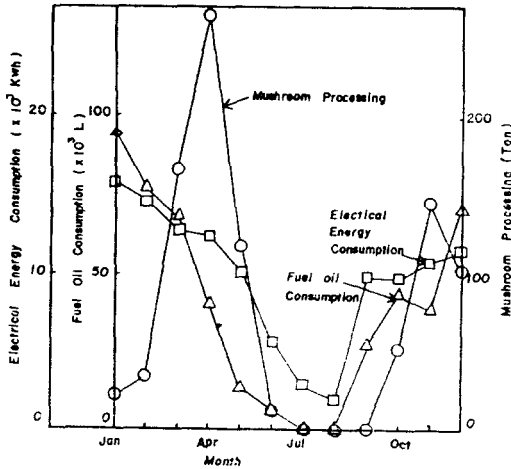


Fig. 1. Monthly mushroom processing and energy consumption

Table 1. Fuel requirement for canning mushroom

Observation period(day)	Raw mushroom used(kg)	Canned product (C/T)	Boiler operating hours	Fuel oil consumption (l)	Fuel requirement (l/ton)
49	264,779	12,735	460	25,200	95.2

Table 2. Energy intensity of mushroom cultivation and canning

	Thermal energy intensity (kcal/kg)	Combined electrical energy intensity (kcal/kg)	Total energy intensity (kcal/kg)
Cultivation	3,707	0.100	3,966.5
Canning	927	0.016	968.5
Total	4,634	0.116	4,935

일반적으로 Singh<sup>(12)</sup>의 측정값보다 높은 것으로 나타났는데 이는 본조사 공장이 미국의 공장에 비하여 소규모로서 공장까지의 수증기배관도 짧고 각 라인에 따른 배관 길이의 차이가 없는데 기인한 것으로 생각된다. 수증기 사용기제로서 액증가열을 위한 이중술이 있으나 배관은 탈기함과 붙어서 근접되어 있어 따로 측정하지 않았다.

Table 3. Steam quality measured at respective equipment location

Equipment	Average steam quality(%)
Blancher	93
Exhaust box	94
Retort	92

양송이 가공용 에너지 사용

양송이 가공 중의 유통소비는 Table 1과 같이 양송이 1 ton 가공에 95.2 l가 소요되었다. 실제 1년간의 자료에 의해 양송이 가공공장에서 재배 및 가공에 소요되는 에너지 사용부하를 보면 양송이 1 kg의 재배에서 가공까지 열에너지 4,634 kcal, 전기에너지 0.116 kwh로서 전체 4,935 kcal가 소요되었으며 이 결과는 Table 2와 같다. 제품원단위로는 5,704 × 10<sup>3</sup> kcal/ton으로서 열관리협회의 조사값인 5,623 × 10<sup>3</sup> kcal/ton<sup>(12)</sup>와 비슷한 값이었다. 결과물 보면 열에너지와 전기에너지 모두 가공보다는 재배에 많은 에너지가 소모되어 전체에너지의 80%가 재배에 사용되었고 에너지원별로는 열에너지가 94%로 전기에너지에 비해 월등히 높았다. 각 가공라인별 수증기의 질

각 가공라인별 수증기의 건도는 Table 3과 같다. 즉 각 라인별로 수증기건도는 92~94%로서 큰 차이 없고

공정별 에너지소비

양송이 통조림의 각 가공공정별 에너지의 소비는 Fig. 2와 같다. 이 결과를 연료기준으로 환산한 결과는 Table 4와 같다. 즉, 양송이 8000 kg 가공시 전기에너지는 50.1 kwh, 열에너지는 301.5 × 10<sup>4</sup> kcal가 소모되었다.

전기에너지의 사용을 보면 다듬기 및 크기 선별에서 11.4 kwh가 소비되어 전체 전기에너지의 19%를 차지하고 있으며 이는 선별 콘베이어와 선별기에 의하여 소비되었다. 밀봉에서는 23.9 kwh가 소비되어 전체 전기에너지 중 40%를 차지하여 가장 에너지 사용부하가 높은 공정이었다. 이는 소형 통조림의 자동진공밀봉에 주로 소비되고 있었다. 살균시 소비되는 전기에너지는 냉각중 압축기에 의한 가압과 물펌프에 의한 냉각수의 재회수 및 투입에 사용되고 있었는데 전체 전

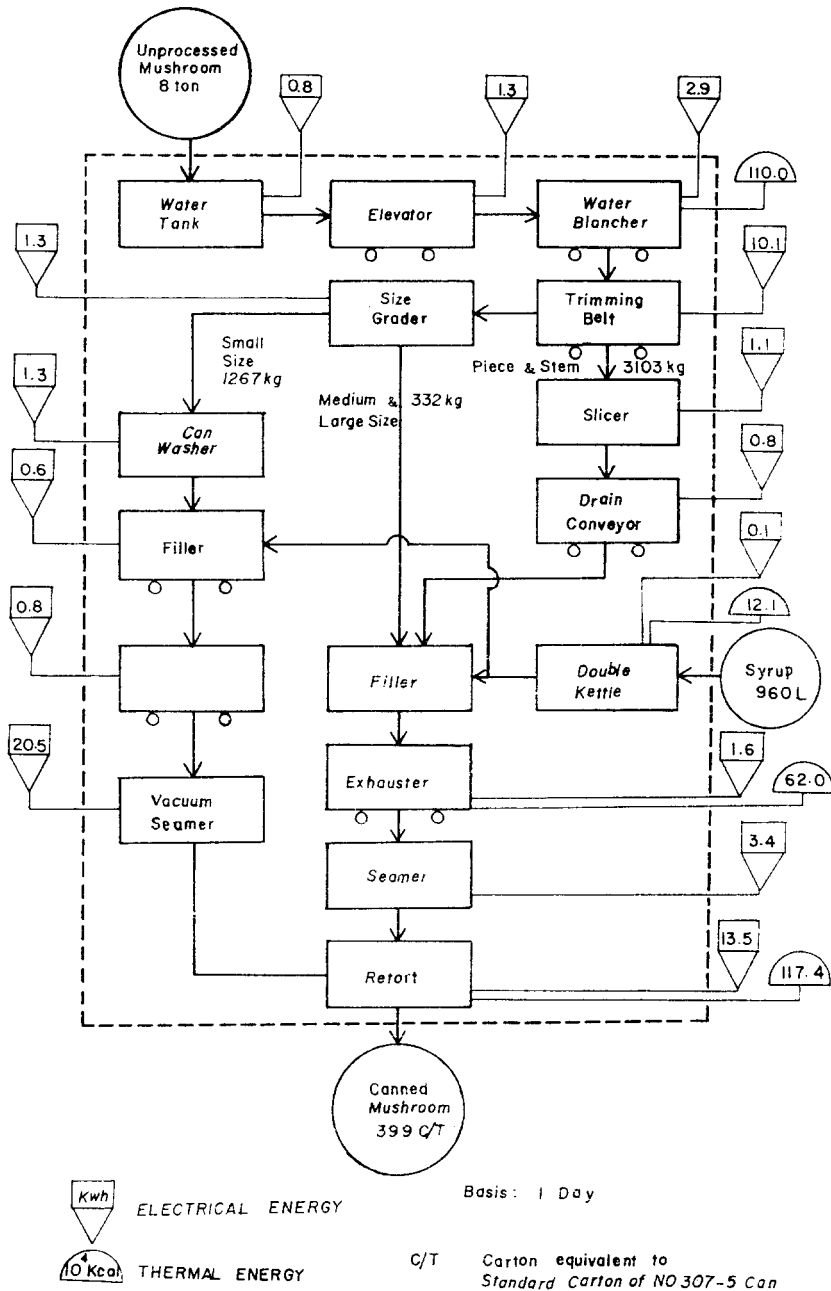


Fig. 2. Energy accounting diagram of mushroom canning

기에너지의 22%를 차지하고 있었다.

열에너지의 사용을 보면 데치기는  $110.0 \times 10^4$  kcal가 소비되어 전체 열에너지의 36%를 차지하였으며 가열열탕 속에 수증기가 직접 주입되고 있었다. 이중솔에 의한 시럽 가열에는  $12.1 \times 10^4$  kcal가 사용되었으며 전체의 4%이었다. 이중솔의 수증기자켓에 부착된 수

증기트랩이 거의 망실된 상태여서 이의 개선이 요망되었으며, 이와함께 연속적인 이중솔을 사용함으로써 에너지 사용을 크게 감소시킬 수 있을 것으로 보였다. 탈기에서는 전체 열에너지의 21%인  $62.0 \times 10^4$  kcal가 소비되었다. 이 양은 Chhinnan<sup>(8)</sup>의 시금치가공과 비교할 때 상대적으로 적은데 이는 많은 물량이 자동진공

Table 4. Energy consumption of mushroom canning operations

Processing Stage	Measured energy consumption		Fossil fuel equivalent energy consumption			Percent of total
	Electrical (Kwh)	Thermal (10 <sup>4</sup> kcal)	Electrical (10 <sup>4</sup> kcal)	Thermal (10 <sup>4</sup> kcal)	Total (10 <sup>4</sup> kcal)	
Washing	0.8		0.2		0.2	0.05
Elevating	1.3		0.3		0.3	0.07
Blanching	2.9	110.0	0.8	142.3	143.1	35.27
Trimming and size grading	11.4		3.0		3.0	0.74
Can washing	1.3		0.3		0.3	0.07
Slicing	1.1		0.3		0.3	0.07
Draining	0.8		0.2		0.2	0.05
Syrup heating and filling	1.5	12.1	0.4	15.7	16.1	3.97
Exhausting	1.6	62.0	0.4	80.2	80.6	19.87
Seaming	23.9		6.2		6.2	1.53
Retorting	13.5	117.4	3.5	151.9	155.4	38.31
Total	60.1	301.5	15.6	390.1	405.7	100.00

밀봉에 의하여 탈기되기 때문인 것으로 해석되었다. 살균시에는 117.4×10<sup>4</sup> kcal가 소비되어 가장 열에너지 사용이 많은 공정으로서 전체 열에너지 사용량의 39%를 차지하였다.

전체적으로 보면 연료기준으로 양송이 8,000 kg 가공시에 405.7×10<sup>4</sup> kcal의 에너지가 소비되었으며, 이는 Table 2의 양송이 1 kg가공시의 에너지사용부하 968.5 kcal와 비교하여 볼 때 전체 사용에너지의 52%가 직접적으로 가공에 소모되고 나머지는 손실이나 기타용으로 사용됨을 의미한다. 이는 Vergara 등<sup>(7)</sup>의 34%보다는 높으나, 본 조사조건은 타용도로 사용되는 에너지가 적은 가공시점에서만 조사되어 직접적인 비교는 곤란한 것으로 보이고 다만 손실되는 에너지는 많은 부분이 초기의 배관가열 및 가공작업 후의 응축수에 의한 것으로 추정된다. 이는 양송이가공이 재배에 의존적 이어서 가공정상시점이 적고 소규모 물량을 가공하는 기간이 많음으로 인하여 나타나는 것으로 보인다.

열에너지를 사용하는 공정에서 식품의 직접가열에 사용되는 에너지의 비율을 보면 Table 5와 같다. 즉, 데치기에서는 97°C의 열탕중에서 양송이가 15.5°C에서 91°C까지 연속적으로 가열되는데 이때 공급에너지의 51.6%가 양송이의 가열에 사용되었다. 이는 Chhinnan<sup>(8)</sup>의 31%보다 높은 비율로서 열탕 데치기가 수증기 데치기보다 열효율이 높기 때문에 나타난 결과로 보이며 앞으로 이러한 데치기공정중에서 식품의 품질과 함께 에너지 사용효율면에서 여러 데치기공정에 대한 비교

연구가 필요한 것으로 생각된다.

액즙은 이중솔에서 83°C까지 가열 된 후 주입탱크로 옮겨져 다시 수증기 코일에 의하여 가열되고 있었는데 전체 공급에너지의 53.7%가 액즙가열에 이용되었다. 이중솔에 부착된 수증기트랩의 성능에 따라 열효율에 차이가 있을 것으로 생각된다.

탈기공정에서는 96°C의 수증기탈기함에서 73°C까지 가열되었으며 이때 효율은 26.8%이었다. 이 값은 Chhinnan<sup>(8)</sup>이 보고한 12%보다는 높았으나 이는 통조림의 크기와 시럽주입비율 및 탈기함의 형태등에 의하여 달라질 것으로 생각된다. 특히 Kumar 등<sup>(11)</sup>의 실험결과에 의하면 토마토의 알칼리탈피 및 hot break heating 시에 시간당 투입물량이 많을수록 열효율이 증가함을 볼 때 탈기시에도 같은 경향이 나타날 것으로 보이며 통조림의 크기, 이에 따른 투입물량 등에 대하여 탈기시의 수증기 소모량 및 에너지 사용효율에 관한 보다 자세한 연구가 필요한 것으로 생각된다. 그리고 에너지가 적게 소모되는 자동진공밀봉에 의한 탈기의 가능성 및 한계에 대하여도 검토되어야 할 것이다.

살균시에 레토르트 온도 121.1°C까지 양송이를 가열하는데 공급에너지의 38.2%가 사용되었다. 이는 Singh<sup>(10)</sup>이 보고한 복숭아 살균에서의 25.75% 보다 높은 효율로서 저온살균보다 고온살균이 열효율이 높기 때문인 것으로 생각된다. 실제 살균이 통조림가공시에 차지하는 에너지소비의 비중이 높은만큼 관형, 살균시간, F<sub>0</sub> 값 및 살균방법에 따른 에너지소비와 열사용효율에 대

**Table 5. Percent of thermal energy input actually used in heating the product**

Processing stage	Supplied energy ( $\times 10^4$ kcal)	Used energy ( $\times 10^4$ kcal)	Used energy fraction (%)	Remarks
Blanching	110.0	56.8	51.6	Conveying, water blancher
Syrup heating	12.1	6.5	53.7	Double kettle and steam coil in syrup tank
Exhausting	62.0	16.6	26.8	Exhaust box temp.: 96°C
Retorting	117.4	44.8	38.2	Retort temp.: 121.1°C

하여서도 좀더 자세히 연구되어야 할 것이다. 국내 양송이 통조림은 Fo값 26~58까지 과잉살균되고 있으므로<sup>(15)</sup>, 살균공정의 합리화와 함께 에너지소비에 대한 정확한 조사를 하여 식품의 품질보존면을 고려하면서 에너지 절약형으로 유도하여야 할 것으로 생각된다. 전체적으로 볼 때 양송이 통조림의 가공공정에서는 에너지 사용에서 큰 비중을 차지하는 데치기와 살균공정에 대한 세부적인 에너지 분석과 연구가 필요한 것으로 판단된다.

요 약

통조림공장에서의 에너지 사용의 합리화를 위하여 양송이 통조림 가공공장에서의 에너지 소비형태 및 공정별 에너지소비량을 조사한 바 그 결과는 다음과 같다.

1. 양송이 통조림공장의 에너지원별로는 유류는 겨울철 재배사의 온도유지에, 전기는 재배관리에 주로 사용되고 있었으며, 양송이 1 kg의 재배 및 가공에 사용되는 에너지 부하는 열에너지 4,634 kcal, 전기에너지 0.116 kwh이었고 전체에너지의 80%가 재배에 사용되고 있었다.

2. 각 가공라인별 수증기의 건도는 라인별 큰 차이 없이 92~94%였다.

3. 양송이 통조림가공공정에 소비되는 총에너지는 1일 양송이 8 ton 가공시 전기에너지 60.1 kwh, 열에너지  $301.5 \times 10^4$  kcal였으며, 에너지 다소비공정은 데치기(35%)와 살균(38%)이었다.

문 헌

1. Steinhart, J. S. and Steinhart, C. E.: *Science*, **84**, 307 (1974)
2. Singh, R. P.: *Food Technol.*, **32**(4), 40 (1978)
3. 內水護, 磯直道: 缶詰時報, **59**(3), 17 (1980)
4. Unger, S. G.: *Food Technol.*, **29**(12), 33 (1975)
5. Rao, M. A. and Katz, J.: *Food Technol.*, **30**(3),

- 36 (1976)
6. Rao, M. A., Katz, J., Kenny, J. F. and Downing, D. K.: *Food Technol.*, **30**(12), 44 (1976)
7. Vergara, W., Rao, M. A. and Jordan, W. K.: *Trans. ASAE.*, **21**, 1246 (1978)
8. Chhinnan, M. S., Singh, R. P., Pedersen, L. D., Carroad, P. A., Rcse, W. W. and Jacob, N. L.: *Trans. of the ASAE.*, **23**(2), 503 (180)
9. Carroad, P. A., Singh, R. P., Chhinnan, M. S., Jacob, N. L. and Rose, W. W.: *J. Food Sci.*, **45**(3) 723(1980)
10. Singh, R.P., Carroad, P. A., Chinnan, M. S., Rose, W.W. and Jacob, N. L.: *J. Fd Sci.*, **45**(3), 735 (1980)
11. Kumar, R. and Singh, R. P.: *ASAE paper* No 80-6024 (1980)
12. Singh, R. P.: *Food Technol.*, **31**(3), 57 (1977)
13. 한국열관리 협회: 산업체 에너지 절약 특별조사에 관한 연구, 동력자원부, pp.741-871 (1979)
14. 한국통조림수출조합: 통조림 통계자료, **4**, 15 (1979)
15. 謝內馨: 양송이 통조림 식품의 부패원인균 구명파취각 가열 살균 조건설정 에 관한 연구, 고려대학교 대학원 박사학위논문, p.74 ((1980)
16. Spink, L. K.: *Principles and Practice of Flow Meter Engineering*, the Foxboro Company Massachusetts, p.365 (1961)
17. Anonymous: *Steam Consumption of Plant. Method of Estimating Steam Usage*, Spirax sarco Information Book, London, p.16 (178)
18. 전개근, 목철균, 장규섭: 한국식품과학회지, **11**(3), 157 (1979)
19. Tuve, G. L. and Domholdt, L. C.: *Engineering Experimentation*, McGraw-Hill Book Co., New York, p. 73 (1966)
20. 동아일보: 1981년 1월 31일자 2면