

## 병아리 사료에서 일반대사에너지와 순대사에너지의 이론적 정확성 비교를 위한 실험\*

지 규 만 · 박 종 호  
고려대학교 자연자원대학 축산학과

### Feeding Trials to Compare Theoretical Accuracy between Apparent and True Metabolizable Energy Systems in Chick Diets

Chee, Kew-Mahn and Park, Chong-Ho

Animal Science Department, College of Natural Resources, Korea University, Seoul, Korea

#### ABSTRACT

True metabolizable energy (TME) is believed a better indicator for animal performances than apparent metabolizable energy (AME) for excluding the endogenous energy losses from excreta. However, few researches have been conducted to compare superiority of any energy systems through practical animal feeding tests. Present study was to compare the energy systems in young chicks in terms of predictability of energy intake for the birds performances including body energy retention, and of methodological accuracy by evaluating reproducibility and additivity of energy values of feed ingredients and compound diets.

Five ingredients such as yellow corn, wheat, soybean meal, fish meal and wheat bran were measured for their various biological energy values. In the first feeding trial, chicks were restricted-fed the basal diet at 80, 60 and 40% on weight basis of the amount of feed ingested by chicks fed *ad libitum* the same diet. Chicks in the second trial were also restricted-fed diets at levels of 80, 70, 60 and 50% on energy basis of the amount consumed by the basal diet group fed *ad libitum*. The diets in the latter trial were, however, composed of different formulations from the basal diet. One-week-old, Single Comb White Leghorn male chicks were individually allotted in a cage on 10 cages/treatment basis and fed the diets for 14 days. Individual carcass energy was measured after the feeding trials.

Coefficients of variation of energy measurements were lesser for nitrogen-corrected AME and TME (AMEn & TMEn, respectively) than AME and TME values, suggesting that reproducibility of energy determinations by former systems could be better than the latters. The coeffi-

채택일 : 1992년 10월 26일

\*본 연구는 고려대학교 교수 연구비의 지원에 의해 수행되었다. 사용된 약자들은 다음과 같다. AME (AMEn), (nitrogen-corrected) apparent metabolizable energy; TME (TMEn), (nitrogen-corrected) true metabolizable energy; MFE, metabolic fecal energy; EUE, endogenous urinary energy; GE, gross energy; NRC, National Research Council.

coefficients for AME and TME were almost of the same values. Additivity obtained by the ratios between the calculated values and actual measurements appeared quite satisfactory for all the energy systems. Those of AME and TME however were relatively better than the other systems.

Regression coefficients ( $r^2$ ) between energy intake by various systems and chick performances appeared higher for TME, AMEn and TMEn than AME, implying that the former systems could provide better predictability for body weight gain and energy retention than the AME. The  $r^2$  values for TME and AMEn, particularly, for body weight gain were on the average 0.967 and 0.960, respectively. In conclusion, TME or AMEn can be recommended as a choice for dietary energy system in terms of performance predictability of the birds and of procedural convenience for the measurements.

KEY WORDS : metabolizable energy · apparent · true · chicks.

## 서 론

동물은 일반적으로 에너지 요구량을 충족하기 위해 사료를 섭취하므로<sup>5)</sup> 적정 영양소를 공급하기 위해서는 사료 에너지 농도의 정확한 평가가 필요하다. 사료 에너지 함량은 單胃 동물의 경우 일반적으로 대사에너지(metabolizable energy : ME)로 표현하고 있는데 ME함량은 섭취한 gross energy(GE)양에서 분과 뇨로 배설되는 GE양을 감해서 구한다.

ME에 代謝性 糞에너지(metabolic fecal energy, MFE)와 内生尿에너지(endogenous urinary energy, EUE)가 포함되어 있는지 여부에 따라 ME는 일반대사에너지(apparent ME, AME)와 순대사에너지(true ME, TME)로 구분된다. 일반 식품의 에너지함량 계산에 사용되는 Atwater의 생리적 연소열가<sup>7)</sup>는 이론적으로 AME와 같은 개념이다.

Sibbald(1976)는 절식시킨 동물(닭)의 배설물 중에서 MFE와 EUE성분이 차지하는 에너지량을 평가한 후 사료에서 유래된(소화되지 않고 배설되는) 에너지만을 구하여 TME 함량을 측정할 수 있는 방법을 제시하였다. TME 방법은 AME에 비해 사료의 에너지함량을 이론적으로 보다 더 정확하게 나타낼 수 있는 장점이 있으면서, 실험 동물이 약간 더 많이 필요한 것외에 측정절차에서 별로 다른점이 없기 때문에 기존의 방법보다 한

단계 향상된 에너지표현방식으로 평가되고 있다.

한편 사료의 ME 함량은 섭취한 질소가 동물 체내에 축적되는 정도에 의해서도 영향을 받게 되므로 축적된 질소의 보정에 의해 정확성을 높이는 nitrogen-corrected AME(AMEn)와 TME(TMEn)방법도 사용되고 있다<sup>14)</sup>. 그러나 TME방식이나 AMEn, TMEn등이 AME 방식보다 이론적인 정확성이 더 높다고 하는 주장은 그동안 단편적인 연구결과<sup>2,3)</sup>들에 의한 것이며 본 연구자들이 아는 한 이들 에너지값에 의해 배합한 사료를 실제 동물에게 급여하면서 서로간의 정확성을 체계적으로 비교한 연구는 아직 없는 것 같다.

본 연구에서는 병아리에게 보통 급여되고 있는 원료사료들의 AME, TME 및 이들의 질소보정 에너지가를 측정하였고, 이를 기초로 배합한 사료를 급여하면서 병아리의 실제 에너지축적량을 검토하여 여러 에너지 표현체계의 우수성을 종합적으로 상호비교하였다. 따라서 측정방법적인 관점에서는 에너지 함량의 변이계수, 계산치와 실제 측정치간의 비교에 의한 상가성(additivity)등을 평가하였다. 또한 동물의 생산성에 대한 예측능력을 평가하기 위하여 섭취한 에너지 양과 증체량, 사료효율 및 체 에너지 축적량과의 상호관계( $r^2$ )등을 검토하여 네가지 에너지 표현방식의 이론적 정확성을 비교하였다.

## 실험재료 및 방법

본 연구는 세 단계에 걸쳐 실시되었다. 실험 1에서는 연속되는 연구에 사용할 원료사료를 평가하였고, 실험 2와 3에서는 배합사료를 급여하면서 각각 다른 방식에 의해 섭취에너지와 축적에너지와의 관계를 조사하였다.

**실험 1.** 다섯가지 원료사료의 에너지 함량을 측정하였다. 곡류 두가지(옥수수, 소맥), 단백질 급원 두가지(대두박, 어분) 그리고 섬유소함량이 많은 밀기울등을 선택하여 AME, TME 및 이들의 질소보정에너지함량들을 조사하였다. 실험동물로 평균체중  $1.8 \pm 0.4$  kg인 약 30주령의 單冠백색 레그혼 수컷 19마리를 사용하였다. 이들은 14일 동안 하루 3회씩 끼니급식(meal feeding)을 시켰는데, 이는 소낭(crop)이 일시에 섭취한 다량의 사료에 적응할 수 있는 능력을 갖도록 하여 후에 사료를 강제로 급여할 때 그에 대해 잘 적응할 수 있도록 하기 위한 것이었다.

내생에너지 손실량(MFE+EUE)을 측정하기 위한 절식구에 4 마리, 각 원료사료당 한번에 3 마리씩 배치하여 5가지 원료사료의 에너지함량을 동시에 측정하였다. 이를 반복하여 결과적으로 각 원료사료마다 6 마리가 측정에 사용되었고 어느 한 개체가 같은 사료구에 반복하여 사용되지 않도록 하였다. 여섯번 측정된 값중에서 최대치와 최소치를 제외한 4번의 측정치에서 평균을 구하였다. 한번 사용된 닭은 다음 사용시까지 최소한 1주간의 휴식기간을 두었다.

**실험 2.** 실험 1에 사용된 원료사료를 이용하여 단일 배합율에 의한 사료를 만들었다. 대조구는 이 사료를 자유롭게 섭취토록 하였고, 이 대조구의 섭취량을 기준하여 중량기준(에너지를 기준하여도 동일함)으로 40, 60 및 80%의 세 수준으로 섭취량을 제한하는 실험구를 두었다. 이와 같이 네 수준의 급여구를 둔 이유는 수준별 사료 섭취량(에너지 섭취량)이 성장을 및 체내 축적에너지량에 미치는 영향을 조사하기 위한 것이었다.

**실험 3.** 네가지 실험사료(A, B, C 및 D)의 에

너지 함량을 AME를 기준하여 각각 대략 2800, 2900, 3000 및 3200 kcal/kg로 만들고, 조단백질 함량을 조절하여 calorie/protein 비율이 NRC(1984) 사양표준에서와 비슷한 수준(164)이 되도록 하였다. 이 실험의 네가지 사료구는 대조구의 사료섭취량(중량)을 기준하여 A, B, C, D 사료별로 각각 55, 65, 75 및 85%로 제한 급여함으로서 실제 에너지섭취량은 대조구의 에너지 섭취량을 기준하여 각각 50, 60, 70 및 80% 수준이 되도록 하였다.

실험 2와 3의 사료배합표와 영양소함량은 Table 1에서와 같다. 대조구 사료의 AME함량은 3.18 kcal/g, 조단백질 함량은 19.5%로 하였다. 실험 3의 네 사료들에 대한 AME, TME, AMEn 및 TMEn 값들은 Table 7에서와 같다. 실험 2와 3은 동시에 행해졌고 같은 대조구를 이용하였다. 두 실험에서 병아리 체조직에 축적된 에너지량은 실험종료시 empty body 상태에서 체조직내 총에너지로 부터 실험개시때 대표군의 체조직 에너지 함량을 감하여 구하였다.

실험사료의 영양소 함량은 자유급식의 조건하에서 모든 요구량이 충분히 만족될 수 있도록 공급하였다. 비타민과 광물질은 시판용 첨가제(Permamix, 중앙케미칼주식회사, 서울)를 사용하였다. 지방은 extra caloric effect<sup>6)</sup>가 사료에너지 이용성에 미칠 영향을 방지하기 위해 전혀 첨가하지 않았으며, 필수지방산 요구량<sup>8)</sup>은 옥수수에 함유된 linoleic 산으로 충분히 공급될 수 있다고 판단하였다.

실험 2와 3에 사용한 수평아리는 단관백색 레그혼 계통(천호부화장)이었으며 입추후 처음 1주간은 일반시판용 어린 병아리사료를 급여하였다. 6일령 때 10시간 이상 절식시켜 공복상태에서 개체별 체중을 조사하여 처리당 평균체중(54.3 g)이 최대한으로 비슷해지도록 하여 Randomized Block Design방식으로 배치하였다. 실험이 시작될 때의 도체성분을 알기위해 평균체중과 같은 병아리 8마리를 희생시켜 장내용물을 제거한 후 분석시까지 냉동보관하였다.

실험구는 처리구별로 10마리씩 개체별로 수용

일반대사에너지와 순대사에너지의 비교

Table 1. Formulations of diets fed to chicks in trials 2 and 3<sup>1)</sup>

Ingredients	Trials 2 & 3		Trial 3		
	Basal diet	Diet A	Diet B	Diet C	Diet D
	%				
Corn, yellow	60.7	37.4	47.2	55.0	66.8
Wheat	7.0	18.8	12.7	9.8	1.0
Soybean meal	22.2	8.1	13.7	18.5	24.3
Fish meal	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Wheat bran	2.5	28.1	18.9	9.2	0.4
Dicalcium phosphate	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
CaCO <sub>3</sub>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
L-lysine <sup>2)</sup>	—	0.1	—	—	—
NaCl	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Premix <sup>3)</sup>	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Nutrient contents, calculated				
Crude protein, %	19.5	16.8	17.9	18.8	19.8
AME <sup>4)</sup> , kcal/g	3.18	2.77	2.93	3.08	3.25
Calorie/protein	163	165	164	164	164
Lysine, %	1.04	1.04	1.05	1.12	1.16
Methionine + cystine, %	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70

1) The basal was the only diet fed in Trial 2. The basal was also used as a control diet in Trial 3. The other diets were restricted-fed to chicks in Trial 3 in order to ingest predetermined amount of energy.

2) Miwon Co. (Seoul), purity 80%.

3) Vitamin and mineral premix contained (kg diet): vitamin A, 9000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 1800 IU; vitamin E, 3.6 IU; vitamin K<sub>3</sub>, 1.8 mg; riboflavin, 3.0 mg; pyridoxine, 0.36 mg; cyanocobalamin, 9.6 ug; vitamin C, 12 mg; pantothenic acid, 3.6 mg; niacin, 9.6 mg; choline chloride, 240 mg; Fe, 18 mg; Mn, 30 mg; Cu, 3.0 mg; I, 0.36mg; Zn, 12 mg

4) Apparent metabolizable energy, calculated

함으로서 10반복의 data를 얻을 수 있게 하였고, 실험사료 급여기간은 14일간이었다. 제한급여구는 1일 급여량을 하루에 3회로 나눠 급여하였다. 사료 섭취량은 매일 조사하였으며 체중은 매주 측정하였는데 실험종료시에는 절식을 하지 않은 상태에서 경주골 분리에 의해 회생시킨 후 장내용물을 제거하여 empty body weight를 조사하고 도체분석시 까지 -20℃에 냉동보관하였다.

실험 2와 3에서 도체 에너지함량은 병아리 개체별로 15 psi(120 C)에서 autoclaving 처리한후 Warring blender로 균질화하면서 채취한 시료로 측정하였다. 원료사료 및 배합사료의 대사에너지 함량은 Sibbald(1976)가 보고한 방법을 약간 변형하여 사용하였다. 실험용 닭들은 사료급여 전

30시간 동안 절식시켰고 조사코자하는 사료를 급여후 다시 30시간 굶기면서 분과 노배설물을 정확하게 채취하였다. 사료는 물과 1:1.2의 비율로 혼합하여 blender에서 약 1분간 균질화한 후 주사기 (50 cc)에 연결한 튜브를 통해 닭의 소낭에 강제로 주입하였다. 사료의 주입량은 개체체중의 2% 정도가 되도록 하였고, 주입량은 주사기의 무게를 달아 조사하였다. 배설물 채취 시간중 물은 자유롭게 섭취토록 하였다. MFE와 EUE 측정에 사용된 닭들은 30시간 절식후 그 다음 30시간 동안 계속 굶는 상태에서 배설물을 채취하였다.

배설물 채취기간을 30시간 동안으로 한 것은 예비실험에서 증병아리에게 사료를 강제급여한 후 소장내 사료 잔유량과 배설물량을 시간별로 조사

하여 얻은 결론 때문이었다. 사료주입 후 배설물량이 계속 감소하다 27~28시간 정도 부터 최소 수준에 도달하였고, 그후 48시간째 까지 그 수준이 일정하게 유지되는 것이 관찰되었다. 여기서 관찰된 시간에 10%의 안전수준을 두어 30시간을 채취시간으로 하였다(unpublished data). 배설물은 닭의 총배설장 주위에 부착해 놓은 비닐 주머니를 이용하여 채취하였다. 비닐 주머니는 직경 3cm 크기의 plastic ring에 부착하여 Sibbald(1976)의 방식에 의해 양쪽 어깨부위에 매어는 끈을 이용하여 總排泄腔 주위에 고착시켰다.

채취한 배설물은 90°C의 건조기에서 건조시킨후 GE와 질소함량을 조사하였다. 원료사료 및 배설물의 일반조성분 함량은 A.O.A.C.(1980) 방법에 준하여 분석하였다. 사료, 배설물 및 도제 homogenate의 GE함량은 ballistic bomb calorimeter (Gallenkamp Co., 영국)를 이용하여 조사하였다. 사료의 AME, TME 및 AMEn 과 TMEn는 Sibbald(1975)공식에 의해 다음과 같이 계산하였다.

$$AME = (E \text{ INTAKE} - E \text{ EXCRETED}) / \text{FEED INTAKE}$$

$$TME = [E \text{ INTAKE} - (E \text{ EXCRETED} - \langle MFE +$$

$$EUE \rangle)] / \text{FEED INTAKE}$$

$$AMEn = AME - 8.22[(N \text{ CONSUMED} - N \text{ EXCRETED}) / \text{FEED INTAKE}]$$

$$TMEn = TME - 8.22[(N \text{ CONSUMED} - N \text{ EXCRETED}) / \text{FEED INTAKE}]$$

여기서 8.22는 질소보정계수로서 조류의 뇨배설물중 질소가 uric acid형태이므로 uric acid N 1g당 에너지(kcal)를 뜻한다<sup>9)</sup>. 질소보정은 질소균형(nitrogen balance)이 완전하게 이뤄진, 즉 zero balance 상태를 기준하여 계산하였다.

본 연구의 모든 data는 one way analysis of variance에 의해 분산분석하였으며, 각 평균간의 유의성 검정은 Duncan's Multiple Range test에 의해 p<0.05 수준에서 조사하였다. 섭취한 에너지량과 사료량, 증체량 및 축적된 에너지량과의 상호관계는 회귀계수(regression coefficient, r<sup>2</sup>)를 구하여 비교하였다<sup>13)</sup>.

### 실험 결과 및 고찰

실험 1. 본 실험에 사용한 원료사료들의 일반 조성분 및 GE 함량과 AME, TME, AMEn 및 TMEn

Table 2. Chemical compositions and energy values of the feed ingredients<sup>1)</sup>(Trial 1)

Items	Yellow	Soybean	Fish	Wheat	Bran
	Corn	Wheat	Meal	Meal	
Proximate composition, %					
Moisture	13.0	12.7	11.4	10.0	12.5
Crude Protein	7.6	13.7	45.1	61.7	15.1
Ether Extract	2.2	1.6	1.3	8.4	3.2
Crude Fiber	1.6	2.3	5.5	0.1	8.1
Crude Ash	1.0	1.5	6.1	15.3	5.0
N-free Extract	74.6	68.2	30.6	4.5	56.1
Energy values determined, kcal/g					
Gross Energy	4.07	3.84	4.33	4.45	4.11
Apparent ME <sup>2)</sup>	3.76±0.06 <sup>4)</sup>	2.93±0.03	2.23±0.14	2.84±0.09	1.67±0.07
True ME	4.26±0.08	3.45±0.09	2.74±0.14	3.48±0.17	2.48±0.19
Apparent MEn <sup>3)</sup>	3.77±0.04	3.13±0.03	2.36±0.10	3.19±0.01	1.82±0.03
True MEn	3.88±0.05	3.24±0.04	2.46±0.10	3.45±0.28	1.98±0.02

1) Data were expressed as fed basis

2) Metabolizable energy

3) Nitrogen-corrected metabolizable energy

4) Mean±S.D.

일반대사에너지와 순대사에너지의 비교

함량은 Table 2에서와 같다. 이들은 옥수수를 제외하고는 대개 알려진 성분함량의 범위였다<sup>8,9)</sup>. 어분은 조희분 함량이 많음에도 불구하고 조지방 함량이 많았기 때문에 에너지 함량이 가장 높았다. 원료별로는 곡류사료의 AME가 2.93~3.76kcal/g으로 역시 가장 높은 에너지를 보였고, 다음에

어분, 대두박, 밀기울의 순서로 감소하였다. 에너지 체계별로는 TME>TMEn>AMEn>AME의 순서로 높게 나타났다. 또한 AMEn과 TMEn값의 차이는 평균 0.15 kcal로 AME와 TME의 차이(0.60 kcal)보다 적었다.

옥수수의 조단백질 함량은 일반적으로 알려진

Table 3. Coefficients of variation of various energy measurements of the feed ingredients and formulated diets

Ingredients	Metabolizable Energy		N-corrected ME	
	Apparent	True	Apparent	True
Trial 1				
			%	
Yellow Corn	1.60	1.85	1.15	1.22
Wheat	1.10	2.70	0.86	1.10
Soybean Meal	6.14	5.10	4.06	3.91
Fish Meal	3.10	4.73	4.20	8.18
Wheat Bran	3.90	7.56	1.83	1.00
Mean± S.D.	3.17± 1.8	4.39± 2.0	2.42± 1.4	3.08± 2.8
Trial 3 <sup>1)</sup>				
Control diet	3.90	3.57	2.15	2.10
Diet A	2.18	2.69	1.70	1.81
Diet B	3.23	3.60	1.62	1.74
Diet C	2.22	2.41	1.47	1.45
Diet D	3.08	2.33	2.42	1.05
Mean± S.D.	2.92± 0.65	2.92± 0.56	1.87± 0.36	1.63± 0.36

1) For diets in Trial 3, refer to Tables 1 & 7.

Table 4. Feed intake, body weight gain, feed/gain ratio of chicks fed various levels of energy<sup>1)</sup>

Types of diets	Energy allowed to ingest	Feed Intake	Body Weight Gain	Feed/Gain Ratio
Trial 2	% Control		g/bird/day	
Basal diet	100 <sup>2)</sup>	22.0± 1.2 <sup>a</sup>	11.2± 0.4 <sup>a</sup>	1.97± 0.02 <sup>a</sup>
∕	80	16.7± 0.5 <sup>b</sup>	8.3± 0.2 <sup>b</sup>	2.01± 0.04 <sup>a</sup>
∕	60	12.6± 0.1 <sup>c</sup>	5.9± 0.2 <sup>c</sup>	2.17± 0.07 <sup>b</sup>
∕	40	8.5± 0.1 <sup>d</sup>	3.3± 0.1 <sup>d</sup>	2.60± 0.10 <sup>c</sup>
Trial 3 <sup>3)</sup>				
Basal diet	100	22.0± 1.2 <sup>a</sup>	11.2± 0.4 <sup>a</sup>	1.97± 0.02 <sup>a</sup>
85% with diet D	80	18.2± 0.2 <sup>b</sup>	9.8± 0.2 <sup>b</sup>	1.86± 0.04 <sup>b</sup>
75% with diet C	70	16.5± 0.1 <sup>c</sup>	8.4± 0.1 <sup>c</sup>	1.97± 0.03 <sup>a</sup>
65% with diet B	60	14.6± 0.1 <sup>d</sup>	6.9± 0.1 <sup>d</sup>	2.11± 0.02 <sup>c</sup>
55% with diet A	50	12.7± 0.1 <sup>e</sup>	5.4± 0.1 <sup>e</sup>	2.35± 0.03 <sup>d</sup>

1) Mean values of 10 birds/treatment. Mean S.E. Means for each trial in a column carrying different superscripts are significantly different at p<0.05

2) The control group was *ad libitum* fed the basal diet. The other groups were allowed to consume the basal diet (Trial 2) or diets A, B, C or D(Trial 3) at the indicated levels.

3) For diets A, B, C and D, and their energy levels, refer to Tables 1 & 7

양(8.5%) 보다 적었지만 에너지 값은 오히려 일반 함량 (3350kcal/kg)<sup>8)</sup>보다 약간 높은 경향이었는데 이는 옥수수 품종이나 품질에 따라 차이가 생길 수 있다고 본다. 실제로 Wolynetz(1984)와 Parsons (1983)은 옥수수 g당 각각 3.57과 3.73kcal의 AME함량을 보고한 바 있다. 일반적으로 밀기울의 에너지 함량은 국내산과 외국산(미국)간에 함량이 다르며 국내산의 에너지농도가 더 높게 보고되고 있다.

이는 소맥을 가공하여 밀기울을 생산하는 기계 설비에 차이가 있고 또한 외국에서는 밀기울을

보다 세분하여 가공하므로 외국의 wheat bran과 우리나라의 밀기울이 성분상 같지 않기 때문이다. 여기서 조사된 밀기울의 AME와 TME값은 조진환 (1981)이 보고한 수치와 매우 유사하다.

이들 원료사료의 에너지함량 측정치의 변이계수 (Table 3)는 평균 2.42에서 4.39%의 범위였는데 원료에 따라 심한 차이를 보였다. 원료별로는 옥수수(1.46)와 소맥(1.44)의 변이계수가 가장 적었고, 단백질 급원은 그보다 더 심한 변이를 보였다. 밀기울의 측정치도 변이가 크편이었으나 질소보정시 그 정도가 크게 줄어들었다. 대체로 AMEn의

Table 5. Efficiency of body energy retention in chicks *ad libitum* or restricted fed the basal diet (Trial 2) or various diets (Trial 3) at different levels

	Diet allowed to ingest, % Control					
	100	80	70	60	50	40
<b>Trial 2</b>						
Energy intake, kcal/bird/day						
Apparent ME <sup>1)</sup>	70.3 <sup>a</sup>	53.3 <sup>b</sup>	—	40.3 <sup>c</sup>	—	27.0 <sup>d</sup>
True ME	81.6 <sup>a</sup>	61.9 <sup>b</sup>	—	46.8 <sup>c</sup>	—	31.3 <sup>d</sup>
Apparent MEn <sup>2)</sup>	74.6 <sup>a</sup>	56.6 <sup>b</sup>	—	42.7 <sup>c</sup>	—	28.6 <sup>d</sup>
True MEn	76.9 <sup>a</sup>	58.4 <sup>b</sup>	—	44.1 <sup>c</sup>	—	29.6 <sup>d</sup>
Gross energy retained in body, kcal/bird/day						
	20.8 <sup>a</sup>	13.6 <sup>b</sup>	—	9.8 <sup>c</sup>	—	5.6 <sup>d</sup>
Efficiency of energy retention, %						
Apparent ME	29.6 <sup>a</sup>	25.5 <sup>b</sup>	—	24.4 <sup>b</sup>	—	20.8 <sup>c</sup>
True ME	25.6 <sup>a</sup>	22.0 <sup>b</sup>	—	21.1 <sup>b</sup>	—	17.9 <sup>c</sup>
Apparent MEn	27.9 <sup>a</sup>	25.0 <sup>b</sup>	—	23.0 <sup>c</sup>	—	19.6 <sup>d</sup>
True MEn	27.0 <sup>a</sup>	23.2 <sup>b</sup>	—	22.3 <sup>b</sup>	—	19.0 <sup>c</sup>
<b>Trial 3</b>						
Energy intake, kcal/bird/day						
Apparent ME	70.3 <sup>a</sup>	58.8 <sup>b</sup>	50.6 <sup>c</sup>	42.3 <sup>d</sup>	35.6 <sup>e</sup>	—
True ME	81.6 <sup>a</sup>	69.3 <sup>b</sup>	59.3 <sup>bc</sup>	49.9 <sup>cd</sup>	42.6 <sup>c</sup>	—
Apparent MEn	74.6 <sup>a</sup>	60.7 <sup>b</sup>	51.4 <sup>c</sup>	46.1 <sup>c</sup>	36.1 <sup>d</sup>	—
True MEn	76.9 <sup>a</sup>	63.5 <sup>ab</sup>	53.3 <sup>b</sup>	47.7 <sup>c</sup>	37.6 <sup>d</sup>	—
Gross energy retained in body, kcal/bird/day						
	20.8 <sup>a</sup>	18.1 <sup>b</sup>	14.0 <sup>c</sup>	11.5 <sup>d</sup>	8.5 <sup>e</sup>	—
Efficiency of energy retention, %						
Apparent ME	29.6 <sup>a</sup>	30.8 <sup>a</sup>	28.2 <sup>a</sup>	27.3 <sup>ab</sup>	23.8 <sup>b</sup>	—
True ME	25.6 <sup>a</sup>	26.2 <sup>a</sup>	24.1 <sup>b</sup>	23.1 <sup>b</sup>	19.9 <sup>c</sup>	—
Apparent MEn	27.9 <sup>a</sup>	29.8 <sup>a</sup>	27.8 <sup>a</sup>	25.0 <sup>b</sup>	23.4 <sup>c</sup>	—
True MEn	27.0 <sup>a</sup>	28.5 <sup>a</sup>	26.8 <sup>a</sup>	24.2 <sup>b</sup>	22.5 <sup>b</sup>	—

Means in a row carrying different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$

1) Metabolizable energy

2) Nitrogen-corrected metabolizable energy

일반대사에너지와 순대사에너지의 비교

변이폭이 가장 적었고 그 다음이 TME였고, 질소 보정에 의해 측정치의 변이폭이 적어지는 경향을 보였다. 또한 AME와 AMEn의 평균적인 변이계수는 TME와 TME<sub>n</sub>에 비해 더 적은 경향을 보였다.

**실험 2.** 병아리의 사료 섭취량, 증체량 및 사료효율(feed/gain)의 결과는 Table 4에서와 같고, Table 5에는 일당 평균 에너지섭취량, 체에너지 축적량 그리고 섭취에너지의 축적효율등을 나타내었다.

사료섭취량은 자유급식구인 대조구에서 일당 평균 22g이었고, 80, 60 및 40% 제한급여구에서 각각 16.7, 12.6 및 8.5 g 이었는데, 증체량 역시 이와 비슷한 경향을 보여 섭취량이 적은 실험구일수록 체중 증가량이 적었다. 사료효율은 대조구에서 1.97로 가장 좋았으며 80% 제한급여구는 이와 유의한 차이가 없었으나 그 이하로 제한한 경우 사료의 이용효율이 계속 저하되었다.

Table 5의 체에너지 축적율은 섭취량이 줄어들며 따라 전반적으로 낮아져서 AME 기준으로 29.6에서 20.8%로 감소하였다. 에너지 표현 방식간에 축적효율에 약간씩의 차이가 있어 AME>TME<sub>n</sub>>AMEn>TME 순서로 감소하였고 모든 처리구에서 AME로 나타냈을 때 가장 높은 효율을 보였다. Davidson (1965)도 AME값만을 이용한 이와 비슷한 연구에서 사료에너지 함량이 감소함에 따라 23에서 20.2% 수준으로 에너지 축적효율이 저하됨을 보고하였다. 한편 대조구의 40% 수준으로 급여하였어도 체에너지 함량의 증가와 체중 증가가 일어나고 있어 이 수준이 유지에너지 요구량 보다는 더 높음을 알 수 있다.

에너지 표현체계에 따른 에너지 섭취량과 증체량, 사료효율 및 체에너지 축적량과의 관계를 조사한 결과는 Table 6에서와 같다. 에너지섭취량과 가장 높은 상호관계( $r^2$ )를 보인것은 증체량 (평균 0.970)이며, 다음이 에너지 축적량(0.929), 사료 섭취량 (0.486)의 순서였다. 질소보정된 AMEn과 TME<sub>n</sub>은 증체량과의 관계에서 TME와 거의 비슷한 결과를 보였으나, AME에 비해 더 높은  $r^2$ 값을 보였다. 사료효율과 체에너지 축적량에서도 이와

Table 6. Regression coefficients ( $r^2$ ) between chick performances and energy intakes expressed by various systems<sup>1)</sup>

Energy system	Body weight gain	Feed/Gain Ratio	Retained Body Energy
Trial 2			
Apparent ME	0.949 <sup>a</sup>	0.480 <sup>a</sup>	0.910 <sup>a</sup>
True ME	0.975 <sup>b</sup>	0.484 <sup>b</sup>	0.935 <sup>b</sup>
Apparent MEn	0.977 <sup>b</sup>	0.490 <sup>c</sup>	0.936 <sup>b</sup>
True MEn	0.977 <sup>b</sup>	0.490 <sup>c</sup>	0.935 <sup>b</sup>
Trial 3			
Apparent ME	0.836 <sup>a</sup>	0.650 <sup>a</sup>	0.760 <sup>a</sup>
True ME	0.960 <sup>c</sup>	0.762 <sup>c</sup>	0.820 <sup>a</sup>
Apparent MEn	0.944 <sup>b</sup>	0.760 <sup>c</sup>	0.811 <sup>a</sup>
True MEn	0.943 <sup>b</sup>	0.753 <sup>b</sup>	0.815 <sup>a</sup>

1) For abbreviations, refer to Table 5. Means for each trial in a column carrying different superscripts are significantly different at  $p < 0.05$ .

비슷한 결과가 나타났으며 이는 결국 TME나 질소보정된 에너지 표현방식 방식이 AME방식에 비해 병아리의 생산능력을 더 잘 나타낼 수 있음을 말해준다.

**실험 3.** 배합율이 서로 다른 사료를 이용한 실험의 결과는 Table 4에서와 같으며, 사료섭취량, 증체량 및 사료효율에서 모두 실험 2에서와 비슷한 범위의 성적을 보였다.

Table 5의 에너지섭취량과 체에너지 축적량 및 에너지축적효율에서 에너지 축적효율이 앞 실험에서 보다 약간 더 높게 나타나기는 하였으나 전반적으로 비슷한 경향의 반응을 보였다. 역시 앞 실험에서와 마찬가지로 AME로 표현한 축적효율이 가장 높게 나타났고 TME가 가장 낮은 효율을 보였다. 그러나 이는 축적된 에너지 함량이 고정되어 있는 반면에 섭취한 에너지량은 AME로 표시할 때 가장 적고 TME로 나타낼 때 가장 많기 때문에 초래되는 현상에 불과하며, AMEn이나 TME<sub>n</sub>으로 표현한 효율이 그 중간에 속하는 것도 같은 이유라고 생각된다. 따라서 Table 5의 결과로서 AME 표시 방법이 에너지 축적효율을 가장 잘 반영한다고 결론내릴 수는 없다. 이 Table의 에너지 섭취량은 각 사료별로 여러 표현방식의



Table 7. Degree of additivity expressed by the ratios between determined and calculated energy values of the experimental diets(Trial 3)

Energy values	Diets <sup>1)</sup>					Mean± S.D.
	Control	A	B	C	D	
Apparent ME <sup>2)</sup>						
Calculated <sup>4)</sup>	3184	2769	2929	3082	3249	—
Determined <sup>4)</sup>	3194	2814	2895	3069	3235	—
D/C×100 <sup>5)</sup>	100.3	101.6	98.8	99.6	99.6	100.0± 0.94
True ME						
Calculated	3700	3259	3493	3617	3758	—
Determined	3705	3367	3416	3595	3809	—
D/C×100	100.1	103.3	97.8	99.4	101.4	100.4± 1.86
Apparent MEn <sup>3)</sup>						
Calculated	3259	2881	3026	3166	3313	—
Determined	3386	2855	3157	3118	3351	—
D/C×100	103.9	99.1	104.3	98.5	101.1	101.4± 2.40
True MEn						
Calculated	3319	3014	3152	3287	3428	—
Determined	3495	2972	3268	3230	3005	—
D/C×100	105.3	103.3	97.8	99.4	101.4	100.4± 2.78

<sup>1)</sup>For diets, refer to Table 1

<sup>2)</sup>Metabolizable energy

<sup>3)</sup>Nitrogen-corrected metabolizable energy

<sup>4)</sup>Unit = kcal/kg diet

<sup>5)</sup>The ratio between determined and calculated energy values

에너지 함량을 실제로 측정하여 사용하였으며, 여기에 사용한 5가지 사료의 실제 측정치는 Table 7에서와 같다.

Table 6에서 에너지 섭취량과 병아리의 발육성적과의 상호관계는 역시 증체량( $r^2=0.921$ )이 에너지 측정량(0.805)이나 사료효율(0.731)보다 평균적으로 더 높은 경향을 보였다. 증체량과 가장 밀접한 관계를 보인 것은 TME 값(0.960)이었고, AME(0.836)와의 관계가 가장 적었다. TME와 질소보정환 에너지값들은 역시 모두 비슷한 수준이면서 동시에 AME보다 더 높은  $r^2$  값을 보였다.

사료효율이나 측정된 에너지에서도 마찬가지로 경향이어서 TME가 역시 가장 높은 계수를 보였으며 AME와의 관계가 가장 낮았다. Dale과 Fuller(1982)는 TME와 AMEn 값을 비교한 연구에서 사료효율과의 관계는 TME가 AMEn보다 더 높은  $r^2$  값을 보였다고 하였으나 본 연구에서는 두 표

현방법간에 전혀 차이가 없었다. 에너지측정량과의 관계는 본 연구에서와 같은 목적으로 병아리의 몸매 실제로 측정된 에너지함량을 조사한 연구를 발견하지 못하였으므로 이 결과를 다른 연구와 비교할 수 없었다.

실험 3에 사용한 5가지 배합사료에 대한 에너지값 측정시의 변이계수는 Table 4에서와 같다. AME와 TME는 평균 2.92%로 같은 수준인데 비해 TMEn이 1.63으로 가장 변이가 적었고 AMEn은 1.87로 역시 AME나 TME 보다는 더 좋은 편이었다. 실험사료의 에너지 값은 원료사료(실험 1)에 비해 변이가 적은 편이었고 질소보정에 의해 에너지값 측정의 정확성이 높아질 수 있다는 것이 두 실험에서 공통적으로 나타났다. 질소보정의 효과는 Sibbald와 Wolynetz(1985)에 의해서도 관찰되었는데 이들은 제한급여한 닭에서는 질소보정이 에너지 측정치의 변이를 감소시켰으나 자유

## 일반대사에너지와 순대사에너지의 비교

급식에 의한 에너지 값에서는 오히려 그 반대되는 현상이 나타났다고 보고하고 있다.

실험 3에 사용된 실험사료의 실제 에너지 측정치와 원료사료 별로 측정된 에너지 값의 합계에 의한 예상치의 비율을 구하여 에너지 값의 상가성(additivity)을 조사하였다(Table 7).

모든 에너지표현 체계에서 계산에 의한 예상치와 실제측정치의 비율이 대부분 평균 100에 근접하였으며, 이는 여러 연구자들<sup>2,3,12)</sup>이 이미 보고한 바와 같이 모든 에너지 값이 상가성이란 관점에서 만족할 만하다는 것을 보여주고 있다. 예상치와 측정치간에 차이가 가장 큰 경우는 TMEn의 평균 1.6%였으며 AME 값이 가장 적은 차이를 보였고, 그 다음으로 적은것은 TME의 0.4%였다. Dale 과 Fuller(1982)는 TME에서 평균 1.05%의 차이를 보고하고 있어 본 실험과 매우 비슷한 결과를 보였다.

한편 Table 7의 배합사료 에너지값에서도 AME는 네가지 표현방법중 가장 적은 에너지값을 나타내고 있는데 AME값을 AMEn이나 TME 및 TMEn으로 환산하면 배합사료에서 각각 평균 5.5, 17.9 및 9.1%의 에너지 증가가 있게된다. AME보다는 그외의 표현방법들이 사료의 에너지값을 이론적으로 보다 더 사실에 가깝게 나타내는 것이라고 믿고있기 때문에 이런 관점에서 사람 식품의 에너지 함량을 나타낼 때 Atwater의 생리적 연소 열가(즉 AME)의 사용은 식품 에너지를 앞에서와 같은 수준으로 과소평가하는 잘못을 저지르고 있지 않나 생각된다.

이상의 결과에서 볼 때 평가방법적인 면에서 AMEn이나 TMEn 같이 배설된 질소를 보정해준 에너지값이 AME나 TME에 비해 변이계수가 더 적어서 에너지 함량 측정시 재현성이 더 좋을 수 있음을 알 수 있다(Table 3). 그러나 계산치와 실제측정치의 비율에 의한 상가성은 AME와 TME가 AMEn, TMEn에 비해 더 좋은 경향을 보였고(Table 7), AME와 TME간에는 100 : 100.4로 거의 차이가 없었다.

에너지 평가의 이론적 정확성 면에서 볼 때 상

가성이 재현성보다 더 중요한 평가 기준이 될 수 있으나 본 연구에서 조사된 상가성은 네가지 에너지값에서 모두 만족할 만한 수준으로 관찰되었으므로 어느 방법을 사용하건 상가성에서는 문제가 되지 않는다고 생각된다. 재현성도 전반적으로 평균 1.63에서 4.39% 범위의 변이계수를 보여 실험동물을 이용한 평가로서는 만족할 만한 수준이라고 판단되며 특히 배합사료의 측정에서는 이보다 더 적은 변이가 나타나 방법간의 차이는 별로 문제될 만한 수준이 아니라고 판단된다.

병아리의 생산성(performances)과 사료에너지값과의 관계는 TME, AMEn 및 TMEn에서 서로 간에 대체로 비슷한 수준의  $r^2$ 값을 갖는 것으로 나타났고, 이들의  $r^2$ 값은 AME에 비해 증체량, 사료효율 및 에너지 측정효율에서 대부분 유의하게( $p < 0.05$ ) 더 높았다(Table 6). 특히 실험 3에서는 이 세가지 에너지 값중에서도 TME가 다른 것들에 비해 통계적으로 유의하거나 또는 숫자적으로나마 약간 더 높은 값을 보였다.

따라서 사료의 에너지값을 표현할 때 동물의 생산성에 대한 예측 능력의 정확성과 측정방법의 편리성이란 관점에서 TME 나 AMEn의 사용을 권장하는 것이 바람직하다는 결론을 내릴 수 있다고 본다. 네가지 방법중 큰 차이는 없으나 그래도 측정 절차가 가장 복잡한 것은 TMEn이고, 반대로 비교적 간편한 것은 AME 방법이라고 할 수 있다. TME와 AMEn은 그 중간에 해당된다.

Sibbald(1976)의 TME 측정방법을 쥐에게 적용하기 위해서는 강제급이와 또한 MFE+EUE의 측정을 위한 절식이 필요하다. 그러나 쥐에서는 강제급이가 용이하지 않으므로 AMEn방식의 적용을 고려할 필요가 있다고 본다. 닭에서도 절식방법에 의해 MFE와 EUE를 측정하는 것의 이론적 타당성에 의문이 제기되고 있으나 현재 이보다 더 우수한 방법이 나와있지 않기 때문에 불가피하다고 보고있다. 앞으로 인체나 실험용 쥐에서 TME를 활용할려면 MFE와 EUE 측정의 정확성을 더 높이는 연구가 필요한 과제라고 본다.

## 적 요

사료의 에너지함량을 metabolizable energy (ME, 대사에너지)로 표현할때 apparent ME (AME), true ME(TME), nitrogen-corrected AME (AMEn) 및 TME(TMEn)의 네가지 방식이 있다. TME나 AMEn, TMEn등은 AME보다 여러 관점에서 정확성을 높이기 위해 개발된 방법들이긴 하나 실제로 이들의 우수성을 종합적으로 검토한 연구는 거의 없는 것 같다.

본 연구는 에너지값의 이론적 정확성과 측정방법적인 면에서의 정확성이란 관점에서 이 네가지 표현방식을 비교 검토하는데 목적이 있었다. 옥수수, 소맥, 대두박, 어분 및 밀기울의 네가지 에너지값을 측정후 이를 기준하여 실험사료를 만들어 병아리에게 여러수준으로 급여하였다. 두차례의 병아리 사육실험에서 첫번째는 기초사료구의 AME 섭취량(100)을 기준하여 80, 60 및 40%의 네 수준으로 급여하였고, 두번째 실험에서는 배합율을 달리한 다섯가지 실험사료를 기초사료구의 AME섭취량(100)을 기준하여 80, 70, 60 및 50%의 다섯 수준으로 급여하였다. 일주령된 수평아리를 처리당 10수씩 개체별로 수용하여 14일간 실험사료를 급여하였다. 실험종료후 모든 병아리의 도체 에너지 함량을 분석하였다.

사료에너지 함량의 측정방법에 따른 변이계수는 AMEn과 TMEn이 AME, TME에 비해 더 적었고 이는 에너지 함량측정시 AMEn과 TMEn 방식의 재현성이 더 좋을 수 있음을 뜻한다. AME와 TME의 변이계수는 비슷한 수준이었다. 원료사료별로 측정된 에너지값의 합계에 의한 예상치와 배합된 실험사료의 에너지 측정치의 비율에 의한 상가성 (additivity)은 모든 에너지 표현방식에서 매우 좋게 나타났으나 AME와 TME가 비교적 더 좋은 값을 보이는 경향이였다.

병아리의 생산성 (증체량, 사료효율, 에너지축적율)에 대해 TME, AMEn 및 TMEn 가 AME 보다 대체로 더 밀접한  $r^2$ 값을 보였고, 이는 실험동물의 performance에 대한 예측능력에서 전자 세가지

방식이 그 만큼 더 우수함을 말해준다. 특히 TME와 AMEn의 증체량에 대한  $r^2$  값은 각각 평균 0.967과 0.960으로 매우 높았다.

결론적으로 사료의 에너지값을 표현할 때 동물의 생산성에 대한 예측 능력의 정확성과 측정방법의 편리성이란 관점에서 TME 나 AMEn의 사용이 권장할 만하다고 판단된다.

## Literature cited

- 1) A.O.A.C. Official Methods of Analysis (15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 1990
- 2) Dale NM, Fuller HL. Additivity of true metabolizable energy values as measured with roosters, broiler chicks and poults. *Poultry Sci* 59 : 1941-1942, 1980.
- 3) Dale NM, Fuller HL. Applicability of the true metabolizable energy system in practical feed formulation. *Poultry Sci* 61 : 351-356, 1982
- 4) Davidson J. The efficiency of conversion of dietary metabolizable energy to tissue energy in young chickens as measured by body analysis. In : Blaxter KL, ed. Energy Metabolism, Proceedings of the 3rd symposium held at Troon, Scotland, May 1964, Academic Press, London, 1965.
- 5) Forbes JM. The voluntary food intake of farm animals. Butterworth, London, 1986
- 6) Horani F, Sell JL. Effect of feed grade animal fat on laying hen performance and on metabolizable energy of rations. *Poultry Sci* 56 : 1972-1980, 1977
- 7) Lloyd LE, McDonald BE, Crampton EW. Fundamentals of Nutrition (2nd ed.). Freeman and Co., San Francisco, 1978
- 8) NRC. National Research Council. Nutrition requirement of poultry. The National Academy of Sciences. Washington, D.C., 1984.
- 9) Scott ML, Nesheim MC, Young RJ. Nutrition of the Chicken (3rd ed.). M.L. Scott & Associates, New York, 1982
- 10) Sibbald IR. The effect of the level of feed intake

일반대사에너지와 순대사에너지의 비교

- on metabolizable energy values measured with adult roosters. *Poultry Sci* 54 : 1990-1997, 1975
- 11) Sibbald IR. A bioassay for true metabolizable energy in feedstuffs. *Poultry Sci* 55 : 303-308, 1976
  - 12) Sibbald IR. A test of the additivity of true metabolizable energy values of feedstuffs. *Poultry Sci* 56 : 363-366, 1977
  - 13) Steel RGD, Torrie JH. Principle and procedures of statistics (2nd ed.), McGraw-Hill Book Co., New York 1960
  - 14) Wolynetz MS, Sibbald IR. Relationships between apparent and true metabolizable energy and the effects of a nitrogen correction. *Poultry Sci.* 63 : 1386-1399, 1984
  - 15) 조진환. 가금의 진정대사에너지(True Metabolizable Energy) 측정에 관한 연구. 고려대학교, 석사학위논문, 1981