돼지사료가공이 성장 및 환경에 미치는 영향

이상환 · 김인호*
단국대학교 생명자원과학부 동물자원학과

The Effects of Development and Environment on Swine Diets Processing

Lee Sang-Hwan · Kim In-Ho*
*Department of Animal Resource & Science, Life Resource & Science College, Dankook University

〈목 차〉

ABSTRACT
Ⅰ. 서 언
Ⅱ. 입자도 감소의 효과
Ⅲ. Expander 가공의 효과
Ⅳ. 적 요
참고문헌

ABSTRACT

In swine production, efficiency of utilization of nutrients is imperative. By embracing advances in processing techniques(i.e., fine grinding, pelleting, steam flaking, roasting, extrusion and expanding) nutrient utilization of feeds tuffs have greatly improved. Grinding is by far the most commonly used process with reduction of particle size. Expander, like extruders, are high-temperature and pressure-short-term processor. The purpose of using an expander is to improve pellet quality. Also, expanding of dietary ingredients indicates improvements in growth performance and nutrient digestibility. Because feed cost are easily the greatest economic input into swine production, maximizing nutrient utilization is an area that will continue to receive much attention. Therefore, much attention will continue to be placed on feed processing

* Corresponding Author : Prof. I. H. Kim, Dankook University / E-mail : inhokim@anseo.dankook.ac.kr

techniques that will give consistent improvements in animal performance and nutrient digestibility.

Ⅰ. 서 언

우리 나라의 양돈 산업은 국민 경제의 성장과 더불어 축산물의 소비 증가에 편승하여 꾸준한 발전을 거듭해 오고 있다. 더욱이 2000년 3월 대가축에서 구제역의 발생 이후 양돈의 수출중단과 사육두수 증가로 산지가격 폭락 우려에 따른 양돈 산업의 불황도 슬기롭게 대처해 나오면서, 2001년 농림부 통계 자료를 보면 양돈 배합 사료 생산량이 월 40~45만톤 수준까지 이르게 되었다. 하지만, 국내 배합 사료 산업은 생산 원료인 국내 부존 자원의 절대적 부족으로 인한 수급 불균형으로 인한 구조적 취약성을 무시할 수 없으며, 최근 들어서는 인간의 식량과 경합 가능성이 있는 사료 자원 즉, 곡류의 절대적 부족이 예견되면서 국내외적인 곡물 수급 불안정에 따른 해결 방안을 모색해야 할 때라고 본다. 특히 양돈 산업의 구조가 자본집약적 산업임을 고려할 때 투자 자본과 기술의 연계성은 필연적이라고 보며, 이에 따라 사료 원료의 가공 기술의 개선 등으로 생산성 향상을 위한 노력이 필요하다.

국내에서 생산되고 있는 양돈 배합 사료의 원료 중 에너지 공급원으로 사용되고 있는 곡류의 경우 수입 의존도가 80% 이상에 달하고 있으며, 특히 양돈 생산비 중 사료비가 총 양돈 생산비의 65~75% 정도의 높은 비중을 차지하고 있는 실정과 양돈 사료에 있어 가장 이상적인 에너지 원료라 할 수 있는 옥수수는 배합 사료 원료의 50~70%를 차지하는 곡물이라는 점에 착안하여, 원료의 이용성을 높일 수 있는 사료의 가공 방법에 대한 새로운 인식이 필요하다. 이에 따라 양돈 선진국에서는 1930년대부터 양돈 생산비 중 사료비용을 줄이고 돼지의 성장을 극대화하기 위한 방안으로 원료의 가공, 그 중에서도 옥수수의 가공 효과를 개선하여 영양소의 이용성 극대화 및 배설된 분중의 영양소의 손실을 방지하기 위한 방법에 관심을 가져 왔다. 한편, 해마다 높아지는 생활 수준과 이에 따른 육류 소비의 증가로 안전하고 깨끗한 육류에 대한 소비자들의 관심이 날로 높아지고 있는데, 국내 양돈 사료 원료의 대부분을 수입에 의존하고 있는 현실 속에 원산지의 다변화 속에 원료의 수송, 보관시의 기후와 상태에 따라 그 오염도의 변동이 클 수밖에 없는 실정이다. 특히 여름철에 고온 다습한 우리 나라의 기후 특성상 병원성 미생물과 그들이 생산하는 독소는 급격한 증가로 인하여 가축의 생산성 및 안전한 육류 생산에 위협을 조고 있다. 이중에서도 사람들에게 식중독의 원인균으로 인식되고 있는 살모넬라균에 대한 대안책이 필수적이며, 사료 배합시 활용되는 원료의 다양성 속에서도 배합사료의 위생과 이용성에 대한 관심 및 기대치를 만족시킬 수 있는 열처리 가공 방법으로 국내에서 가장 많이 상용화되기 시작한 열처리 가공 방법이 Expanding 가공 처리이다.

따라서 본 연구는 양돈 사료에 있어서 사료의 품질을 향상시키고자 1차적으로 입자도 감소에

따른 성장 및 영양소 소화율에 미치는 효과와 2차적으로 깨끗한 사료 생산을 위한 가공 방법으로 Expanding 가공 방법에 따른 성장 및 영양소 소화율에 미치는 효과에 대해 서술하고자 한다. 아울러 환경친화적 양돈사료 생산의 기초 자료를 만들기 위하여 입자도 조절 및 Expanding 가공 처리에 따른 분중 영양소 배설량의 차이를 알아보고자 한다.

Ⅱ. 입자도 감소의 효과

사료를 배합하기 전 1차적으로 행할 수 있는 입자도 조절 가공, 즉 분쇄는 햄머밀이나 롤러밀을 이용하여 사료 원료의 입자도를 감소시키는 방법이다. 이러한 입자도 조절 가공의 가장 큰 장점으로는 사료의 급여시 곡류의 표면적을 증가시켜 동물의 장내에서 소화효소들의 상호작용이 증가하게 되어 결과적으로 영양소의 소화율을 증진시키고, 사료 배합시 분리 현상을 막는다는 이유 등으로 가장 기본적으로 행해지고 있는 사료 가공 방법으로 많은 연구자(Roth 등, 1985 ; Potkins와 Lawrence, 1989 ; Giesemann 등, 1990 ; Behnke, 1994 ; Elbers 등, 1995 ; Kim, 1995)들에 의해 적정 입자도의 중요성 및 연구가 진행되어지고 있다.

곡류 가공에 있어 분쇄 즉, 입자도 조절 가공은 입자도의 감소시 영양소 소화율이 향상한다는 Fraps(1932)의 보고 이래로 그 중요성이 대두되기 시작하였다. Woodsman 등(1932)은 귀리 기초사료에서 입자도 감소로 소화율 증가를 보고하였고, Anbel(1945, 1955)는 수수와 옥수수 등의 분쇄 효과로 사료 이용성의 증가를 보고하였다.

최근 양돈사료에 있어서 입자도 조절 가공에 따른 돼지의 성장에 미치는 영향을 살펴보면, Table 1과 같이 일당증체량과 사료효율면에서 수치상의 차이를 보였고, 전체적으로 고운 입자도(Fine ; 600㎛ 이하)에서 개선 효과를 보여주고 있다.

Table 1. Effects of particle size reduction on growth performance of pigs

References	Initial to final pig wt.(kg)	Grain	Item	Fine (<600㎛)	Coarse (>600㎛)
Giesemann et al. (1990)	32~ 91	Sorghum	ADG(kg)	0.699	0.696
			G/F	0.272	0.259
Wondra et al. (1995a)	55~115	Corn	ADG(kg)	0.990	0.980
			G/F	0.321	0.298
Mavromichalis et al.(1998)	67~115	Wheat	ADG(kg)	0.910	0.880
			G/F	0.322	0.285
Lee et al. (2001)	12~ 30	Corn	ADG(kg)	0.687	0.639
			G/F	0.573	0.526
Lee et al. (2001)	47~ 63	Corn	ADG(kg)	0.571	0.535
			G/F	0.357	0.326

이와 같이 입자도의 감소 효과로 성장의 증대를 가져와 생산성 측면에 유리하다고 보여진다. 이와 더불어 돼지의 각 성장 단계별 적정 입자도에 관한 최근 연구 결과로 Healy 등(1994)은 자돈에서 500㎛를 적정 입자도라 하였으며, Behnke(1994)는 육성-비육돈에서 500~700㎛를 적정 입자도라 보고하였다. 또한, 입자도 조절 가공에 따른 영양소 소화율에 미치는 영향을 살펴보면, Lawrence(1967, 1970)은 옥수수, 수수, 보리의 원료를 기초사료로 사용한 사료의 입자도 감소로 영양소 소화율 향상을 보고하였고, Owsley 등(1981)과 Giesemann 등(1990)은 입자도의 감소로 육성-비육돈에서 DM과 N의 영양소 소화율 및 정미 에너지의 개선 효과를 보고하였다. Wondra 등(1995a, b)은 육성-비육단계에서 입자도 감소에 따라 영양소 소화율의 향상으로 성장효과를 기대할 수 있다고 하였다.

한편 어떤 연구자들은 곡류의 종류에 따라 적정 입자도가 변화될 수 있다고 하였다(Goodband 등, 1993 ; 오, 1999). 특히, Kim(1995)에 의하면 이유자돈의 경우 복합사료보다는 단순사료에서 입자도 조절 가공의 효과가 있다고 하였으며, 아울러 Chae 등(2000)은 자돈의 복합사료에서 입자도의 감소로 인한 곡류의 이상적인 아미노산 소화율에는 별 영향을 미치지 않는다고 하였다. 이 결과들은 복합사료에 비해 단순사료에서 옥수수의 첨가 수준이 높은 점에 착안하여 옥수수의 이용성 및 입자도 조절의 중요함을 인식하는데 있어 중요한 기초 연구 자료라 보여진다.

반면, Maxwell 등(1970)에 의하면 너무 고운(Fine) 입자도로 인하여 위궤양의 발생 빈도가 증가한다는 우려를 제시하였고, 입자도 감소를 위해 스크린의 크기에 따른 생산량의 감소와 에너지 소모량의 증가로 인한 생산비용의 추가를 간과할 수 없는 실정이다(Ensminger, 1985 ; Wondra, 1995a, b ; Behnke, 1996). 특히 현실적으로 국내 사료공장에서 생산되는 배합사료의 절반 이상이 가루 사료 형태이며, 일반적으로 자돈과 육성-비육돈 사료에 사용하는 옥수수의 입자도가 2가지 형태인, 3㎜(혹은 4.5㎜)나 6㎜ 정도의 스크린 크기를 사용하여 생산하고 있는걸 보더라도 돼지의 각 단계별 적정 입자도를 규명은 필수적이라고 본다(이 등, 2001).

Ⅲ. Expander 가공의 효과

1. Expander 가공의 정의와 특성

일반적인 Expander 가공 방식은 pelleting 공정 이전에 컨디셔너의 역할인 expander로 가열, 압축, 충진, 그리고 가압 상태의 conditioning으로 가공하는 방법으로, 펠렛 가공 전에 고온, 고압하에서 사전 열처리를 가하게 되며, 단지 압출시 압력을 낮추어 생산성을 증가시킬 수 있는 특징을 보인다(Peisker, 1992).

구조적 특징은 원통형 포열내 충진형 스크류가 배열되어 있는 익스트루더(Extruder)와 비슷한 구조를 갖는 열처리 가공 방법으로(Cao 등, 1998 ; 오, 2001), 기존의 단순한 conditioning 대

신 expander의 annular gap을 이용하여, 원통형의 barrel인 thick-walled mixing tube를 가지고 있으며, 내부는 worm shaft가 장착되어 있고 여기에 mixing과 kneading elements가 부착되어 있고 유입된 원료를 출구로 밀어내는 single screw로 되어 있다(박, 2000). 열처리시 압력이 급상승하면서 원료는 원통의 원주 부위와 원추형 구조물 사이로 압출되는데, 그 압출 형태를 묘사하여 annular gap expander라고 부르며, 또한 압력의 상승이 원통내 screw의 회전에 의한 전단력에 의하여 발생하므로 이를 high shear conditioner의 일종으로 분류하기로 한다(Veenendaal, 1990 ; Behnke, 1995).

국내에서도 이러한 Expander 기술은 1994년 처음 도입이래 현재 40여기의 Expander 기기가 배합 사료 생산에 쓰이고 있다. Expander는 기존의 Pelleting line에 설치하는데, Pelleting 전 전처리 공정인 Conditioning 형태로 주로 사용하며, 국내에서는 Pellet기가 없는 단독 Line으로 설치하여 Granule 형태의 사료를 많이 생산하고 있다.

Expander의 가공 조건으로 적정 conditioning의 열처리 온도는 90~130℃ 수준이고, 압력은 38~40 bar 조건이며 수분 함량을 24~28% 수준으로 첨가하지만, 사용 용도에 따라 다양한 조건을 맞추어 줄 수 있는 특징이 있다(Pickford, 1990 ; Anonymus, 1992 ; van Zuilichem과 van der Poel, 1993).

Expander 가공 사료의 특징은 펠렛의 품질 향상 및 액상 사료에서의 적응 효과가 크고, 사료 위생 상태의 향상과 생산비가 감소하며(Peisker, 1994), 저급 원료의 이용성 향상(Wettstein과 Wild, 1990), 그리고 유해 독소인 박테리아 및 살모넬라의 사멸 효과를 기대할 수 있다는 장점이 있다(Pipa와 Frank, 1989). 또한, Pickford(1990)에 의하면 영양수준, 위생수준, 그리고 물리적 특성에 따라 적절한 가공조건으로 변화를 줄 수 있다고 하였는데, 최근 들어서는 Expander 처리시 사료의 원료가 혼합 후 고온 · 고압하에서 있다가 실압으로 방출되어 살균 효과가 크기 때문에, 깨끗한 사료의 개발 및 사료의 품질 향상 측면에서 많은 연구자(Israelsen 등, 1995 ; Heidenreich, 1996 ; Johnston 등, 1999a, b, c)들에 의해 연구되어지고 있다. 그리고, Peisker(1994)는 곡류 전분을 젤라틴화 함으로서 효소분해를 촉진시킬 수 있을 뿐 아니라 사료의 멸균, 단백질 변성, 지방 및 당밀의 첨가량 증가, 그리고 항영양인자의 활동을 억제함으로서 동물의 소화 및 성장을 촉진시킨다고 하였다.

하지만 일반적으로 Expander를 이용하여 conditioning을 실시할 경우 가압하에 고온 처리를 하게 되어 아미노산이나 주요 영양소의 파괴 가능성은 배제할 수 없어, 그 적정 가공 공정의 연구 및 개발의 필요성이 균일성 있게 제시되어야 한다고 본다(박, 2000)고 하였으며, 가루사료에 비해 성장률이나 사료효율의 개선 효과는 보여지나, 일반 펠렛 공정과는 차이가 없거나 다소 유리한 정도로 보고되고 있고, 열악한 저질 원료의 사용시 그 효과가 우수한 것으로 보아 전문적인 연구가 필요하다고 보여진다(오, 2001).

2. 자돈에 미치는 Expander 가공 사료의 효과

이유 자돈은 일반적으로 이유전 모유 내지는 대용유의 섭취 습관으로 인해 고형 사료의 섭취를 꺼리게 되며, 소화계나 효소의 분비가 원활치 않은 점을 감안하여 특수하게 가공처리된 고형사료의 급여가 필수적이다(Kidder, 1982 ; van der Poel 등, 1991). 유럽에서 개발된 에너지 원료의 효과를 극대화하여 생산성을 증대시키기 위해 사용되기 시작한 Expander 가공 사료는 기존의 가루 사료에 비해 항영양인자의 활동을 억제함으로서 동물의 소화 및 성장을 촉진시키는 것으로 알려져 왔으며(Peisker, 1994), 특히 이유 자돈 시기에 특수 가공처리 방법으로 최근 각광을 받고 있는 열처리 가공 방법이다.

최근 Expanding 가공 방법에 따른 자돈의 성장 효과 자료를 요약해 보면, Peisker(1994)에 의하면 자돈에서 Expander 가공 사료의 급여로 30%의 증체율 향상을 보고하였고, Armstrong(1993)은 체중 8~20㎏인 자돈에서 육성돈 시기의 사료를 Expander 가공할 경우, 기존의 펠렛 가공에 비해 성장률과 사료섭취량이 증가한다고 보고하였다. 반면 상대적으로 Paik 등(1995)은 Expander 가공 사료의 급여시 자돈에서 성장율에 아무런 영향을 미치지 않았다고 보고하였고, Hongtrakul 등(1998a)과 Traylor 등(1997)은 자돈에서 Expander 가공 사료의 급여로 일당증체량이 감소하였다고 하였으며, Johnston 등(1999b)에 의하면 어린 이유 자돈에서 원료에 따른 Expanding 가공의 효과를 규명하기 위한 사양시험을 실시하였는데, 원료의 Expanding시 일당증체율과 사료효율의 개선 효과를 볼 수 없었다. 아울러, 박 등(2001)은 사전 열처리된 원료를 사용한 처리구에서 배합사료 전체를 Expander 가공한 처리구보다 일당증체량, 일당사료섭취량 및 사료효율이 유의적으로 개선하였다고 하였는데, 이는 Expander 가공처리의 효과가 가공 방법 및 사료 원료의 형태에 따라 다르기 때문이었다고 보고하였다.

Expanding 가공이 자돈의 영양소 소화율에 미치는 영향을 살펴보면, Sauer 등(1990)은 열처리 가공으로 전분과 다른 영양소의 소화율을 증가시켜 자돈의 생산성을 증대시킨다고 하였으며, Bolduan과 Peisker(1992)는 Expander를 통한 전분의 호화도 증대로 이유자돈에서 소화율의 증대를 가져와 체중 및 생산성 증대를 꾀할 수 있다고 하였다. 또한, Johnston 등(1999b)의 연구 결과에서도 단백질과 에너지 소화율 향상을 볼 수 있었으며, 박 등(2001)에 의해서도 열처리 가공으로 영양소 소화율의 개선 효과를 볼 수 있었다. Chae 등(1997a)과 Hongtrakul 등(1998b)은 고온고압하의 Expander 가공의 특성상 열처리 가공시 영양소의 파괴를 우려하여 열민감성 원료 및 첨가제 등은 열처리 후 첨가하여 영양소 소화율의 저하를 방지해야 한다고 하였다.

3. 육성-비육단계에서의 Expander 가공에 따른 효과

사실 Expander 가공의 효과는 연구자나 제조사별 이견이 많긴 하지만, 그 가공 방법의 특성상 가압하에서 고온 열처리를 하게 되므로 순간적인 물리적 자극의 증가로, 원료의 변형이 쉽게 이루어져, 기호성을 증진시키고 소화율을 향상시킬 수 있다는 점에서 그 연구 방향은 일치하고 있다(Nasi 등, 1996 ; Johnston 등, 1999a, b, c). Expander를 활용한 가공 방법 중 현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 expanded-pelleting 방법은 Expander를 거친 후 pellet press로 투입되어 pellet 성형을 거치는 방식이지만, 생산비용의 증가로 그 경제성 문제가 해결책으로 남아 있다. 이에 따라, pellet 다이를 거치지 않고, 일정한 입자도를 유지하는 방식의 expanded-crushing 가공 사료에 대한 활용이 좀 더 포괄적으로 연구되어야 할 것이다.

육성-비육단계에서 Expander 가공이 성장율에 미치는 영향은 Johnston 등(1999b)의 보고에 잘 나타나는데, 특히 출하 직전의 비육돈에서 사료효율 및 성장 능력의 개선 효과를 보고하였다. Bolduan 등(1993)은 밀기울 기초사료에서 Expander 가공의 효과로 성장률 및 사료효율의 개선을 보고하였고, Elstner(1996)도 Expander 가공 처리로 일당증체량 및 사료섭취량이 증가하였다고 보고하였다. Chae 등(1997a)은 육성돈(13~20㎏)에서 일당증체량과 사료효율의 유의적 개선효과를 보고하였으며, Johnston 등(1999a)에 의하면 Expander 가공 사료의 급여시 열처리를 하지 않은 가루 사료에 비하여 일당증체량이 증가하였다고 보고하였다. 또한, 이 등(2001)은 육성돈에서는 Expander 가공의 효과가 나타나지 않았지만, 비육단계에서는 일당증체량의 증가를 보고하였다.

반면, 오 등(1997)은 육성단계에서 Expander 가공법이 성장률에 미치는 효과가 없었다고 하였고, O'Doherty(2001)에 의하면 성장 능력 및 영양소 소화율에서 Expander 가공 사료의 효과가 없다고 보고하였다. 이렇듯 Expander 가공 사료의 효과의 차이는 아직 그 가공 방법의 특수성에 비해 우수성과 그 상대적인 면이 교차하고 있는 실정이다. 그 이유는 다양하겠지만, 가공방법의 차이 및 원료의 수준에 따라서도 그 차이를 찾을 수 있으리라 본다(이 등, 2001 ; 박 등, 2001).

육성-비육단계에서 Expander 가공이 영양소 소화율에 미치는 영향을 보면, Traylor(1999)와 Kim 등(1997, 1998, 2000)의 보고에 의하면 비육돈에서의 열처리 가공 사료의 급여로 육성장과 영양소 이용률의 5~15% 향상 효과를 보고하였고, 이 등(2001)의 시험에서도 DM과 N의 영양소 소화율이 다소 개선된 것으로 보고하였다. 상대적으로, Nasi 등(1992), Chae 등(1997a, b)과 Johnston 등(1999a, b)에 의하면 육성-비육돈에서 Expander 가공으로 인한 영양소 소화율에서 유의적인 차이가 거의 없거나 오히려 감소한다고 하였고, van der Poel 등(1997)은 육성돈에 타피오카, 완두콩, 대두박을 기초원료로 Expander 가공하였지만 영양소 소화율에 미치는 효과는 거의 없었다고 하였다.

이상의 결과들로 미루어 보아, 양돈 사료에 있어서 Expander 가공 처리는 원료의 특성과 Expander 가공의 조건에 따라 좀 더 보완 연구가 수행되어져야 한다고 본다(박 등, 2001).

Ⅳ. 적 요

양돈생산에 있어 영양소의 이용율을 증대시키는 것은 절대적으로 필요하다. 가공기술(예를 들면 분쇄, 펠렛팅, 스팀 프레이킹, 로스팅, 익스투르전 및 익스펜딩)의 발전과 더불어, 사료원료의 영양소 이용성이 크게 향상되어 왔다. 분쇄는 입자도의 감소와 함께 가장 널리 사용되는 가공방법이다. 익스펜더는 익스트루더와 유사한 구조이며 짧은 시간으로 고온고압의 과정을 거쳐 생산되어지는 과정이다. 이러한 가공은 펠렛 질을 향상시키기 위해 사용한다. 또한 사료원료의 익스펜딩은 성장 및 영양소 소화율의 향상을 보여준다. 사료 비용은 양돈 생산에 가장 큰 경제적 비중을 차지하기 때문에 영양소 이용률의 극대는 계속적으로 크게 관심이 되어질 것이다. 결국, 이러한 관심은 가축성장과 영양소 소화율에 있어 일률적인 향상을 주게 될 사료가공기술이 계속적으로 되어질 것이다.

참고문헌

1. Anbel, C. E. 1945. The comparative value of various sorghum grains as swine fattening feeds. Kans. Agric. Exp. Sta. Circ., 258 : 4.
2. Anbel, C. E. 1955. The comparative value of corn and whole and ground milo as swine fattening feeds. Kans. Agric. Exp. Sta. Circ., 320 : 24.
3. Anonymus. 1992. Expander treatment and double pelleting of broiler feed(in Dutch). Leaflet Schothorst. p.3.
4. Armstrong, H. 1993. Nutritional properties of expanded feed. Feed Mix, Vol. 1 : 24-27. Chemists. Washington. DC.
5. Behnke, K. C. 1994. Factors affecting pellet quality. Maryland Nutrition Conference. Dept. of Poultry Science and Animal Science, College of Agriculture, Univ. of Maryland, College Park.
6. Behnke, K. C. 1995. New developments in feed processing technology. proceedings of the 16th Western Nutrition Conference. Saskatoon, Saskatchewan, Canada, september, p.56.
7. Behnke, K. C. 1996. Feed manufacturing technology : current issues and challenges. Anim. Feed Sci. Tech. 62 : 49-57.
8. Bolduan, G. and Peisker, M. 1992. Effects of an expander treated feed in pigs(in German). Kratfutter. 5 : 229.

9. Bolduan, G., Beck, M. and Peisker, M. 1993. Effects of expander treatment on pig diet(in German). Kratfutter. 6 : 266.
10. Cao, H., Hancock, J. D., Jiang, J. M., Froetschner, J. R., Park, J. S., Behnke, K. C. and Hines. R. H. 1998. Effects of expander processing(after steam conditioning) on the nutritional value of whole soybeans in nursery pigs. J. Anim. Sci. 76(Suppl. 1) : 183(Abstr.).
11. Chae, B. J., Kang, H. I., Han, I. K., Kim, J. H., Cho, W. T., Chung, Y. K. and Shim, M. S. 1997a. Effects of processing of a complete diet on growth performance and nutrient digestibility in growing pigs. Korean J. Anim. Nutr. Feed. 21(6) : 497-502.
12. Chae, B. J., Han, I. K., Yang, C. J., Ohh, S. J., Rhee, Y. C. and Chung, Y. K. 1997b. Effects of feed processing and feeding methods on growth and carcass traits for growing-finishing pigs. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 10(2) : 164-169.
13. Chae, B. J., Kim, Y. G., Han, I. K., Kim, J. H., Cho, W. T., Hancock, J. D. and Kim, I. H. 2000. Effects of particle size and extrusion of maize and sorghum on ileal digestibility and growth performance in pigs weaned at 14 and 21 days of ages. J. Anim. Feed Sci. 9 : 665-679.
14. Elbers, A. R. W., Vos, J. H., Hemke, G. and Hunneman, W. A. 1995. Effect of hammermill screen size and addition of fibre or S-methylmethionine-sulphonium chloride to the diet on the occurrence of oesophagogastric lesions in fattening pigs. Vet. Rec. 137 : 290-293.
15. Elstner, F. 1996. Expanding without pelleting. Feed Management. Vol. 47(6) : 23.
16. Ensminger, M. E. 1985. Processing effects on nutrition. In : R. R. McEllhiney (Editor), Feed Manufacturing Technology Ⅲ. American Feed Industry Association. Inc., Arlington, VA. p.529.
17. Fraps, G. S. 1932. Digestibility and production coefficients of pig feeds. Tex. Agric. Exp. Sta. Bull. p.454.
18. Goodband, R. D., Tokach, M. D. and Nelssen, J. L. 1993. Diet particle size influences pig performance. Proc. Manitoba Swine Seminar, Winnipeg. MB, Canada. p.91.
19. Giesemann, M. A., Lewis, A. J., Hancock, J. D. and Peo, Jr. E. R. 1990. Effect of particle size of corn and grain sorghum on growth and digestibility by growing pigs. J. Anim. Sci. 68(Sup. 1) : 104(Abstr.).

20. Healy, B. J., Hancock, J. D., Kennedy, G. A., Bramel-Cox, P. J., Behnke, K. C. and Hines, R. H. 1994. Optimum particle size of corn and hard and soft sorghum for nursery pigs. J. Anim. Sci. 72 : 2227-2236.
21. Heidenreich, E. 1996. Performance graphs for pressure conditioning with the annular gap expander. Kraftfutter. 12 : 572-573.
22. Hongtrakul, K., Goodband, R. D., Behnke, K. C., Nelssen, J. L., Tokach, M. D., Bergstrom, J. R., Nessmith, Jr. W. B. and Kim, I. H. 1998a. The effect of extrusion processing of carbohydrate sources on weanling pig performance. J. Anim. Sci. 76(12) : 3034-3053
23. Hongtrakul, K., Kim, I. H., Goodband, R. D. and Kim, C. S. 1998b. Comparison of extrusion and expanding processing(A Review). Kor. J. Anim. Nutr. Feed. 23(4) : 209-216.
24. Israelsen, A. H., Sorensen, E. H. and Busk, J. 1995. Effects on pellet quality, starch and phytase. Feed Int' 1(2) : 12-17.
25. Johnston, S. L., Hines, R. H., Hancock, J. D., Behnke, K. C., Traylor, S. L., Chae, B. J. and Han, I. K. 1999a. Effects of expander conditioning of complex nursery diets on growth performance of weanling pigs. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 12(4) : 353-359.
26. Johnston, S. L., Hines, R. H., Hancock, J. D., Behnke, K. C., Traylor, S. L., Chae, B. J. and Han, I. K. 1999b. Effects of conditioners(Standard, Long-Term and Expander) on pellet quality and growth performance in nursery and finishing pigs. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 12(4) : 558-564.
27. Johnston, S. L., Hancock, J. D., Hines, R. H., Kennedy, S. L., Traylor, S. L., Chae, B. J. and Han, I. K. 1999c. Effects of expander conditioning of corn- and sorghum- based diets on pellet quality and performance in finishing pigs and lactating sows. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 12(4) : 565-572.
28. Kidder, D. E. 1982. Nutrition of the early weaned pig compared with the sow-reared pig. Pig News Inform. 3 : 25.
29. Kim, I. H. 1995. The effects of novel processing on nutritional value of soybeans and cereal grains for nursery, growing and finishing pigs and lactating sows. Ph. D. Dissertation. Kansas State University, Manhattan, KS, USA.
30. Kim, I. H., Hancock, J. D. and Kim, C. S. 1997. Extrusion cooking of dietary ingredients for animal feeding. Ⅱ. Effects of extrusion on protein, fat, vitamin, and mineral(A Review). Korean J. Anim. Nutr. Feed. 21(3) : 221-230.

31. Kim, I. H., Hancock, J. D., Burnham, L. L., Kennedy, G. A., Hines, R. H. and Kim, C. S. 1998. Effects of feeding diets containing dry extruded whole soybeans on growth, carcass characteristics, and stomach morphology in finishing pigs. Korean J. Anim. Nutr. Feed. 22(2) : 73-80.
32. Kim, I. H., Hancock, J. D. and Hines, R. H. 2000. Influence of processing method on ileal digestibility of nutrients from soybeans in growing and finishing pigs. Asia-Aus. J. Anim. Sci. 13(2) : 192-199.
33. Lawrence, T. L. J. 1967. High level cereal grain diets for the growing-finishing pig. Ⅱ. The effect of cereal preparation on the performance of pigs fed diets containing high levels of maize, sorghum, and barley. J. Agric. Sci.(Cambridge). 69 : 271.
34. Lawrence, T. L. J. 1970. Some effects of including differently processed barley in the diet of the growing pig. Ⅰ. Growth rate, food conversion efficiency, digestibility, and rate of passage through the gut. Anim. Prod. 12 : 139.
35. Mavromichalis, I., Hancock, J. D., Kennedy, G. A., Hines, R. H., Derouchey, J. M., Senne, B. W. and Sorrell, S. P. 1998. Effects of enzyme supplementation and particle size of wheat-based diets on nursery and finishing pigs. Kansas State University Swine Day. Kansas Agric. Exp. Sta. Rep. Prog. No. 819, p.239.
36. Maxwell, C. V. E., Reimann, E. M., Hoekstra, W. G., Kowalczyk, T., Benevenga, N. J. and Grummer, R. H. 1970. Effect of dietary particle size on lesion development and on the contents of various regions of the swine stomach. J. Anim. Sci. 34 : 212-220.
37. Nisi, M. 1992. Effects of grinding, pelleting and expanding on nutritive value of barley in pig diets. Agricultural and Food Science in Finland. 1 : 461.
38. Nisi, M., Partanen, K. and Laurinen, P. 1996. Effects of expanding on the nutritive value of wheat bran in pig diets. Agricultural and Food Science in Finland. 5 : 413.
39. O'Doherty, J. V. 2001. The effect of expander processing and pelleting on the nutritive value of feed for growing and finishing pigs. J. Food & Agriculture. Sci. 81(1) : 135-141.
40. Owsley, W. F., Knabe, D. A. and Tanksley, Jr. T. D. 1981. Effect of sorghum particle size of corn on digestibility of nutrients at the terminal ileum and over the total digestive tract of growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 52 : 557-566.

41. Paik, I. K., Um, J. S., Lee, S. H. and Chung, M. S. 1995. Effects of protein level and extrusion processing of soybean meal on the performance of growing pigs. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 8(2) : 129-133.
42. Peisker, M. 1992. Physical and chemical changes during extrusion. Food International. Feb.
43. Peisker, M. 1994. Influence of expansion on feed components. Feed Mix, Vol. 2 : 26-31.
44. Pickford, J. R. 1990. The potential and use of expanders and extruders in animal feed production. Proceedings of Feed Expo, Ireland, E1-E13.
45. Pipa, F. and Frank, G. 1989. High pressure conditioning with annular gap expander. Advances in feed technology, pp.22~30.
46. Potkins, Z. V. and Lawrence, T. L. J. 1989. Rate of development of oesophagogastric parakeratosis in the growing pig, some effects of finely ground barley diets, genotype and previous husbandry. Res. Vet. Sci. 47 : 68-74.
47. Roth, F. X., Kirchgesser, M., Bollwahn, W. and Heinritzi, K. 1985. Fattening performance, nutrient digestibility, and gastric lesions in pigs in response to differing particle size of feed. Ⅱ. Effect of supplement of sodium polyacrylate coarse oat bran. Zentrallbl. Vet. Med. A(32) : 692-698.
48. Sauer, W. C., Mosenthin, R. and Pierce, A. B. 1990. The utilization of pelleted, extruded, and extruded and repelleted diets by early weaned pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 31 : 269.
49. Traylor, S. L., Johnston, S. L., Behnke, K. C., Hancock, J. D., Sorrell, P., Fairchild, F. J. and Hines, R. H. 1997. Conditions during expander processing affect nutrient digestibility in finishing pigs fed corn- and sorghum-based diets. J. Anim. Sci. 75(Suppl. 1) : 64.
50. Traylor, S. L., Behnke, K. C., Hancock, J. D., Hines, R. H., Johnston, S. L., Chae, B. J. and Han, I. K. 1999. Effects of expander operating conditions on nutrient digestibility in finishing pigs. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 12(3) : 400-409.
51. Van der Poel, A. F. B., Blonk, J., Huisman, J. and Den Hartog, L. A. 1991. Effects of steam processing temperature and time on the protein nutritional value of Phaseolus vulgaris beans for swine. Livestock Production Science. 28 : 305.
52. Van der Poel, A. F. B., Franssen, H. M. P. and Bosch, M. W. 1997. Effect of expander conditioning and/or pelleting of a diet containing tapioca, pea and soybean meal on the total tract digestibility for pigs. Ani. Feed Sci. Technol.(In press).

53. Van Zuilichem, D. J. and van der Poel, A. F. B. 1993. The comparative costs and benefits of expanders and double pelleting in animal feed production. Proceedings of Feed Expo, Ireland. pp. 10.
54. Veenendaal, J. 1990. Extrusion in the compound feed industry. Advances in Feed Technology. 3 : 60.
55. Wettstein, A. and Wild, R. 1990. Developments in feed production technology. Roche Symp. on Animal Nutrition and Health. Basel. pp.89~108.
56. Wondra, K. J., Hancock, J. D., Behnke, K. C., Hines, R. H. and Stark, C. R. 1995a. Effects of particle size and pelleting on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. J. Anim. Sci. 73 : 757-763.
57. Wondra, K. J., Hancock, J. D., Behnke, K. C. and Stark, C. R. 1995b. Effects of mill type and particle size uniformity on growth performance, nutrient digestibility, and stomach morphology in finishing pigs. J. Anim. Sci. 73 : 2564-2573.
58. Woodsman, H. E., Evans, R. E. and Kitchin, A. W. M. 1932. The value of oats in the nutrition of swine. J. Agric. Sci. (Cambridge). 22 : 657.
59. 박재현. 2000. 돼지 성장단계별 사료의 Expander 가공법 및 그 형태가 사료의 물성과 돼지능력에 미치는 영향. 강원대학교 박사학위 논문.
60. 박재현 · 이준엽 · 오상집. 2001. 사료의 사전열처리 및 expander 가공이 이유자돈의 육성성적과 영양소 소화율에 미치는 영향. 동물자원지. 43(3) : 321-336.
61. 오상집 · 채병조 · 이준엽 · 이영철 · 김명곤 · 김지훈 · 한인규. 1997. 가압고온 Condilioning을 이용한 Pelleting 가공이 육성돈의 생산성에 미치는 영향. 한국축산학회지. 39(5) : 507-514.
62. 오상집. 1999. 배합사료의 가공 및 형태가 사료 영양적 가치에 미치는 영향. 제 8회 사료가공단기과정. pp.214~232.
63. 오상집. 2001. 첨단 conditioning을 활용한 열처리 가공사료의 제조. 제9회 사료가공단기과정. pp.144~161.
64. 이상환 · 김인호 · 홍종욱 · 권오석. 2001. 육성-비육돈에 있어서 성장과 영양소 소화율에 대한 Expanding 가공사료의 효과. 동물자원지. 43(1) : 85-90.