

# 代謝에너지 測定方法에 對한 最近 研究動向

韓仁圭·吳相櫟·宋萬康  
(서울大學校 農科大學)

## Recent Development for the Determination of Metabolizable Energy Values

Han I. K., S. J. Ohh and M. K. Song  
College of Agriculture, Seoul National University  
Suweon 170, Korea

### Summary

This is to review from the existing literatures the various methods of determination, problems involved in the determination of metabolizable energy (ME) values of poultry feedstuffs that is the most widely used energy term in poultry nutrition. An attempt will also be made to introduce the newly developed determination method of ME by Sibbald and his associates.

It was found that conventional methods of ME measurements such as total collection method and indicator method require a great deal of labor and time. It should also be pointed out that these methods have some technical problems as well. Experimental evidences indicate that the ME content of feedstuffs may be affected by breed, age, substitution level of basal diet, kind of basal diet, methods of chemical analysis and chemical composition of experimental diet.

Standard procedures and technical advantages of newly developed method of "True Metabolizable Energy" system are fully described.

## I. 緒 論

家禽營養에 있어서 飼料價値를 정확하게 평가하는 일은 매우 중요한데 그 중에서도 飼料의 有效에너지 함량을 정확하게 평가하는 일은 가장 큰 문제로 지적되어 왔다.

飼料에너지를 표현하는 방법으로 총에너지(gross energy : GE), 가소화에너지(digestible energy : DE), 代謝에너지(metabolizable energy : ME), 正味에너지(net energy : NE), 生産에너지(productive energy : PE), 可消化營養素總量(total digestible-nutrient : TDN) 등 여러가지가 사용되어 왔으나 PE는 Hill과 Anderson(1958)이 지적한 바와 같이 屠體分析을 통해 체내 에너지 축적량을 측정해야 하므로 과정이 복잡하고 측정상의 오차의 폭이 너무 커서 널리 사용되고 있지 아니하며 TDN은 畜 영양소의 소화율을 정확하게 구해야 하는 난점이 있어 양제사료에 있어서는 Anderson과 Hill(1955), Anderson(1958) 등이 지적한 바와 같이 비교적 정확하고 측정이 용이한 ME가 널리 사용 되었으며 따라서 이에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다.

代謝에너지란 사료의 총 에너지에서 糞으로 손실되는 에너지(fecal energy : FE)와 尿로 손실되는 에너지(urinary energy : UE) 및 가연성 개스(combustible gas)로 손실되는 에너지를 공제한 것으로 일단 체내에서 이용되는 에너지를 말한다. 이는 糞으로 손실되는 에너지 외에도 흡수된 사료의 蛋白質이 대사과정에서 尿素를 비롯한 creatine, allantoin 등 窒素化合物과 glucuronic acid, citric acid 등 非窒素化合物이 尿로 배설되므로 이들 化合物의 에너지를 공제해 준 것이다. 反芻動物에 있어서는 사료의 腸內 발효과정에서 methane, CO, acetone, ethane 등 가연성 개스가 생성되어 동물에 이용되지 않고 손실되므로 이를 보정해 준 것을 말한다. 消化器 구조상 총 배설량을 통하여 糞과 尿를 함께 배설할 뿐 아니라 反芻動物에서는 문제가 되는 가연성개스의 생산이 거의 없는 가금류에 있어서는 사료의 에너지 평가 방법으로 代謝에너지의 이용은 매우 적합한 것으로 여겨진다.

그러나 尿로 배설되는 窒素化合物은 대부분 사료 성분에서 오는 것이라 할 수 있지만 그 중에는 동물의 기초대사 과정에서 생성되는 内生尿窒素

(endogenous urinary nitrogen : UNe)도 상당량 포함되어 있으므로 이에 대한 부분은 尿에너지에서 공제한 후 代謝에너지를 산출하는 것이 보다 정확할 것이다. 그리하여 内生尿窒素 에너지를 보정해 주지 않은 전자의 경우를 우리는 보통 代謝에너지(classical metabolizable energy : ME)라고 하며 窒素均衡(zero nitrogen balance)상태로 정정하여 산출된 후자의 경우를 窒素訂正代謝 에너지(nitrogen-collected metabolizable energy : MEn)라고 한다. 그러나 Kleiber(1961), Baldini(1961), Lockhart 등(1963)은 一般 代謝 에너지와 窒素訂正代謝 에너지간에 별 차이가 없으므로 측정에 간편한 일반 대사에너지의 사용을 주장하기도 하였으나 최근의 대부분 연구 방향은 질소 정정대사 에너지를 이용하는 방향으로 기울어지고 있다.

代謝에너지의 測定이 사실상 어려우며 오차도 크기 때문에 최근 들어 Sibbald(1975, 1976, 1977)는 糞으로 손실되는 에너지 중에도 代謝過程에서 생성되는 代謝糞에너지(metabolic fecal energy : FEm)와 内生尿에너지(endogenous urinary energy : UEe)가 상당량 있음을 지적하고 이를 보정하여, 기존의 대사에너지 개념을 可視代謝에너지(apparent metabolizable energy : AME)라고 할때 이를 순 대사에너지(true metabolizable energy : TME)라고 하여 이것의 사용을 권장하고 있다.

## II. 과거의 代謝에너지 測定方法 및 問題點

양제사료의 代謝에너지價 測定方法에 관한 研究는 Fraps 등(1940), Halnan(1951), Axelson과 Eriksson(1951)에 의하여 시작 하였으며 Hill과 Anderson(1958)과 Sibbald 등(1959)이 집중적으로 연구한 바 있다. 일반적으로 代謝에너지 測定方法으로는 直接法에는 全糞採取法(total collection method)과 指示制法(indicator method)이 있는데 그 방법을 略說하면 다음과 같다.

### 1. 全糞採取法(total collection method)

全糞採取法이란 시험사료의 급여량을 측정하고 排泄物(excreta)을 定量物으로 수집하여 대사 에너지를 구하는 것으로 연구자에 따라서 다소 상이한 점은 있지만 일반적으로 널리 쓰이는 방법을 소개하면 다음과 같다. 우선 3~5일간의 예비시험 기간을

주어 탐으로 하여금 사료에 대한 적응력을 갖게한 후 4~7일간의 본 시험 기간중 기초사료에 시험 사료를 10~60% (Sibbald 등, 1959) 섞어주어 급여량을 정확히 평량하고 배설물을 가급적 사료, 羽毛 등 異物質이 섞이지 않도록 定量的으로 수집하여 試料의 自家分解를 최대한 방지하기 위해 회염산을 분무한 후 60~85℃로 조절된 건조기에서 24시간 · 건조시켜 정확히 평량한 후 시료가 잘 혼합되도록 분쇄하여 分析試料로 이용하며 代謝에너지는 다음과 같이 산출한다.

Classical ME

$$ME/gm\ feed = GE/gm\ feed - \left( \frac{DM\ in\ excreta\ (g)}{DM\ intake\ (g)} \times GE/gm\ excreta \right) \dots(1)$$

Corrected ME

$$ME_n/gm\ feed = classical\ ME - \left[ GN/gm\ feed - \left( \frac{DM\ in\ excreta\ (g)}{DM\ intake\ (g)} \times GN/gm\ excreta \right) \right] \times 8.73 \dots(2)$$

주: (1)GE: gross energy, (2)DM: dry matter, (3)GN: gross nitrogen, (4)8.73: Titus (1959)의 질소보정계수

상기(1) 및 (2)식에 의거 각 基礎飼料區 및 試驗飼料區의 代謝에너지 (ME<sub>n</sub>)를 구한후 알고자 하는 시험사료의 대사 에너지 함량은 다음과 같이 구한다. 代謝에너지 (kcal / gm)

$$\frac{100B - (100 - \text{시험사료대치수준}(\%)A)}{\text{시험사료대치수준}(\%)} \dots(3)$$

주: A: 기초사료구 ME價  
B: 시험사료구 ME價

여기서 全糞採取法의 問題點을 간략하게 살펴보면 다음과 같다. Carpenter와 Clegg (1956)는 이 방법이 우선 시험시작과 종료시의 消化管内 不消化物質의 含量은 원칙적으로 같다는 가정이 있어야 한다고 지적했으며 Sibbald 등 (1961)에 의하면 全糞採取法의 경우에 대표적 시료를 얻기위해 철저히 혼합해야 하고 糞에 異物質이 섞이기 쉬운점, 飼料攝取量과 排糞量을 정확하게 기록해야 하며 시료를 저장하고 건조하는 동안 變質되기 쉬운 것등 많은 문제점이 있다고 지적한 바 있다. McIntosh 등 (1962), Hill과 Kenner (1960), Halloran (1972) 등의 연구에서도 상기와 같은 문제점이 지적된 바 있으나 Schrch 등 (1950), Axelsson과 Eriksson (1951), Han 등 (19

76), 李와 韓 (1974)은 全糞採取法이 지시 제법보다 편리한 점이 많고 測定上의 오차도 적다고 지적한 바 있다.

## 2. 指示制法 (indicator method)

指示制法은 試驗飼料中에 일정량의 非吸收, 無害物質을 첨가해 사료와 배설물중의 指示制의 함량비율에 의하여 代謝에너지를 산출하는 것으로 指示制로는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Bolin 등, 1952), ferric oxide (Bergheim, 1926), barium sulfate (Vohra와 Kratzer, 1967), silca (Gallup, 1929) lignin (Kane 등, 1950), crude fiber (Almquist와 Halloran 1971) 등을 열거할 수 있다. 이 중에서도 가장 널리 사용되는 것이 chromic oxide (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로서 여기서는 chromic oxide를 이용한 代謝에너지 測定方法中 현재 보편적으로 채택되고 있는 Sibbald 등 (1959) 법에 관해 간략하게 설명하기로 하겠다. 우선 시험사료에 0.2~0.5%의 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 균일하게 혼합하여 급여한 후 排池物에서 분석에 필요한 시료를 가급적 고루 섞인 상태에서 異物質이 포함되지 않도록 상당량 채취하여 糞中의 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 농도를 分析한다. 그 밖의 시료의 처리 및 시험과정은 全糞採取法과 同一하게 실시하여 다음 公式에 의하여 代謝에너지를 구한다.

Classical ME

$$ME/gm\ feed = GE/gm\ feed - \left( \frac{Cr_2O_3/gm\ feed}{Cr_2O_3/gm\ excreta} \times GE/gm\ excreta \right) \dots(4)$$

Corrected ME

$$ME_n/gm\ feed = classical\ ME - \left[ GN/gm\ feed - \left( \frac{Cr_2O_3/gm\ feed}{Cr_2O_3/gm\ excreta} \times GN/gm\ excreta \right) \right] \times 8.73 \dots(5)$$

주: (1)GE: gross energy, (2)GN: gross nitrogen (3)8.73: Titus (1959)의 질소보정계수

다음 각 기초사료구 및 시험사료구의 대사에너지 측정치 끝난후의 시험사료에 대한 대사에너지 排出은 全糞採取法의 (3)式과 같다.

일반적으로 chromic oxide의 사용법은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 排池物에서 정량적으로 회수되기 때문에 사료와 배설물 중의 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 상대적 농도로 單位 飼料攝取

量當 排泄物量을 파악하는데 정확한 것으로 알려져 (Hill 과 Renner, 1960 : Sibbald 등, 1960 : Sibbald 와 Slinger, 1963), 飼料攝取量 및 排泄物量을 정량적으로 수집 할 필요성이 없는 이점이 있으나 chromic oxide를 사료에 균일하게 배합하기가 힘들고 배설물과 시료를 분쇄시 지시제의 分維方止가 어렵고 (Vohra, 1972) 분석상에 상당한 어려움이 뒤따르는 결점이 있을뿐 아니라 (Kohler와 Kuzmicky, 1970 : Halloran, 1972) 腸内에서의 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 비흡수여부도 의문시된다고 한다 (Vohra와 Kratzer, 1967).

chromic oxide의 분석방법은 크게 나누어 acid - digestion technique (Bolin 등, 1952 : Hill 과 Anderson, 1958 : Czarnocki 등, 1961) 과 alkali fusion technique (Schürch 등, 1950 : Dansky 와 Hill, 1952 : Brisson, 1956)으로 나눌 수가 있는데 Halloran (1972)은 chromium 분석에 있어 실험실별 오차가 크므로 분석방법의 통일이 시급하다고 지적 하였다. 그리하여 Novacek 와 Pattersen (1967)은 오차를 최대한 줄이기 위해 排泄物을 가능한한 많이 수집하는 것이 필요하다고 하였으며 Shannon 과 Brown (1970)과 Carew (1973)은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 분석상의 오차를 줄이기 위해 분석자의 고도의 기술 습득에 의한 colorimetric method와 absorption method의 이용이 필요하다고 주장하였다.

### 3. 間接法 (indirect method)

代謝에너지의 直接 測定方法이 시간과 노력이 많이 소요될 뿐 아니라 오차가 크기 때문에 사료의 성분이나 동물의 성장기록을 통한 대사에너지의 간접적인 산출에 관한 연구가 그동안 활발히 진행되어 왔다. Carpenter 와 Clegg (1956), Sibbald 와 Slinger (1963), Morimoto (1970) 등은 사료의 성분과 총 에너지로 부터 대사에너지 함량을 간접적으로 추정하는 방법을 연구 하였으며, Riee 등 (1957), Gordon 등 (1961), Yoshida 와 Morimoto (1970), Squibb (1971) 등은 동물의 성장기록을 통해 대사에너지價를 산출해 내기도 하였다. 최근에 Han (1976) 등은 사료를 그 조성에 따라 高炭水化合物사료, 高蛋白質飼料, 高脂肪飼料로 세분하여 ME의 간접적 산출식을 확립한 바도 있다.

사료의 대사에너지 함량을 간접적으로 추정하는 경우 그 정확성에 대해서 논란이 많은데 Carpenter

와 Clegg (1956)이 조사한 바에 의하면 옥수수, 대두박, 밀의 경우 간접 계산치와 Vohra와 Kratzer (1967)의 測定價間에 차이가 없다고 했으며 Begin (1961)도 같은 결과를 발표한 바 있다. 그러나 간접방법에 의한 ME價의 측정은 소화율과 깊은 관계를 가지는데 소화율 자체가 tannin (Vohra와 Kratzer 1967), Polysacchride (Bornstein 등, 1965), gossypol (Hill과 Tosuka, 1964) 등에 의해서 영향을 받기 때문에 ME價의 間接推定은 만족할만 한 것이 못되는 것으로 받아 들여지고 있다 (Hill과 Anderson, 1958)

### 4. 代謝에너지 測定上의 問題點

일반적으로 가금사료의 대사에너지 함량은 영양소의 理化學的 性質과 이 영양소의 동물체내에서의 이용목적, 또는 동물 자체등 요인에 의하여 상당한 영향을 받는 것으로 알려져 대사에너지 측정에 많은 문제점을 남기고 있는데 여기에서는 최근 가장 많이 논란이 되고 있는 몇가지 문제점에 관해 알아보기로 하겠다.

#### 가. 年令 및 品種에 따른 差異

일반적으로 대사에너지價는 닭의 품종이나 연령에 따라 약간의 변이가 있다. (Table 1)에서 보는 바와 같이 같은 사료라 할지라도 鷄種에 따라서 대사에너지價가 달라서 일반적으로 산란제가 육용제보다 높다.

또한 계종은 다르지만 Table 1에서 보면 연령이 많은 닭이 어린닭에 비해 에너지 이용률이 높은 것이 확실하다.

Table 1. Effect of breed and age on the ME values (kcal/g)

Feedstuffs	Breed & Age		t-test
	Meat-type (4 wks)	Egg-type (77 wks)	
Corn	3.243 ± 0.138	3.657 ± 0.160	P (0.01)
Wheat bran	1.739 ± 0.206	1.934 ± 0.246	
Soybean meal	2.510 ± 0.069	2.598 ± 0.145	

\* 90% dry matter basis Lee and Han (1974)

다른 연구를 살펴보면 Renner 와 Hill (1960), Sibbald 등 (1959), Sell (1966), Bayley 등 (1968), Lodhi 등 (1970), Rao와 Clandinin (1970), March 등 (1973)은 연령 및 품종에 따라 대사에너지價에 차이가 있는 것

으로 보고 하였으나 Yoshida 등(1964), Matterson 등(1958), Lodhi 등(1969)에 의하면 연령간에 에너지 이용률에는 차이가 없다고 하였다. 그러나 일반적으로 연령에 따라 대사에너지價에 차이가 있다는 것이 중론이어서 대사에너지 측정상의 문제점이 되고 있다.

나. 試驗飼料의 대치수준에 의한 變異

기초사료에 대한 시험사료의 대치수준에 따른 대사에너지價의 變異에 관해서도 최근 많은 연구가 이루어지고 있는데 일반적으로 대치수준이 아주 낮거나 아주 높은 경우에 영양소의 불균형 때문에 에너지의 이용율에 큰 차이가 생긴다는 보고가 많다.

Table 2. Effect of Substitution level of basal diet on ME values (cal/g)

Feedstuffs	Substitution level 1 (%) *			Substitution level 2 (%) *	
	10	20	30	20	40
Soybean meal(Korea)	2320	2410	2486	2691	2418
Soybean meal (US)	2363	2512	2557		
Sesame oil meal	1757	1835	1753		
Perilla oil meal	1930	2058	1997		
Corn				3655	3245

\* Lee et al (1973)

\*\* Lee and Han (1974)

Table 2를 보면 시험사료의 代置水準에 따라 ME價에 상당한 차이를 보이고 있는데 Baldini(1961), Anderson과 Hill(1955), Bornstein 등(1965)은 시험사료 대치수준이 ME價에 영향한다고 보고하였으며 Olson 등(1961, 1969), Sibbald 등(1962), Misra와 Potter(1970) 등은 큰 차이가 없는 것으로 보고하였다. 아무튼 시험사료의 대치수준에 따라 에너지價에 변이가 있다는 것은 기존의 대사에너지 측정방법에 문제점이 있음을 지적하는 것이라 하겠다.

다. 基礎飼料에 따른 變異

대사에너지의 측정을 위해 쓰이는 기초사료(basal diet)는 크게 나누어 반정제사료(semi-purified diet)와 관용사료(practical diet)로 구분되는데 이에 따라 대사에너지價에 차이가 나타나는 것으로 알려지고 있다. 반정제사료는 기초사료의 성분이

일정하고 순수하여야 他 사료로 대치시켜 대사에너지를 측정하는데 오차를 줄일수 있다는 면에서 유용한 것으로 알려진 반면 영양소의 불균형이 여러 가지 사료를 혼합한 관용사료에 비해 심하므로 논란의 대상이 되어 왔으며 관용사료의 경우 영양소의 불균형은 최대한 줄일 수 있으나 사료성분 자체의 變異가 심하다는 면에서 논란이 되고있다. 지금까지의 연구 결과로는 Table 3에서와 같이 반정제사료를 기초사료로 사용하는 경우 관용사료 이용시 보다 대사에너지價가 낮게 측정되고 있는데 이와같은 결과는 Cullen 등(1962), Sibbald와 Slinger(1963) 등에 의해서도 발표된 바가 있다. Rao와 Clandinin(1970)은 정제사료의 消化管 통과속도가 빨라 관용사료에 비해 충분한 효소의 작용을 받지 못하기 때문이라고 해설한 바 있다.

Table 3. Effect of basaldiet on ME values (cal/g)

Feedstuffs	Basal diet	
	Semi-purified	Practical
Corn	1994	3027
Wheat	2046	2557
Fish meal	2639	2752
Soybean meal	2454	2176

Chiang et al (1977)

라. 測定方法에 의한 誤差

이미 설명한 바와 같이 대사에너지의 직접측정법에는 全糞採取法과 指示制法이 있는데 이 두 방법상의 차이에 따른 ME價의 오차에 관한 문제가 제기되고 있다. Table 4에서 보는 바와 같이 일관적인 경향은 없으나(Han 등, 1976; Schürch 등, 1950; 李와 韓, 1974) 두 방법간의 차이는 상당한 것으로 보고 되었다. Hattan과 Owen(1970)은 전반적으로 전반적으로 全糞採取法으로 측정된 대사에너지價가 제시법으로 측정된 것보다 높았다고 주장하기도 하였다.

Table 4. ME values affected by method of determination (cal/g)

Feedstuffs	Method	
	Total collection	Indicator
Corn	3394	3506
Wheat bran	2178	1495
Soybean meal	2647	2462

Lee and Han(1974)

## 마. 기 타

위에서 열거한 외에도 대사에너지價에 영향을 미치는 요인은 여러가지가 있는데 일반적으로 동물은 維持, 成長, 生産 등 그 생리적 기능에 따라 ME價가 달라지는 것으로 알려져 Forbes에 의하면 維持時 에너지 이용효율이 가장 높은 것으로 나타났으며, 지방을 축적하는 肥育時에는 에너지 이용률이 낮다고 하였다.

사료의 영양소 함량 부족이나 결핍이 없을 수록 또는 여러가지 사료가 배합 될 수록 대사 에너지價는 증가하는 것으로 알려졌으며 (Renner와 Hill, 1960 Reddy 등, 1961 : Mcintosh 등, 1962 : Bayley 등, 1968) 한편 Axelesson과 Eriksson (1951), Hill 등 (1960)은 사료내 조섬유 함량이 증가함에 따라 ME價는 감소한다고 보고 하였다.

그 밖에 飼料攝取量이 ME價에 영향을 미치는가에 관한 研究결과를 보면 일반적으로 제한 급여와 무제한 급여간에 큰 차이는 없다는 것이 중론이지만 (Han 등, 1976 : Yoshida 등, 1964 : Anderson 등, 1958) Sibbald (1975)의 연구결과에 의하면 사료의 AME價는 사료섭취량에 영향을 받는다고 하였다. 이상으로 ME價에 영향을 미치는 요인을 살펴보았는데 이로서 기존의 대사에너지 측정방법에 많은 문제점이 있음을 알 수 있으며, 이의 해결을 위한 새로운 방법의 모색이 요구되어진다 할 것이다.

## Ⅲ. 새로운 測定方法에 관한 研究

1970년대에 이르러 보다 정확한 대사에너지 값을 측정하기 위한 방법이 캐나다의 Sibbald에 의해 연구되어 왔다. 糞으로 배설되어진 에너지에는 사료로부터 유래된 것도 있지만 담즙, 소화액 그리고 장기관에서 나오는 점막과 같이 대사 과정으로부터 생성되는 것도 있고 尿로 배설되어지는 에너지에는 組織分解産物에서 나오는 약간의 화합물로부터 유래되는 것도 있는데 前者를 代謝糞에너지 (metabolic fecal energy : FEm)라 하고 後者를 内生尿에너지 (endogenous urinary energy : UEe)라 한다. 종래 사용해 오던 AME의 경우에는 섭취한 총 에너지로부터 배설물에 들어 있는 에너지를 공제한 이른바 可視代謝에너지였으므로 이러한 FEm이나 UEe를 공제해 주지 않았기 때문에 정확성이 부

족하다 할 것이다. 여기에서 그는 可視代謝 에너지 (apparent metabolizable energy : AME) 價를 FEm + UEe 손실로 바꾸어 계산하므로써 TME價를 구할 수 있다고 하였다.

$$\text{즉 } \text{AME} = \text{feed energy} - \text{excreta energy}$$

$$\text{TME} = \text{feed energy} -$$

$$- [\text{excreta energy} - (\text{FEm} + \text{UEe})]$$

$$= \text{AME} + \text{FEm} + \text{UEe}$$

비록 FEm + UEe 値가 아주 적다 하더라도 이것이 AME 値에 영향을 주는 變異를 제거할 수 있기 때문에 중요하다 볼 수 있는 것이다.

### 1. TME 測定方法의 開發

사료의 AME價에 차이를 가져오는 원인을 究明하고자 여러마리의 닭에 서로 다른 종류의 사료를 급여하여 실험한 결과 (Sibbald와 Price, 1975) AME價가 實驗日字에 따라 매일 다르게 나타났다. 이같은 결과를 얻게된 이유는 주로 사료섭취량이 매일 달랐기 때문이었는데 이러한 문제점은 TME 측정방법을 이용하므로써 해결될 수 있었다. (Sibbald와 Price, 1975) Guillaume과 Summers (1970)에 의한 실험에서는 사료섭취량이 감소됨에 따라 AME價 역시 줄어든다고 했는데 이것은 적은 量의 사료를 섭취할 경우 charge 현상을 일으키기 때문이라고 하였다.

이러한 현상을 究明코자 成鷄 수탉을 이용하여 실험한 결과 糞에너지는 사료 섭취량이 감소 됨에 따라 일정하게 감소되거나 사료를 섭취하지 않았을 경우에도 상당한 에너지가 배설되었는데 이것이 바로 FEm + UEe 때문이라 하였다. (Sibbald와 Price 1975) 이밖에 AME방법에서의 변이의 원인이 품종, 계통 및 연령에도 관련된다고 하였으나 TME 방법을 이용할 경우 이러한 오차를 해소할 수 있었다. (Slinger 등, 1964 : March와 Biely, 1971 : Barley 등, 1968 : Lodhi 등, 1969 : Sibbald, 1975)

### 2. TME 測定方法

TME 측정을 위한 실험실에서는 실험동물로 單冠 白 (레그혼종 成鷄)가 주로 이용되었는데 그 이유는 첫째로, 비교적 일정한 상태를 유지하며 쉽게 비만되지 않고 둘째로, 폐사율이 낮기 때문이다. 사용되는 사육시설 및 준비도구는 다음과 같다. ① 사육기간 중에는 無窓, 12minch 철선 케이지가 사용

되는데 배설물 채집기간 동안에는 오염을 방지하기 위해 다른 케이지로 옮겨야 한다. ② 배설물은 분반이에서 주걱등을 사용하여 플라스틱 용기로 옮긴다. ③ 사료를 강제급여(forced-feeding) 할 때는 가는 스텐레스 파이프와 쇠꼬치를 사용하는데 이때 funnel의 길이는 15inch, 직경 0.5inch이다. ④ 배설물 시료를 그대로 보관할 경우에는 냉동고에 넣어 두어야 하며, ⑤ 시료를 건조시킬 때는 송풍건조기를 사용하는 것 보다 냉동 건조기를 사용하여야 분석오차를 줄일 수 있다. ⑥ 에너지價 측정을 위해 adiabatic oxygen bomb calorimeter가 필요하며, ⑦ 급여사료량과 배설물을 정확하게 평량하기 위해 저울도 있어야 한다.

Sibbald 팀 (1975)에 의해 연구된 TME 측정 방법을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 成鷄 수탉을 개체별로 케이지에 수용하되 약 21시간동안 絶食시킨다. 물은 자유로이 급여한다.
- 2) 供試鷄의 체중을 단 후 미리 정한 사료량을 정확히 강제급여 한다.
- 3) 닭을 케이지에 다시 넣고 그 밑에 플라스틱 그릇을 놓은 후 그때의 시간을 기록한다.
- 4) 동일한 체중의 닭을 선택하여 絶食시킨 상태로 케이지에 넣은 후 그 밑에 플라스틱 그릇을 놓고 다시 시간을 기록한다.
- 5) 요구하는 반복수에 따라 같은 방법을 되풀이 한다.
- 6) 정확히 24시간이 지난 후 플라스틱 분반이를 꺼내어 배설물을 수습 채취하여 냉동건조를 시킨후 風乾狀態로 한 다음 秤量한다.
- 7) 사료와 배설물의 시료를 분쇄하여 (20매쉬) GE를 측정한다.
- 8) 이러한 과정을 거친 후 다음과 같은 식에 의하여 TME 價를 계산한다.

TME (kcal/g, air dry)

$$= \frac{(Gef \times X) - (Yef - Yec)}{X}$$

X : 급여한 사료량 (g)

Gef : 시험사료의 GE (kcal/g)

Yef : 사료를 급여시킨 닭의 배설물로부터 측정된 에너지 (kcal/g)

Yec : 사료를 絶食시킨 닭의 배설물로부터 측정된 에너지 (FEm + UEe : kcal/g)

그러나 이러한 과정을 진행하는 데는 다음과 같

은 사항을 고려하는 것이 바람직 하다. 대체로 소화기관을 공백상태로 하기 위해 절식시키는데 18~25시간이면 충분하나 이 기간을 96시간으로 연장해도 시험사료의 TME 價에 아무런 영향을 미치지 않는다(Sibbald, 1976) 또한 배설장 주위의 깃털을 깎으면 케이지 밑에 플라스틱 그릇을 놓는 것보다 쉽게 배설물을 채취할 수 있다고 하였다. 그러한 반면에 실험용 닭으로 털갈이 하는 닭을 이용하는 것은 안되며 산란계도 실험에 이용할 수는 있지만 絶食 또는 사료의 강제급여 과정에서 오염된 연탄을 생산하는 경우가 있어 신중을 기해야 한다. 부로일러 종계나 칠면조 중 어느것도 사용이 가능하나 최근에는 부로일러가 자주 이용되는 경향이 있다.

(Sibbald, 1976)

여기에서 사료의 강제급여(forced feeding) 방법을 간단히 소개하면 다음과 같다. 먼저 왼쪽 거드랑이 사이에 닭을 끼워넣고 왼손으로 닭의 머리를 잡는다. 오른손으로는 funnel 을 쥐고 그것이 모이주머니에 닿을 때까지 식도 깊숙히 그러나 천천히 주입한다. 그 다음 왼손가락으로 funnel 을 고쳐잡고 오른손을 이용하여 funnel 에 정해진 量의 사료를 부어 넣고 funnel 에 들어있는 사료를 모이주머니로 서서히 밀어 넣는다. 이때 쇠꼬치나 유리막대기등을 이용하게 된다. 이러한 순서가 끝나면 funnel 을 빼내게 되는데 이때 funnel 주위에 묻어있는 사료를 밀어내기 위해 식도를 손으로 약간 압박하는 동시에 funnel 을 서서히 돌려 빼낸다.

대체로 닭에 급여시키는 시험사료의 量은 형태와 이용률에 달려 있으나 주입량이 많을수록 실험오차는 작아질 수 있다. 사료를 적게 주입하는 것은 주입량이 너무 많을 경우 주입된 사료를 토해내는 현상을 막기 위해서이다. 최근 Sibbald (1977)의 실험에 의하면 적정 주입량으로 40g전도가 좋다고 했으나 그후 다시 닭 체중의 1%정도 (20~25g)를 권장했으며 어떠한 사료를 주입하든 최소한 10g 이상은 필요하다고 했다. 그밖에 급여된 사료가 배설될 때까지는 대체로 24시간 정도면 충분하나 사료성분에 따라 더 많은 시간이 요구되는 특이한 사료가 있을지 모르며 배설물을 채취할 때는 깃털과 비늘이 오염될지도 모르니 이런점을 유의해야 할 것이다.

### 3. 試驗飼料를 이용한 AME 價와 TME 價의 비교

Sibbalb (1976)는 48마리의 成鷄를 이용하여 몇가지 시험사료의 AME 價와 TME 價를 비교하는 실험을 실시한 바 있다. 공시제의 절식시간을 24시간으로 하였는데 이때의 배설물로 부터 측정된 FEm + UEe는 마리당 9.84±0.28kcal였으며 이용된 닭의 개시체중은 2.42±0.04kg, 실험종료시 체중 감소량은 0.056±0.002kg이었다. 이때 24시간 동안에 배설한 것으로 부터 측정한 에너지의 回歸를 Ye라고 하고 사료 주입량을 X라 하여 각각의 시험사료의 TME 價를 측정하였다. 여기에는 X = 0 일때 Ye의 48개 값이 각각의 분석에 포함되었다. 이 결과를 요약하면 Table 5와 같다. 여기에서 회귀선의 예측된 집합점은 9.84kcal이었으며 회귀계수는 시험용 사료(feedingstuff)속의 非소화물질량에 따라 증가 되었으며 각 시험 사료에 대하여 Ye와 X 사이에 직선 관계를 보였다. 포도당을 제외한 모든 시험사료에 대한 상관계수는 고도의 有意性이 있었다 (P < 0.01) Table 5의 TME 價는 GE 價로부터 회귀계수를 빼어 계산했는데 예를들면 굵여시킨 보리의 GE 價가 4.012kcal/g이라 할 때 이것의 회귀계수는 0.600이었고 그때의 TME 價는 3.412kcal/g 이

었다. 포도당은 극히 낮은 회귀계수(0.008)를 보였는데 T-test에 적용시킬 경우 거의 0이나 마찬가지로 나타났다.

여기에 적용한 시험용사료의 ME 價와 TME 價의 계산방법은 다음과 같다.

$$ME \text{ (kcal/g)} = \frac{(GEf \times X) - Ye}{X}$$

GEf : 시험사료의 GE(kcal/g)

$$TME \text{ (kcal/g)} = \frac{(GEf \times X) - (Ye - 9.84)}{X}$$

이때의 9.84kcal은 全實驗기간인 24시간 동안 사료섭취에 관계없이 나온 FEm + UEe의 合計이다. 얻어진 AME와 TME 價를 비교하면 Table 6과 같다.

### 4. TME 測定方法의 長點

- 1) TME 방법은 시간적으로 4 週 이상을 요하는 AME 방법에 비하여 60시간이면 충분하여 실험기간을 줄일 수 있다.
- 2) 실험에 이용되는 닭은 반복하여 사용할 수 있다.
- 3) 供試鷄를 항상 보유할 수가 있어서 언제나 실험을 시작할 수 있다.
- 4) 실험사료 소요량이 적으며 시험사료비를 극소화 할 수 있다.

Table 5. The regression of energy voided as excreta (Ye) on feed input (X).

	Ye -	r'	D.F <sup>2</sup>	TME (kcal/g) <sup>3</sup>
Barley	10.03+0.600X	0.852	62	3.412
Corn	9.79+0.199X	0.775	61	3.931
Dextrose	9.77+0.008X	0.035	63	3.478
Fish meal	9.89+0.867X	0.945	54	3.889
Oats	9.76+1.624X	0.986	79	3.606
Rye	9.81+0.685X	0.930	57	3.446
Soybean meal	9.93+1.290X	0.958	56	3.074
Wheat	9.72+0.646X	0.938	59	3.458
Corn : soy chick diet	9.78+0.752X	0.930	55	3.375
Semi-purified chick diet	9.87+0.699X	0.917	53	3.508
Corn : soybean (50 : 50)	9.78+0.856X	0.946	55	3.382
Wheat : fish meal (50 : 50)	9.80+0.667X	0.932	57	3.263

1. Correlation coefficient

2. Degrees of freedom

3. True metabolizable energy expressed on air dry basis : calculated by subtracting the regression coefficient from the gross energy value.

Table 6. The apparrant and true metabolizable energy values of twelve feedingstuffs (kcal/g)

Feedingstuff	AME <sup>1</sup>	TME <sup>1</sup>
Barley	2.750±0.112	3.349±0.063
Corn	3.236±0.114	3.935±0.004
Dextrose	2.585±0.154	3.519±0.033
Fish meal	2.071±0.170	2.839±0.038
Oats	1.974±0.129	2.671±0.109
Rye	2.804±0.116	3.464±0.043
Soybean meal	2.241±0.158	3.028±0.039
Wheat	2.965±0.066	3.509±0.043
Corn : soy chick diet	2.702±0.126	3.426±0.074
Semi-purified chick diet	2.684±0.198	3.464±0.039
Corn : soybean meal (50 : 50)	2.741±0.151	3.415±0.062
W heat : fish meal (50 : 50)	2.657±0.120	3.283±0.051

1. Data expressed on air dry basis with standard errors of a mean .

5) 成鷄수함에 대한 케이지 가격이 바다리보다 싸며 유지비용 역시 적게 든다.

6) TME 측정에 소요되는 비용 역시 AME 방법보다 훨씬 적게 든다.

7) 노동력이 적게 든다.

8) 무엇보다도 측정치에 있어서 AME 방법보다 정확한 값을 얻을 수 있다.

9. AME 방법에서는 연령이나 품종 그리고 사료 섭취량에 따라 적지않은 오차를 보이는데 반하여 TME 방법은 그러한 영향을 받지 않는다.

그러나 TME 측정 방법에는 몇가지 문제점과 주의 사항이 있어서 아래에 설명코자 한다.

### 5. TME 測定方法의 問題點 및 注意事項

1) 사료의 강제급여가 어려움으로 세심한 주의가 요구된다.

2) 다른 성분과는 달리 脂肪의 TME 價를 분석하는데 어려움이 있는데 이러한 문제는 혼합사료를 이용함으로써 해결 할 수 있다. 이 경우 문제점이란 지방의 TME 價를 측정할 때 사료에 포함된 지방의 수준과 사료의 구성에 따라서 현저한 영향을 받기 때문이다. (Sibbald와 Kramer, 1977)

3) 사료공장이나 실험실에서 TME 방법을 이용할 경우 사료배합율표에 나타난 각각의 原 飼料에 대한 에너지價 역시 TME 방법에 의하여 얻어진 결

과를 이용해야 한다는 문제점이 있다. 그러나 TME 요구량에 필요한 자료를 얻는데는 많은 시간과 비용이 들게 된다. 따라서 여기에 AME 요구량을 TME 요구량으로 환산하는 방법을 소개하기로 한다. 예를들어 닭이 24시간 동안 200kcal의 AME가 필요하다고 하면, 그리고 그것의 FEm+UEe가 24시간당 10kcal이라 하고 사료섭취량에 변이가 없다고 가정하면 그때의 TME 요구량은 24시간당 210kcal가 된다. 또한 닭 a, b, c의 사료섭취량을 24시간당 각각 50g, 66.6g, 100g이라 하면 사료의 AME 價는 4, 3, 2kcal/g이며 TME 價는 4.2, 3.15, 2.1kcal/g이 된다. 이상적인 조건하에서 닭은 그들에 필요한 에너지량을 충족시킬 만큼 사료를 먹는 경향이 있는데 (Dansky와 Hill, 1951; Hill과 Dansky, 1954; Sibbald등, 1960) 이것에는 사료 g당 TME와 AME 사이에 직선관계가 있고 회귀선의 접합점이 0이며 TME 價가 AME 價에 비하여 커다란 변이를 보이지 않으므로 다음과 같은 式을 만들수 있는 것이다. 즉  $TME_r = a + bAME_r$  ( $a = 0, b > 1$ )

이러한 관계가 일정한 상태하에 있게 된다면  $TME_r - bAME_r$ 이 될 것이다. (R: 사료요구량) 여기에서의 회귀계수 b는 TME 價와 AME 價를 비교하여 얻을 수 있다. 이상과 같은 몇가지 문제점을 고려하여 적절히 대처한다면 좀더 정확한 TME 價를 얻을 수 있을 것이다.

#### IV. 要 約

가금영양에 있어 에너지 평가방법중 가장 널리 쓰이고 있는 대사에너지에 관해 기존의 측정방법을 고찰하고 최근의 연구방향을 살펴본 결과는 다음과 같다.

1. 현재 널리 사용되고 있는 全糞採取法과 指示制法에 관한 연구 결과를 검토한 결과 측정상에 많은 시간과 노력이 소요되며 기술상 상당히 어려운 면을 보여주었고 AME價는 (1) 供試鷄의 품종과 연령, (2) 시험사료의 대치수준, (3) 기초사료의 종류, (4) 사료의 화학분석 방법, (5) 사료의 組成分間 飼料

섭취량 등 많은 요인에 따라 상당한 변이를 나타내고 있어 기존의 대사에너지 측정방법에 많은 문제점이 있음을 시사하였다.

2. 최근 Sibbald 등에 의하여 창안된 순대사에너지 (true metabolizable energy)의 개념은 배설된 총 에너지로부터 代謝糞 에너지까지 공제하여 더욱 정확한 대사에너지價 측정방법을 확립시켰으며 기존 대사에너지 측정상 문제가 되었던 시간과 기술상의 문제를 비롯한 ME價에 영향하는 여타요인의 문제점을 개선시킨 권장할 만한 방법으로 받아들여지고 있다.

#### 〈參 考 文 獻〉

1. Anderson, D. L. and F. W. Hill. 1955. Determination of metabolizable energy values for chicks of pure carbohydrates, cellulose, fat and casein. Poultry Sci. 34:1176.
2. Anderson, D. L., F. W. Hill and R. Renner. 1958. Studies of the metabolizable energy and productive energy of glucose for the growing chick. Nutr. 65:561.
3. Almquist, H. J. and H. R. Halloran. 1971. Crude fiber as a tracer in poultry nutrition studies. Poultry Sci. 50:1233.
4. Axelsson, J. and S. Eriksson. 1951. Determination of ME in poultry foodstuffs and rations. Proc. Ninth World's Poultry Con. 2:160.
5. Baldini, J. T. 1961. The effect of dietary deficiency on the energy metabolism of the chick. Poultry Sci. 40:1177.
6. Barley, H. S., J. D. Summers and S. J. Slinger. 1968. Effect of heat treatment on the metabolizable energy value of wheat germ meal and other wheat milling by-products. Cereal Chem. 45:557.
7. Barley, H. S., J. D. Summers and S. J. Slinger. 1968. The effect of steam pelleting feed ingredients on chick performance: Effect on phosphorus availability, ME value and carcass composition. Poultry Sci. 47:1140.
8. Begin, J. J. 1961. A comparison of calculated and determined metabolizable energy values. Poultry Sci. 40:674.
9. Biely, J. and B. March. 1957. Fat and nitrogen retention in chicks fed diet containing different levels of fat and protein. Poultry Sci. 36:1235.
10. Bolin, D. W., R. P. King and E. W. Klosterman. 1952. A simplified method for the determination of  $Cr_2O_3$  when used as an index substance. Science. 116:634.
11. Bornstein, S., B. Lipstein and E. Alumot. 1965. The metabolizable and productive energy of carobs for the growing chick. Poultry Sci. 44:519.
12. Brisson, G. J. 1956. Note on the routine determination of chromic oxide in feces. Can. J. Agri. Sci. 36:210.
13. Carew, L. B., Jr. 1973. Establishing standardized procedures for metabolizable energy determinations (unpublished data).

14. Carpenter, K. J. and K. M. Jegg. 1956. The M E of poultry feedingstuffs in relation to their chemical composition. *J. Sci. Food Agr.* 7:45.
15. Childs, G. R. 1972. Factors affecting the ME values of feedstuffs for poultry. *Feedstuffs* (44), Feb. 38.
16. Cullen, M. D., O. G. Rasmussen and O. H. M. Wilder. 1962. Metabolizable energy value and utilization of different types and grades of fat by the chick. *Poultry Sci.* 41:360.
17. Czarnocki, J., I. R. Sibbald and E. V. Evans. 1961. The determination of chromic oxide in samples of feed and excreta by acid digestion and spectrophotometry. *Can. J. Ani. Sci.* 41:167
18. Dansky, L. M. and F. W. Hill. 1952. Application of the chromic oxide indicator method for balance studies with growing chickens. *J. Nutr.* 47:449.
19. Dansky, L. M. and F. W. Hill. 1951. The effect of energy level and physical nature of the diet on the growth and body composition of the chick. *Poultry Sci.* 30:310.
20. Davidson, J., I. McDonald, J. Mathieson and R. B. Williams. 1961. Utilization of dietary energy by poultry. 2. Effects of indigestible organic matter and protein on the utilization of M. E. for growth. *J. Sci. Food Agri.* 12:425.
21. Fraps, G. S., E. C. Carlyle and J. F. Fudge. 1940. Metabolizable energy of some chicken feeds. *Texas. Agr. Expt. Sta. Bull.* 589.
22. Gorden, R. S., L. J. Machlin and G. J. Marco. 1961. A reliable short growth test for evaluation of relative caloric value of fats and other feedstuffs. *Poultry Sci.* 40:1410.
23. Guillaume, J. and J. D. Summers. 1970. Maintenance energy requirements of the rooster and influence of plane of nutrition on metabolizable energy. *Can. J. Anim. Sci.* 50:363.
24. Halloran, H. R. 1972. A major problem in ME determinations of feedstuffs for poultry. *Feedstuffs* (44), Feb. 14.
25. Halnan, E. T. 1951. The nutritive (energy) value of poultry feeds. *Proceedings Ninth World's Poultry Congress.* 223.
26. Han I. K., H. W. Hochstetler and M. L. Scott. 1976. Metabolizable energy values of some poultry feeds determined by various methods and their estimation using metabolizability of the dry matter. *poultry Sci.* 55:1335.
27. Hattan, G. L. and F. G. Owen. 1970. Efficiency of total collection and chromic oxide technique in short term digestion trials. *J. Dairy Sci.* 53:1342.
28. Hill, F. W. and L. M. Dansky. 1954. Studies on the energy requirements of chickens. I. The effect of dietary energy level on growth and feed consumption. *Poultry Sci.* 33:112.
29. Hill, F. W., and D. L. Anderson. 1958. Comparison of ME and PE determinations with growing chicks. *J. Nutr.* 64:587.
30. Hill, F. W., D. L. Anderson, R. Renner and L. B. Carew. 1960. Studies of the metabolizable energy of grain and grain products for chickens. *Poultry Sci.* 39: 573.
31. Hill, F. W., and R. Renner. 1960. The metabolizable energy of soybean oil meals, soybean millfeeds and soybean hulls for the growing chick. *Poultry Sci.* 39:579.
32. Hill, F. W., and R. Renner. 1963. Effects of heat treatment on the metabolizable energy value of soybeans and extracted soybean flakes for the hen. *J. Nutr.* 80:375.
33. Hill, F. W. and K. Totsuka. 1964. Studies of the ME of cottonseed meal for

- chicks with particular reference to the effects of gossypol. *Poultry Sci.* 43:362.
34. Kalmbach, M.P. and L.M. Potter. 1959. Studies in evaluating energy content of feed for chicks. *Poultry Sci.* 38:1217.
  35. Kane, E.A., W.C. Jacobson and L.A. Moore. 1950. A comparison of techniques used in digestibility studies with dairy cattle. *J. Nutr.* 41:583.
  36. Kleiber, M. 1961. *The fire of life.* John Wiley and Sons. Inc. New York.
  37. Kohler, G.O. and D.D. Kuzmicky. 1970. Problems concerned with determinations and interpretation of ME values. *Feedstuffs*(42)Mar. 21.
  38. Lockhart, W.C., R.L. Bryant and D.W. Bolin. 1963. Factors affecting the use of classical metabolizable energy values in evaluation of poultry feeds. Research Report No. 10. North Dakota Univ.
  39. Lodhi, G.N., R. Renner and D.R. Clandinin. 1969. Studies on the ME of rapeseed meal for growing chickens and laying hens. *Poultry Sci.* 48:964.
  40. Lodhi, G.N., D.R. Clandinin and R. Renner. 1970. Factors affecting the metabolizable energy value of rapeseed meal. I. Goitrin. *Poultry Sci.* 49:289.
  41. Lodhi, G.N., R. Renner and D.R. Clandinin. 1970. Factors affecting the ME value of rapeseed meal. II. Nitrogen absorbability. *Poultry Sci.* 49:991.
  42. March, B.E., and Biely. 1971. Factors affecting the response of chicks to diets of different protein value:breed and age. *Poultry Sci.* 50:1036.
  43. March, B.E., T. Smith and S. El-Lakany. 1973. Variation in estimates of the metabolizable energy value of rapeseed meal determined with chickens of different ages. *Poultry Sci.* 52:614.
  44. Matterson, L.D., L.M. Potter, A.W. Arnold and E.P. Singen. 1958. Studies in evaluating energy content of feeds for the chick methods of evaluating feed ingredients for their ME in the chick. *Poultry Sci.* 37:1225.
  45. McIntosh, J.I., S.J. Slinger., I.R. Sibbald and G.C. Ashton. 1962. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 7. The effects of grinding, pelleting and grit feeding on the availability of the energy corn, wheat, oats and barley 8. A study on the affects of dietary balance. *Poultry Sci.* 41:445.
  46. Misra, H.P. and L.M. Potter. 1970. Available lysine, digestible protein and metabolizable energy in corn gluten meal as measured in diets of young turkeys. *Poultry Sci.* 49:1416.
  47. Morimoto H. 1970. *Feedstuffs Science.* Yang Hyon Dang. Tokyo.
  48. Novacek, E.J. and C.F. Pattersen. 1967. ME of the anatomical parts and other fractions of western barley and the effect of enzymes and water treatment. *Poultry Sci.* 46:1008.
  49. Olson, D.W., M.L. Sunde and H.R. Bird. 1969. The ME content and feed value of mandioca meal in diets for chicks. *Poultry Sci.* 48:1445.
  50. Olson, G., W.C. Lockhart., D.W. Bolin and R.L. Bryant. 1961. ME values of soybean oil meal and meat meal as affected by protein level and type. *Poultry Sci.* 40:260.
  51. Potter, L.M. and L.D. Matterson. 1960. Metabolizable energy of feed ingredients for the growing chicks. *Poultry Sci.* 39:781.
  52. Rao, P.V. and D.R. Clandinin. 1970. Effect of method of determination on the ME value of rapeseed meal. *Poultry Sci.* 49:1069.
  53. Reddy, C.V., L.S. Jensen., L.H. Merill and J. McGinnis. 1961. Influence of pelleting on metabolizable and productive energy content of a complete diet for chicks. *Poultry Sci.* 40:1446.
  54. Renner, R. and F.W. Hill. 1960. Studies of the effect of heat treatment on the ME value of soybeans and soybeans flakes for the chick. *J. Nutr.* 70:219.

55. Renner, R. and F.W. Hill. 1960. Utilization of corn oil, lard and tallow by chickens of various ages. *Poultry Sci.* 39:849 .
56. Rice, E.E., W.D. Warner., P.E. Mone and C.E. Poling. 1957. Comparison of the ME contributions of food by growth comparisons under conditions of energy restriction. *J. Nutr.* 61:253.
57. Schurch, A.F., L.E. Loyd and E.W. Crampton. 1950. The use of chromic oxide as an index for determining the digestibility of a diet. *J. Nutr.* 41:629.
58. Sell, J.L. 1966. ME of rapeseed meal for the laying hen. *Poultry Sci.* 45:854.
59. Shannon, D.W.F. and W.O. Brown, 1970. A calorimetric estimate of the efficiency of utilization of dietary energy by the growing cockerel. *Brit. Poult. Sci.* 11:1.
60. Sibbald, I.R., J.D. Summers and S.J. Slinger. 1959. Factors affecting the ME content of poultry feeds. *Poultry Sci.* 38:1247.
61. Sibbald, I.R., J.D. Summers and S.J. Slinger. 1960. Factors affecting the ME content of poultry feeds. *Poultry Sci.* 39:544.
62. Sibbald, I.R., S.J. Slinger and G.C. Ashton. 1960. The weight gain and feed intake of chicks fed a ration diluted with cellulose or kaolin. *J. Nutr.* 72:441.
63. Sibbald, I.R., S.J. Slinger and G.C. Ashton. 1961. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 2. Variability in the M E values attributed to samples of tallow and undegummed soybean oil. *Poultry Sci.* 40:303.
64. Sibbald, I.R., S.J. Slinger and G.C. Ashton. 1961. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 3. The influence of kaolin and alphacel when used as ratio diluents. *Poultry Sci* 40 : 454
65. Sibbald, I.R., S.L. Slinger and G.C. Ashton. 1961. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 4. The influences of calcium, phosphorus antibiotics and pantothenic acid. *Poultry Sci.* 40:945.
66. Sibbald, I.R., S.J. Slinger and G.C. Ashton. 1962. The utilization of a number of fats, fatty materials and mixtures of evaluated in terms of ME, chick weight gains and gain, feed ratios. *Poultry Sci.* 41:46.
67. Sibbald, I.R., S.J. Singer and G.C. Ashton. 1962. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 5. The levels of protein and of test material in the diet. 6. A note on the relationship between digestible and metabolizable energy values. *Poultry Sci.* 41:107.
68. Sibbald, I.R., S.J. Slinger and W.F. Pepper. 1962. Interrelationships between riboflavin, niacin, vit B12 and methionine measured in terms of chick weight gains and dietary metabolizable energy values. *Poultry Sci.* 41:380.
69. Sibbald, I.R. and S.J. Slinger. 1962. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 9. Sodium chloride. *Poultry Sci.* 41:573.
70. Sibbald, I.R. and S.J. Slinger. 1962. The relationship between classical and corrected ME values. *Poultry Sci.* 41:1007.
71. Sibbald, I.R. and S.J. Slinger. 1962. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 10. A study of the effect of level of dietary inclusion on the ME values of several high protein feedingstuffs. *Poultry Sci.* 41:1282.
72. Sibbald, I.R., and S.J. Slinger. 1963. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 11. Acclimatization to a change of diet. *Poultry Sci.* 42:137.
73. Sibbald, I.R. and S.J. Slinger. 1963. A biological assay for ME in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. *Poultry Sci.* 42:313.
74. Sibbald, I.R., J. Czarnocki., S.J. Slinger and G.C. Ashton. 1963. The prediction of the M E content of poultry feedingstuffs from a knowledge of their

- chemical composition. Poultry Sci. 42:486.
75. Sibbald, I. R. and S. J. Slinger. 1963. Factors affecting the ME content of poultry feeds. 12. Protein quality. Poultry Sci. 42:707.
  76. Sibbald, I. R., S. J. Slinger and G. C. Ashton. 1960. The ME content of a chick starter diet diluted with cellulose and with kaolin. Poultry Sci. 39:1294.
  77. Sibbald, I. R. and K. Price. 1975. Variation in the metabolizable energy values of diets and dietary components to adult roosters. Poultry Sci. 54:448.
  78. Sibbald, I. R. 1975. The effect of level of feed intake on metabolizable energy values measured with adult roosters. Poultry Sci. 54:1990.
  79. Sibbald, I. R. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feedingstuffs. Poultry Sci. 55:970.
  80. Sibbald, I. R. 1976. The true metabolizable energy values of several feedingstuffs measured with roosters, laying hens, turkeys and broiler hens. Poultry Sci. 55:1459.
  81. Sibbald, I. R. 1976. The effect of duration of starvation of the assay bird on true metabolizable energy values. Poultry Sci. 55:1578.
  82. Sibbald, I. R. and J. K. G. Kramer. 1977. The true metabolizable energy values of fat and fat mixtures. Poultry Sci. 56 : 380
  83. Sibbald, I. R. 1977. The effect of level of feed input on true metabolizable energy values. Poultry Sci. 56:1622
  84. Slinger, S. J., I. R. Sibbald and W. F. Pepper. 1964. The relative abilities of two breeds of chickens and two varieties of turkeys to metabolize dietary energy and dietary nitrogen. Poultry Sci. 43:329.
  85. Squibb, R. L. 1971. Estimating the ME of foodstuffs with an avian model. J. Nutr. 101:1211.
  86. Titus, H. W., A. Mehring., D. Johnson., L. L. Nesbitt and T. Thomas. 1959. An evaluation of MCF, a new type of fat products. Poultry Sci. 38:1114.
  87. Vohra, P. 1972. Evaluation for M E for poultry. World's Poultry Science Journal. 29(2):204.
  88. Vohra, Y. and F. H. Kratzer. 1967. Absorption of barium sulfate and chromic oxide from the chicken gastrointestinal tract. Poultry Sci. 46:1603.
  89. Yoshida, M., H. Hoshii and H. Morimoto. 1964. Reliability of digestibility coefficient estimated with chicks. II. Errors in the estimation of metabolizable energy and digestible starch in a diet. Bul. Nat. Inst. Anim. Industry(Japan) 5:61.
  90. Yoshida, M. and H. Morimoto. 1970. Biological assay of available energy with growing chicks. Part II. Development of mini-test applicable to the small amount of the sample. Agric. Biol. Chem. 34:684.
  91. Young, R. J. and N. R. Artman. 1961. The energy value of fats and fatty acids for chicks. 2. Evaluated by controlled feed intake. Poultry Sci. 40:1653.
  92. Zelenka, J. 1968. Influence of age of the chicken on the metabolizable energy values of poultry diets. Br. Poultry Sci. 9:135.
  93. 李南珩, 金春洙, 陸鍾隆. 1973. 부로일러 初生雛에 있어서 粕類의 代謝에너지 測定에 關한 研究. 韓畜誌. 15: 29.
  94. 李奉德, 韓仁圭. 1974. 養鷄飼料의 代謝에너지 測定方法 比較에 關한 研究. 韓畜誌. 16:1.
  95. 蔣潤煥, 朴容潤, 姜泰洪, 池尙夏, 李榮商. 1977. 幼雛에 의한 飼料의 代謝에너지 測定方法에 關한 研究. 韓畜誌. 19: 393.