

최 중
연구보고서

GOVP 12010312

국내산 점토광물의 사료화 및
환경친화 효과에 관한 연구

Studies on Domestic Clay Minerals
for Feed and Environmental Use

연구기관
고려대학교

농림부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “국내산 점토광물의 사료화 및 환경친화 효과에 관한 연구”

과제의 최종보고서로 제출합니다.

1999. 10. 25

주관연구기관명 : 고 려 대 학 교
총괄연구책임자 : 손 용 석
연 구 원 : 이 성 호
연 구 원 : 홍 성 호
연 구 원 : 홍 성 준
협동연구책임자 : 임 수 길
연 구 원 : 김 정 규
협동연구기관명 : 제주농업시험장
협동연구책임자 : 강 수 원
협동연구기관명 : 한 경 대 학 교
협동연구책임자 : 백 중 희

요 약 문

I. 제 목

국내산 점토광물의 사료화 및 환경친화 효과에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

세계화와 함께 농축산물 시장이 개방되면서, 이제는 농축산업이 국제경쟁력을 가져야만 살아남을 수 있게 되었는데, 우리나라와 같은 자원부족국가에서 농축산업이 경쟁력을 갖기 위해서는 그나마 있는 자원을 최대한 개발하고 그것을 효율적으로 활용하는 자원전략이 부가가치가 높은 제품의 생산 자체에 우선하여 강조되어야 한다.

축산분야에서 이러한 성격을 지닌 대표적인 부존자원들은 사료자원에서 찾아볼 수 있는데, 그 중에서도 아직 덜 인식되어 있고 개발이 필요한 것이 점토광물(粘土鑛物)이라 할 수 있다. 사료용으로 기존에 이용되어 온 점토광물로 조라이트(Zeolite)가 있으나 그나마 널리 실용화되지는 못하고 있으며, 이외에도 국내에는 동물에게 급여하여 영양적 효과를 포함하여 각종 부수효과면에서 잠재력이 높은 점토광물들이 적지 아니 부존함에도 불구하고 구체적인 연구개발이 없었던 관계로 사료자원으로 개발되지 못하고 축산업과 연결되지 못한 채 묻혀 있는 것이 사실이다.

점토광물(clay minerals)은 토양의 생성과정에서 재합성된 2차 광물이며, 크기가 0.002mm 이하인 작은 입자이므로 활성표면적이 매우 커서, 각종 성분의 흡착, 방출, 고정, 산도(pH), 통기성, 통수성 등 물리 화학적 성질을 좌우하는 데 커다란 효과를 발휘하는 특성을 가진다

대부분 규산염계(Silicate)에 속하는 점토광물들은 일반적으로 이온교환용량(ion exchange capacity)이 높고, 동물이 섭취하였을 때 미량무기물을 비롯한 영양소 이용성을 개선하며, 장내 유해가스의 흡착 및 연변 방지 등의 효과가 인정되어 왔다. 또한 일부 점토광물은 보수력(Water Holding Capacity)과 양이온치환용량이 높아서 배합사료 공정에서 펠렛제조에 결합제로 첨가되어 사용되어 왔다.

영양학적 관점을 떠나서도 점토광물은 환경친화적인 성격을 가지는 바, 이점에도 연구의 역점을 두고 검증해 볼 필요가 있다. 가축분뇨배출과 관련된 환경문제 해결을

위해 상당한 연구가 추진중이지만, 이들 연구는 한결같이 주로 배설된 분뇨의 처리 및 정화방법에 초점을 두고 있고 그러한 시설의 설치 규제나 관리에 주력해 왔음을 볼 수 있다. 그러나, 정작 수질오염의 원인은 분뇨 그자체가 아니라 그에 포함된 BOD이며, 이는 결국 소화되지 못하고 배설된 사료영양소 이외에 다름 아니다. 이미 배출된 축산폐수의 처리방법을 개선함으로써 수질을 비롯한 환경오염을 줄이려는 방안이 본격적으로 실용화에 도달하는 데는 상당한 시간을 요구하여 한계성이 있는 관계로, 앞으로 가축분뇨로 인한 환경문제의 해결은 분뇨의 배출(또는 처리)보다 한 단계 이전의 단계인 축분의 형성단계, 즉 가축체내 소화관에서 일어나는 과정에 주안점을 두고, 분뇨형성단계에서 오염원의 양을 감축 조절하는 방법을 개발 보급하는 것보다 우선적이고 근본적인 접근방법이다.

여기서 점토광물은 그 물리적 화학적 특성상 동물체내 축분 형성과 배설 후 환경에 미치는 효과를 심분 발휘할 수 있는 잠재력을 가지고 있어, 그 응용범위는 농업환경 분야에까지 확대 연결될 수 있다. 즉, 축분이 비료로서 경지로 환원될 경우, 거기에 포함된 점토 광물 중의 유효성분이 토양의 이화학적 성질을 개선하는 토양개량제로서의 기능을 할 것으로 기대되기 때문에 상기 두 가지의 측면에서만 보더라도 이들 광물은 친환경적 성격이 강한 셈이다.

그러므로, 현단계에서 우리는 이러한 지질학적 토양학적 기초지식을 토대로 언급한 내용을 축산분야에서 검증하고 그 효과의 경증을 확인하여 실용화까지 연결시키는 작업이 절실히 요구되며, 이를 위한 다각적인 학술연구가 뒷받침되지 않으면 안된다.

이에 본 연구개발의 목적은, 점토광물을 급여하였을 때 가축의 소화관 내에서 일어나는 과정 중에서 사료영양학적 생산효율과 토양비료학적측면에서의 효과를 조사함과 아울러, 축분의 물리, 화학적 성상을 환경친화적으로 개선하고 배설 후의 취급을 용이하게 하여 축분의 처리와 비료효과를 보다 효율적으로 발휘할 수 있는 경제성 있는 점토광물 소재를 개발하는 데 있다.

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 제 1 세부과제(국내산 점토광물의 이화학적 생리적 기능 및 동물 급여효과 연구)

우선 제 1차년도 연구에서는 앞에 언급한 각종 효과 면에서 잠재성이 높을 것으로 예측되는 국내산 주요 점토광물로 조라이트(Zeolite), 벤토나이트(Bentonite), 고풍

토(Kaolin), 맥반석(Porphyry)을 포함한 총 9종 광물 약 20여점에 해당하는 시료를 수집하여 입도별로 표준화하고 화학성분 조성과 물리적 성질, 그리고 반추동물 영양생리학의 기능을 조사하였다. 또한 3종의 점토광물에 대하여 육우에 대한 급여시험을 실시하였다.

제 2차년도 연구에서는 특수분석법에 의한 화학원소 조성을 분석하고, 물리적 특성 중 일부 항목(진비중 및 팽윤도)을 추가 분석함과 동시에, 공시광물 중 제 1차년 연구에서 잠재력이 있다고 평가된 3종의 광물에 대하여 축종별(유우 및 돼지)로 현장 급여시험을 실시하였으며, 또한 배합사료 펠릿제조시의 결합능력도 조사 비교하였다.

2. 제 2 세부과제(점토광물의 토양개량효과 연구)

축분을 경작지에 환원시켰을 때 토양개량에 미치는 효과를 조사하고자, 조라이트(Zeolite), 벤토나이트(Bentonite), 맥반석(Porphyry)의 3종의 점토광물을 착유우군에 급여하는 사양시험 기간에 우분을 수거하여 화학적 조성을 조사하는 한편, 이것을 사료작물(청예옥수수) 포장에 구비로 사용하였을 때 나타나는 토양개량효과를 관찰하고자 사용시의 토양의 물리화학적 특성을 조사 비교하고, 옥수수 재배과정에서의 생육효과를 관찰하였다.

3. 제 3 위탁과제(점토광물의 경제성 분석)

우선 제 1차년도와 2차년도의 연구과정에서 얻어진 결과와 조사를 토대로 사료화 가능성과 경제성 분석을 실시하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

가. 물리적 화학적 특성 조사

X선 형광분석 방법에 의해 분석된 화학성분 조성상의 특성을 살펴보면, 점토류, 불석, 규조토, 맥반석, 진주암 등에서 주로 규산질(SiO_2)이나 알루미늄(Al_2O_3) 성분을 함유하고 있으며, 이들 두 성분이 전체 비율의 약 75% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. Kaolin과 Clay류는 주로 백색인 것이 유색인 것에 비하여 규산의 함량이 더 높은 경향을 나타냈다. 비교적 높은 함량의 칼륨(K)과 기타 미량원소를 골고루 함유하고 있었다. 황토(Red clay)의 경우, 철분(Fe) 함량이 7% 정도에 달하여 붉은 색의 출

처가 주로 철분에 유래함을 암시하고 있다.

출처에 따라서 화학적 조성에 많은 변이가 있었으며, 예를 들어 국산 규조토(Diatomite)의 SiO_2 함량은 미주지역의 것보다 크게 낮았으며, 유럽산과는 유사하였다. 제주산 송이(Scoria)의 경우 서 규산함량은 타 광물종에 비해 낮은 반면에 철(Fe)이나 마그네슘(Mg) 공급에 잠재성이 높은 것으로 나타나 Crude product로서의 이들의 미량 무기물 공급능력은 경제성 여하에 따라서 사료화의 가능성을 가진 것으로 사료된다. 활석(Talc)의 경우 다른 광물들과 상이한 화학조성을 나타냈는데, 주로 CaO (47.05%)이나 연소중 감량비율이 42.41%에 달하였다.

공시된 점토광물 중 벤토나이트, 활석 및 맥반석의 pH는 평균 9 이상을 나타내었으며, 비점토성 광물에서는 활성탄이 pH 9.23으로 높게 나타났다. 그리고 같은 점토 광물종이라 하더라도 일부는 낮은 pH를 보였는데, 규조토는 pH 3.68~4.05, 황토 pH 4.17, 그리고 매화토(Kaolin Pink)의 경우에는 pH 5.02로 나타났다. 한편, 입자도와 관련하여 조라이트나 맥반석의 경우 입자가 고와질수록 pH는 다소 높아지는 것으로 나타났다는데, 이는 이온교환능력이 입자표면적과 비례적으로 작용하는 때문일 것으로 해석된다. 이것은 입자도가 고와지면서 표면적이 상대적으로 넓어지면서 이들 광물들을 구성하고 있는 무기물 등에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다.

완충능력(Buffering capacity, BC) 및 완충지수(Buffer value index, BVI)는 가축이 사료와 함께 이들 광물을 섭취하였을 때 위장관 내에서의 완충기능의 정도를 알아볼 수 있는 지표로서, 반추동물의 경우 반추위내에 일정한 산도를 유지하는 것이 영양생리적으로 중요한 의미를 갖기 때문에, 이 수치가 암시하는 바는 크다. 공시 점토 광물 중 완충능력(BC)이 가장 높은 것은 국내산 활석으로서 약 258.33~293.67(meq/l) 정도를 나타냈고, 다음으로 조라이트, 벤토나이트, 송이(Scoriae) 및 활성탄 등이 비교적 높은 수치를 보임으로써 축우사료용 완충제로서의 잠재력을 지닌 것으로 나타났다.

나. 반추영양생리적 기능 연구

반추동물 사료내 점토광물의 첨가가 반추위내 완충효과와 protozoa의 수와 종들간의 분포에 미치는 효과를 조사하기 위해 실시한 *In vivo*와 *In vitro* 실험에서, 실험동물의 반추위내 pH는 처리구간에 차이를 보이지 않았으며, 완충기능의 지표인 BC와

BVI에서도 유의적인 차이가 없었다. Protozoa 수는 다른 처리구들에 비해 벤토나이트 첨가구에서 낮게 나타났으며($P>0.05$), 종 분포와 VFA 농도는 차이가 없었다.

예비사양기간 중 급여사료를 조절하여 산성화시킨 반추위액에 각각 1.5%의 맥반석, 벤토나이트 및 활성탄을 첨가하여 0, 1, 2, 4, 6시간 동안 배양한 후, 시간대별로 pH, BC, BVI, VFA 농도 및 protozoa의 수와 종 변화를 조사한 *In vitro* 실험에서는, 배양액 내 pH는 배양시간에 관계없이 대조구에 비해 활성탄, 맥반석 및 벤토나이트 첨가구에서 유의적으로 증가하였다($P<0.05$). BC와 BVI는 활성탄 첨가구가 가장 높은 수치를 보였으며, protozoa수는 벤토나이트 첨가구에서 가장 낮게 나타났다($P<0.05$). 그러나 protozoa의 종류별 분포는 공시 점토광물의 첨가에 의해 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

한편, 먼양을 공시동물로 농후사료와 옥수수사일리지를 70:30의 비율로 급여하여 반추위내 환경을 산성상태로 유도한 상태에서 사료건물의 2%수준으로 벤토나이트와 맥반석을 첨가 급여하는 실험을 실시하였던 바, 벤토나이트 첨가구는 pH 및 BVI에 있어 유의적으로 높아 높은 완충능력을 나타내었으나, 반추위내 VFA 및 젖산의 농도에서는 두 점토광물간에 비슷한 효과를 발견할 수 있었다. 반추위 내 발효양상 및 미생물상 조사에 관한 연구에서 점토광물은 공히 완충작용을 나타내었으나, 종류간의 수적 분포에서는 통계적 유의성이 얻어지지 않았다. 완충류의 수나 종류별 조성에 있어서도 광물종은 별 영향을 주지 못한 것으로 나타났다.

다. 유우 사양시험

공시광물 중 Porphyry를 대상으로 경기도 동북부에 소재한 개인 젖소목장 총 8개소의 착유우에 대하여 2차례에 걸친 현장 급여시험에서 1일 두당 50~100g 수준으로 농후사료에 첨가 급여하였는 바, 목장별로 정도의 차이는 있었으나 대체로 우유 내 체세포수(SCC)를 감소시키는 데 상당히 도움을 준 것으로 평가되었다. 3차로 본 대학교 부속목장에서 착유우에 3종(Zeolite, Bentinite, Porphyry)의 점토광물을 급여하면서 실시한 개체유(individual milk) 시료의 분석에서도 Porphyry의 급여는 집합유에서 나타난 것과 유사한 체세포 감소효과를 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라 축분의 수분함량과 분냄새가 감소하는 것으로 나타나, 이들 규산염계 점토광물은 장관 내에서 암모니아 등의 유해가스를 흡착 배설하는 기능을 발휘하는 것으로 판단되었다.

라. 육우 사양시험

제주 농업시험장에서 한우에 대하여 3개 점토광물(Porphyry, Bentonite, Zeolite) 및 활성탄 등을 급여하여 효과를 비교하는 시험을 육성우, 비육 중후기의 암송아지를 대상으로 실시한 결과, 비육기간 180일간을 전·후기로 나누어 조사된 일당증체량은 광물별 급여구와 비급여구간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 한편 대관령 소재 축산기술연구소에서 실시된 육성우(♂)에 대한 맥반석 급여시험에서는 1일 0.5~1.5% 수준으로 급여하였던 바, 유의차는 나타나지 않았으나 전 처리구에서 공히 Porphyry의 사료첨가 수준이 높을수록 일당 증체 성적이 더 우수하게 나타났다.

마. 육성비육돈 사양시험

돼지에 대한 급여시험은 당초의 연구계획에는 없었으나, 추가로 경기도 이천시 소재 B양돈단지에서 수행되었다. 4주령 이유후 암·수돼지 160두를 공시하여 Porphyry, Zeolite 및 Bentonite의 3종 광물을 사료의 2% 수준으로 급여하면서 증체효과 등을 비급여구와 비교하였다. 암돼지의 성장은 사료의 2% 수준에서 공급한 Porphyry 급여구가 다른 광물 급여구에 비하여 유의적으로($p < .05$) 증체효과가 높게 나타났다. 20주령 이후의 비육돈에서의 증체효과는 무급여구와 유의적인 차이를 발견할 수 없었는데, 그 부분적인 원인은 아마도 전체 섭취사료 중의 광물질 수준을 기존의 수준으로 유지하면서 점토광물이 첨가된 데에 있을 것으로 추정되었다.

바. 펠릿결착 효능 검정

사료회사 생산공장에서 펠릿 가공시 Zeolite와 Porhyry 및 Bentonite 등을 첨가수준을 달리하여 배합사료의 펠릿제조공정에서의 결착 효능을 무첨가시와 비교함으로써, 배합사료 제조단계에서부터의 점토광물의 응용 가능성을 확인하였는 바, Zeolite와 Porhyry의 경우, 펠릿의 경도 등 결착효과는 무첨가시와 유의적인 차이가 없었으나, Bentonite는 유의적으로 펠릿의 경도와 성상유지 효능이 우수한 것으로 나타났으며, 대체로 점토광물의 첨가가 펠릿결착력에 미치는 효능은 구성 단미사료의 종류에 따라 다소의 차이가 있을 수 있음이 확인되었다.

사. 토양개량 효과 검정

본교 부속목장에서 짓소에 대하여 점토광물을 급여하는 시험기간 중에 축분을 수집 저장하여 사료포장에 일정수준으로 살포하고, 토양화학성의 변화와 작물생육에 미

치는 효과를 조사 비교함으로써 동물에 대한 영양생리적 효과 이외에 토양환경 개선 효과를 조사하였다.

토양 내 질소질의 변화양상을 Incubation test에 의하여 조사한 결과, Incubation후 NH_4^+ -N함량은 처리구별 차이를 보이지 않은 반면 NO_3^- -N의 함량은 Zeolite > Bentonite > Porphyry > 일반분의 순으로 차이를 보였다. 점토광물을 급여하여 얻어진 우분을 사용한 포장에서 옥수수를 재배한 결과, Porphyry > Zeolite > 일반분 > Bentonite의 순서로 생육효과가 양호한 것으로 나타나 광물투여 분의 작물생육에 미치는 긍정적인 효과를 확인할 수 있었다. 또한 수확한 옥수수의 생육조사 결과에서도 맥반석 처리구와 Zeolite 처리구에서 무기성분의 함량이 높은 것으로 나타났다. 유기물과 유효인산의 함량에서도 차이를 보였는데 유효인산의 경우 Zeolite처리구와 Bentonite처리구에서 유의적으로 높게 나타났다.

따라서 점토광물의 급여는 동물의 영양생리적 효과에 그치지 않고 축분으로 배설되어 토양으로 환원될 경우 토양의 이화학적 성질을 개선하는 데 기여함으로써 환경친화적 효과를 준다는 것이 확인되었다.

아. 연구결과 활용을 위한 건의사항

본 연구에서 일부 국산 점토광물들은 사료화 측면에서 가능성 또는 잠재력이 있는 것으로 밝혀졌으며, 이는 사료용으로서의 수요창출로 인한 내수의 증가로 연결될 수 있다. 따라서 본 연구에서 대상소재로 선택하였던 광물종들은 사료화 등 자원이용의 측면에서 장차 연구 및 분석에 필요한 판단을 하는 데 유용한 기초자료가 될 것으로 판단된다. 현재 외국의 자본들이 대거 유입되면서 자국 광물의 수요를 확대하기 위한 수단으로 국내 영세광산을 사들여 폐광을 유도하는 사례도 있는 바, 본 연구 결과 중 긍정적인 효과가 밝혀진 부분에 대해서는 지질학분야의 연구진과 연계하여 경제성 분석 등 더 세부적인 연구를 전개하여 가능성을 모색함으로써, 현재 생산성을 잃고 폐광되었거나 폐광 위기에 놓인 다수의 점토광물 광산을 활성화시키는 데 도움을 줄 필요가 있다.

미국을 비롯한 선진국에서는 첨가용 광물사료가 조광(粗鑛; Crude ore)의 형태로도 이용되고 있는 바, 경우에 따라서는 사료관리법상의 관련 기준도 새로이 설정될 필요가 있다. 불행히도 점토광물은 주로 지질학이나 토양학 분야에서 비금속류로 다루어지고 있는 까닭에 사료용으로서의 개발 가능성에 관한 정부연구소간 협조연구와 소재

개발이 동물영양과 관련하여 이루어져야 한다. 따라서 이러한 공동연구를 가능케 하기 위하여 보다 많은 정책적 지원장치를 통한 활성화가 필요하다고 사료된다.

SUMMARY

This study was conducted to examine the possibility of various domestic clay minerals for utilization as feed resource. Total 9 kinds of domestic clay minerals like Kaolin, Zeolite, Diatomite, Vermiculite, Talc, Granite porphyry, Pearlite and Scoriae and an additionally Charcoal as contrast substance were tested in a series of experiments. More than 20 samples were collected and standardized for testings according to location and particle size. Chemical compositions were examined by X-ray fluorescence(XRF) test, and pH, Buffering capacity(BC), Buffer value index(BVI), Cation Exchange Capacity(CEC) were measured for each collected sample.

Results obtained from X-ray fluorescence(XRF) analysis indicated that Clay minerals like Zeolite, Diatomite, Granite porphyry and Pearlite comprised mainly SiO_2 and Al_2O_3 (more than 75%). Especially, Talc contained mainly CaO (47.05%), and the proportion of L.O.I(Loss on Ignition) amounted to 42.41% much higher than other clay minerals tested.

Relatively higher pH values than the average(9.00) of clay minerals were found from Bentonite, Talc and Granite porphyry samples, though Charcoal showed highest pH(9.23). However, some clay minerals showed low pH values (Diatomite 3.68~4.05, Red clay 4.17 and Kaolin pink 5.02). As for Buffering capacity(BC) and Buffer Value Index(BVI), Talc samples showed the highest values when compared with other clay minerals, whereas Zeolite, Bentonite, Scoriae and Charcoal had relatively high numbers.

Of the clay minerals tested, Zeolite and Bentonite showed high Cation Exchange Capacities(CEC) of 49.72~73.71mEq/100g and 66.32~68.15(me/100g), respectively. Nevertheless, CEC of Granite porphyry was in relatively low value of 1.67~5.44mEq/100g regardless of its BC and BVI.

Considering measured parameters including deposit reserves as well as prevailing prices three kinds of clay minerals, Bentonite, Zeolite and Granite

porphyry were selected as those of high potential for feed use. Feeding trials were conducted on the clay minerals using beef cattle, dairy cattle and piglets at commercial farms.

When lactating cows were fed Granite porphyry, somatic cell count of milk was substantially reduced. In general, better performance was observed from the tested animals when fed on the clay minerals, even though statistical significance was not always obtained between fed and control groups.

After hauling to the field the manure originated from the clay mineral feeding, the extent of improvement in soil properties as well as soil productivity was also studied. The effect on soil and plant productivity was found high in the order of Porphyry > Zeolite > Bentonite. The results of this study indicated that clay minerals fed on animals eventually help much improving physico-chemical properties of soil and consequently plant production.

CONTENTS

CHAPTER 1. Introduction	16
1. Research Background	16
2. Objective and Contents	21
3. Procedures	22
CHAPTER 2. Studies on physico-chemical properties of domestic clay minerals	26
1. Introduction	26
2. Materials and Methods	34
3. Results and Discussion	37
CHAPTER 3. Ruminological functions of domestic clay minerals	45
1. Introduction	45
2. Materials and Methods	50
3. Results and Discussion	55
CHAPTER 4. Effect of feeding clay minerals on livestock	73
1. Introduction	73
2. Feeding trial on dairy cattle	75
3. Feeding trial on beef cattle	82
4. Feeding trial on pigs	87
5. Test of pellet binding ability	90
CHAPTER 5. Studies on soil improvement of clay mineral associated manure ..	93
1. Introduction	93
2. Materials and Methods	96
3. Results and Discussion	99
CHAPTER 6. Economics of domestic clay minerals as feed use	110
1. Introduction	110
2. Present status of clay minerals used as feed	112
3. Economic evaluation of clay minerals as feed use	117
4. Conclusion	131

REFERENCES 133

목 차

제 1 장 서 론	16
제 1 절 연구개발의 필요성	16
제 2 절 연구개발의 목표 및 내용	21
제 3 절 연구 방법	22
제 2 장 국내산 점토광물의 종류별 물리화학적 성질에 관한 연구	26
제 1 절 서 설	26
제 2 절 재료 및 방법	34
제 3 절 결과 및 고찰	37
제 3 장 점토광물의 반추영양생리학적 기능에 관한 연구	45
제 1 절 서 설	45
제 2 절 재료 및 방법	50
제 3 절 결과 및 고찰	55
제 4 장 점토광물의 동물 급여효과에 관한 연구	73
제 1 절 서 설	73
제 2 절 젖소에 대한 급여시험	75
제 3 절 육우에 대한 급여시험	82
제 4 절 육성돈에 대한 급여시험	87
제 5 절 펠렛 결착효능 검정	90
제 5 장 토양개량효과에 관한 연구	93
제 1 절 서 설	93
제 2 절 재료 및 방법	96
제 3 절 결과 및 고찰	99
제 6 장 점토광물의 사료화 및 용도별 경제성 평가	110
제 1 절 서 설	110
제 2 절 사료 이용 현황	112
제 3 절 점토광물의 사료화에 따른 경제성	117

제 4 절 결론	131
참고문헌 (총괄)	133

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

세계화와 함께 농축산물 시장이 개방되면서, 이제는 농축산업이 국제경쟁력을 가져야만 살아남을 수 있게 되었는데, 우리나라와 같은 자원부족국가에서 농축산업이 경쟁력을 갖기 위해서는 그나마 있는 자원을 최대한 개발하고 그것을 효율적으로 활용하는 자원전략이 부가가치가 높은 제품의 생산 자체에 우선하여 강조되어야 한다고 생각된다.

축산분야에서 이러한 성격을 지닌 대표적인 부존자원들은 사료자원에서 찾아 볼 수 있는데, 그 중에서도 아직 인식이 덜 되어 있고 연구개발이 필요한 소재가 점토광물이라 할 수 있다. 사료용 점토광물은 기존에 규산염광물로 분류되어 있으며 가장 많이 사용되어 온 것으로 조라이트(Zeolite)가 있으나 널리 실용화되지는 못하고 있으며, 이외에도 국내에는 동물에게 급여하여 영양적 효과를 포함하여 각종 부수적인 효과면에서 잠재력이 높은 광물로 점토광물들이 적지 아니 존재함에도 불구하고 구체적인 연구개발을 통하여 사료자원으로의 효과가 확인되어 축산업과 연결되지 못한 채 묻혀 있는 것이 사실이다.

현재 점토광물들은 내화용 자원이나 요업원료로 주로 사용되고 있는데, 우리나라는 점토자원이 풍부한 편이지만 아직 선광시설(選鑛施設)을 할만큼 수요가 신장되지 못하여 비록 내수가 꾸준히 증가되고 있음에도 불구하고 일본 등지에 원광(原鑛) 그대로 수출되는 물량도 상당량에 달하고 있다 (資源總覽, 1995).

점토광물(clay minerals)은 토양의 생성과정에서 재합성된 2차 광물이며, 크기가 0.002mm 이하인 작은 입자이므로 활성표면적이 매우 커서, 각종 성분의 흡착, 방출, 고정, 산도(pH), 통기성, 통수성 등 물리 화학적 성질을 좌우하는 데 커다란 효과를 발휘하는 특성을 가진다(문, 1996). 흔히 규산염계(Silicate)에 속하는 점토광물들은 일반적으로 이온교환용량(ion exchange capacity)이 높고, 동물이 섭취하였을 때 미량무기물을 비롯한 영양소 이용성을 개선하며, 장내 유해가스의 흡착 및 연변 방지 등의

효과가 인정되어 왔는데(사료자원핸드북,1976), 국내에서 생산되는 주요 점토광물로서 이러한 효과측면에서 이용가치가 있을 것으로 Zeolite, Kaolin, Bentonite, Porphyry 등을 꼽을 수 있다.

한반도의 토양은 전반적으로 Kaolinite에서 유래한 탕토로 지각 중에 규산염이 풍부하기 때문에, 국내산 광물 중에도 위와 유사한 성격의 광물이 적지 아니 생산되고 있다(대한광업진흥공사, 1988). 주요 광물의 매장량을 보면 1996년 12월 31일 가채광량 기준으로 국내(남한)에만 적어도 약 146억 2천 9백만톤의 점토광물이 매장되어 있는 것으로 추정하고 있고, 이중 점토(고령토)가 약 1억 3천만톤, 불석 약 2천 3백만톤, 규조토 약 3백 7십만톤, 질석 약 55만톤, 활석 1천 9백만톤 등이 매장된 것으로 추정하고 있다 (광물자원 매장량 현황, 1997).

그러나 언급한 관점에서 국내 부존광물들에 대한 효과를 학술적으로 연구 검증해 보지도 않은 채, 품질이나 가격 우위라는 명목으로 해외에서의 수입 쪽으로만 눈길을 돌리는 것은 무역역조의 심화 등을 고려할 때 개선할 필요가 있다고 사료되는 것이다. 따라서, 현 단계에서 우리는 이러한 지질학적 토양학적 기초지식을 토대로 언급한 내용을 축산분야에서 검증하고 그 효과의 경중을 확인하여 실용화까지 연결시키는 작업이 절실히 요구되며, 이를 위한 다각적인 조사와 기술개발 측면에서의 연구가 뒷받침되지 않으면 안된다.

2. 경제 산업적 측면

점토 광물(clay mineral; silicate minerals)은 규산질 함량이 상당히 높은 광물로서 이미 1970년대부터 무기물의 이용성을 개선할 목적으로 또는 펠렛제조시 결합제용으로 조라이트(Zeolite)와 벤토나이트(Bentonite) 등이 사료에 첨가되어 부분적으로 사용되어 왔다. 그런데, 국내에서 생산되는 규산염계 광물은 이외에도 종류가 다양할 뿐만 아니라, 근래에 지질학, 토양학 지식의 발전으로 점토광물을 비롯한 각종 광물들 고유의 물리 화학적 성질들이 속속 밝혀지면서 산업소재로서의 잠재성을 시사하고 있는 바, 따라서 사료용 점토광물도 이제는 지금까지 한 두 가지 종류의 수입에 주로 의존하던 관행에서 탈피하여 국내에서 생산되는 점토광물 중 잠재력이 있는 종류를 선별하여, 축산분야에 연결시키는 작업이 필요하다.

사료영양학적 관점을 떠나서도 점토광물은 환경친화적인 성격을 가지는 바, 이점

에도 연구의 역점을 두고 검증해 볼 필요가 있다. 축산업은 고기, 젓, 계란 등 고급 동물성 단백질 식품을 생산 제공함으로써 우리 국민의 영양수준을 높이는 데 지대한 기여를 하고 있음에도 불구하고, 근래에 환경 문제가 대두되면서 분뇨의 방출 또는 처리미흡으로 인한 토양 및 수질오염의 원인 업종의 하나로 비난 대상이 되고 있는 게 사실이다. 이러한 가운데 가축분뇨배출과 관련된 환경문제 해결을 위해 상당한 연구가 추진중이지만, 이들 연구는 한결같이 주로 배설된 분뇨의 처리 및 정화방법에 초점을 두고 있음을 발견하게 되며, 또 그 시행이나 실용화 방법 역시 각종 선진기술의 도입 응용에 의한 분뇨처리 또는 정화시설의 설치 규제 및 관리에 주력해 왔음을 알 수 있다(축협 업무지침, 1995). 그러나, 정작 수질오염의 원인은 분뇨 그 자체가 아니라 그에 포함된 BOD이며, 이는 결국 소화되지 못하고 배설된 사료영양소 이외에 다름 아니다. 이미 배출된 축산폐수의 처리방법 개선함으로써 수질을 비롯한 환경오염을 줄이려는 방안이 본격적으로 실용화에 도달하는 데는 언급한 이유로 인해 상당한 시간을 요구하여 한계성이 있는 관계로, 앞으로 가축분뇨로 인한 환경문제의 해결은 분뇨의 배출(또는 처리)보다 한 단계 이전의 단계인 축분의 형성단계, 즉 가축체내 소화관에서 일어나는 과정에 주안점을 두고, 분뇨형성단계에서 오염원의 양을 감축 조절하는 방법을 개발 보급하는 것이 보다 우선적이고 근본적인 접근방법이라고 할 수 있다(Tamminga, 1995). 여기서 점토광물은 그 물리적 화학적 특성상 동물체내 축분 형성과 배설 후 환경에 미치는 효과를 심분 발휘할 수 있는 잠재력을 가지고 있어, 그 응용범위는 농업환경 분야에까지 확대 연결될 수 있다는 점에 주목할 필요가 있다.

일반적으로 경작지가 생산기능을 제대로 발휘하는 데는 구성토양의 보수·보비력이 중요한 기능을 하며, 토양의 공극량, 투수성은 이러한 성질을 좌우하는 요인으로 작용한다. 또한 토양의 화학성으로는 토양반응(pH), 전기전도도, 양이온치환용량(CEC) 등이 중요하다.

점토광물은 양이온 치환용량(cation exchange capacity)이 높아서 이 성분이 포함된 분뇨는 발효와 관련된 처리를 할 경우 원료물질의 pH 조절효과가 크기 때문에 발효, 부숙, 퇴비화 등 미생물의 작용이 요구되는 모든 처리과정에 있어 효율을 크게 높여 줄 수 있다. 뿐만 아니라, 축분이 비료로서 경지로 환원되면 그에 포함된 이들 점토광물 중에 포함되어 있는 유효성분이 토양의 이화학적 성질을 개선하는 토양개량제

로서의 기능을 할 것으로 기대되기 때문에 이러한 두 가지의 측면에서만 보더라도 이들 광물은 환경친화적인 성격이 강한 셈이다.

이에 본 연구에서는 가축의 소화관 내에서 일어나는 과정 중에서 사료영양학적 생산효율의 측면과 아울러, 축분의 물리적 화학적 성상을 환경친화적으로 개선함과 동시에 배설 후의 취급을 용이하게 하고 처리를 효율화할 수 있는 천연소재의 개발에 중점을 두고자 하며, 그러한 용도로 가축에게 급여하였을 때 많은 효과를 줄 수 있는 소재를 점토광물 중에서 찾고자 한다.

3. 사회 문화적 측면

국내에서는 과거부터 야산을 비롯한 특정 지역의 흙을 소에게 자유 채식케 하면 건강유지에 도움이 된다는 사실이 경험 많은 농가들 간에 알려져 있으며, 생산면에서도 상당히 양호한 효과를 보았다는 사례도 종종 보도되고 있으나, 이러한 사실을 경험치방적 특수 사육방식 내지는 토속적인 사육습관으로 치부하는 경향마저 있었던 것은, 결국 이와 관련된 학술적 연구를 통하여 지금까지 기초자료가 충분히 제공되고 있지 못한 때문이다. 뿐만 아니라 도자기제조용 소재 등으로 사용되는 찰흙을 동물에게 먹일 수 있다는 사실에 대하여 인식도가 낮은 실정이다.

Porphyry의 경우에도 ‘맥반석’이라는 상용명으로 원석 그대로 음료수의 정수용으로 이용되고 있으며, 원적외선 방사효과와 관련된 작물생산에서의 긍정적 효과가 최근에 상당히 보고되고 있기도 하다(백, 1995). 이러한 사항들에 비추어 볼 때, 이 광물의 인체에 대한 유용 작용이 있으면 당연히 가축에게도 상응하는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 현 단계에서 우리는 이러한 지질학적 토양학적 기초지식을 토대로 언급한 내용을 축산분야에서 검증하고 그 효과의 경증을 확인하여 실용화까지 연결시키는 작업이 절실히 요구되며, 이를 위한 다각적인 학술연구가 뒷받침되지 않으면 안된다.

4. 국내외 관련기술의 현황과 문제점

언급한 점토광물에 관한 국내 연구는 축산분야 내에서는 극히 적어서 오래 전인 1970년대에 Zeolite에 대한 영양학적 연구가 돼지와 닭에 국한되어 실시된 바 있으며

(축시, 1975; 한 등, 1976), Bentonite의 경우에는 닭에 대한 급여 효과(이, 1975)가 연구된 바 있는 정도에 불과한데, Sodium bentonite의 경우에는 미국에서 중점적으로 연구되어, 축우를 비롯한 다양한 축종사료로 실용화되어 있다.

점토 광물은 규산질 함량이 상당히 높은 광물로서 이미 1970년대부터 펠렛 제조시 결합제용으로 제올라이트(Zeolite) 등이 사료에 첨가되어 부분적으로 사용되어 왔다.

현재 규산염계 광물 중 Zeolite와 Kaolin의 상당량은 국내산이, Bentonite는 주로 미국 등지로부터 수입되어 주로 공업용으로 이용되고 있으며, 사료첨가용으로는 Zeolite가 소수의 배합사료회사에서 펠렛화를 위한 결합제의 용도로 사용하여 왔으나, 원료사료의 종류에 따라서 영양적, 경제성을 이유로 이용 정도가 매우 미미하다.

규반암계에 속하는 Porphyry의 경우, '맥반석'이라는 상용명으로 원석 그대로 음수 정수장치 등에 이용되고 있는데, 근래에 건축분야나 생활품 소재 등 공업용으로서의 수요가 증가하고 있음에도 불구하고, 농업분야에서는 그 효능이나 가치에 관한 연구보고가 극히 적은 상태이다. 이웃 일본에서는 작물농업에서의 활용도가 상당히 높은 편이며, 축산분야에서는 착유우용 사료로 급여하였을 때 체세포수(somatic cell count)를 감소시키는 효과를 나타내었다 하여 주목된다.

이상 언급한 효과와 관련하여 점토광물들에 대한 축산분야에서의 연구는 국내의 적으로 모두 대단히 미약하다. 따라서 잠재력이 높은 광물들을 동물에 급여하였을 때 나타나는 생리적, 영양적 효과, 그리고 축분처리와 관련된 환경친화적 효과, 그리고 축분을 경지로 환원시 토양개량효과 등에 관한 광범위한 연구가 절실히 요구된다.

제 2 절 연구개발의 목표 및 내용

1. 공시광물 수집 및 표준화

국내에서 생산되는 점토광물을 최대한 수집하여 분석용 시료로 입도(粒度) 등을 표준화 한다.

2. 공시광물의 화학적 물리적 성질 분석

본 연구에서 설정한 연차별 연구개발 목표 및 내용을 정리하면 다음과 같다.

구 분	연 구 개 발 목 표	연구개발내용 및 범위
1차 년도 (1997)	유용 공시광물 선정, 을 위한 화학물리적 기능비교, 반추가축에서의 기능 및 급여효과 구명	- 사료용 유용광물 수집, - 화학조성, 물리적 성질 분석 - 반추영양생리적 기능 검정 (<i>In Vitro</i> , <i>In Vivo</i>) - 유우, 육우 급여효과 (생산성 및 체세포수)
2차 년도 (1998)	유우 및 육우에 대한 급여효과 조사, 토양개량효과 검증, 펠렛제조시 결착효과, 조사 및 비육돈에 대한 급여효과 조사	- 유우, 육우(성장 단계별)에 대한 급여효과(광물입도별) - 축분의 경작지 환원시 토양개량효과 조사 - 펠렛가공시 첨가효율 검정 - 비육돈에 대한 급여효과 및 분의 탈취효과
3차 년도 (1999)	사료용 우수 광물의 선정 및 실용화 방법 결정	- 경제성 분석 평가 - 수입산과의 비교, 수입대체능력 검토 - 축종별 급여수준 및 이용방법 결정 - 신규제품 세부개발계획 적용 제시

제 3 절 연구 방법

본 연구는 특정 광물을 공시하여 화학조성과 물리화학적 성질을 구명하는 실험실 연구와 현장시험으로 구성된다. 일차로 실험실 분석과 *In Vitro* 및 *In Vivo* 영양생리 시험을 통하여 그중 우수하여 잠재력이 크다고 판정된 광물을 가지고 동물에 대한 현장 급여시험을 실시하였으며, 동시에 축분을 경작지에 환원시켰을 때 토양개량효과를 조사하는 토양시험을 실시하여 환경친화적 효과를 검증하고자 하였다. 최종적으로 실험실 연구와 현장 급여시험의 결과를 토대로 경제성을 분석함으로써 가장 효과가 우수한 광물종을 실용화 할 수 있는 방법을 개발하고자 하였다.

1. 공시광물 수집 및 표준화

1차적인 연구대상으로 국내산 Zeolite, Kaolin, Bentonite, Diatomite, Vermiculite, Talc, Porphyry 등을 선별하여 공시광물로 하되, 효과상의 비교를 하기 위하여 조사 항목에 따라서는 유사한 기능을 가질 수 있다고 판단되는 다른 소재(Scoria, 숯) 또는 외국산 광물을 대조용 광물로 공시하였다.

2. 시료 표준화 및 화학 물리학적 성질 분석

공시 광물들의 종류와 입도(분쇄도)를 달리 하여, 광물의 화학 조성, 물리적 화학적 성질을 조사하고, 동물실험실에서는 면양을 공시동물로 한 *In Vitro* 및 *In Vivo* 실험을 통하여 생리적 기능을 조사하였다. 이 시험에서 측정한 조사항목은 다음과 같다.

가. 무기이온 조성 나. 완충능력(Buffering Capacity) 다. 완충가지수(Buffer Value Index) 라. 팽윤도 마. pH 바. 비중(Bulk Density) 사. X선 형광분석

3. 반추영양 생리적 기능 조사

가. *In Vitro* 배양시험

- 1) pH
- 2) VFA 농도
- 3) NH₃ 농도
- 4) L-lactate 농도 등

나. *In Vivo* 대사시험 (면양)

- 1) 사료 성분
- 2) 위내용물 성장
- 3) 완충능력 변화
- 4) 기호성(섭취량) 변화
- 5) 소화율 변화
- 6) 분 성장
- 7) 배뇨량 및 조성
- 8) 혈액 성분 등

4. 현장 급여시험

가. 착유우 대한 사양시험

- 1) 시험 목적 : 공시광물의 실험실 분석 및 면양 *in vitro* 실험 실시 결과 1차로 선발된 우수광물의 사양가치를 낙농현장에서 검증함.

- 2) 시험 방법 :

- 비유중후기에 있는 비유단계가 유사한 2산 이후의 착유우 20두를 대조구와 공시광물 급여구의 2개군으로 구분하여 예비사양기간을 포함 90일간 급여 시험을 실시함.
- 공시광물을 농후사료 또는 TMR에 사료건물의 1% 수준에서 분말상태로 첨가 급여하며, 기타 사양 관리는 관행에 준하여 실시하였음.
- 측정항목 중 개체별 산유량은 매일 기록하며, 유조성 및 체세포수는 bulk milk 또는 개체우 별로 2주 간격으로 측정하고, 분은 급여 전과 중간 2회 그리고 급여 종료 후의 4회에 걸쳐 실시하여 분석시료로 이용함.
유성분 및 체세포 수는 유업체 또는 상응하는 분석체계를 갖춘 기관에 위탁함.
- 측정항목 : 가) 기호성 나) 유량 및 유성분 다) 체세포수 변화
라) 사료효율 마) 분의 성장 바) 분취 발생정도
사) 분내 회분 농도

나. 육우에 대하여 선정 광물을 비육 중후기 12개월간 급여하는 사양시험을 30두의 한우 육성우를 공시하여 성장단계별로 반복 실시하였으며, 이때 급여량은 건물의 1% 수준으로 하였음.

- 측정항목 : 1) 증체성적 2) 사료효율 3) 분 성장 4) 분취 발생정도
- 5) 도체특성 6) 경제성 등

다. 비육돈에 대하여 선정 광물을 가루사료나 펠릿사료에 첨가 제조하여 급여하는 사양시험을 성장단계별로 반복 실시하였으며, 이때 급여량은 건물의 1~2% 수준으로 하였음.

- 측정항목 : 1) 증체성적 2) 사료효율 3) 분 성장 4) 분취 발생정도
- 5) 경제성 등

5. 배합사료 결합효과 조사

현재 배합사료용 결합제(cementing agent)로 사용되고 있는 Zeolite를 대조로 상당하는 성격의 점토광물을 공시하여 대치실험을 실시함으로써, 펠릿효율(경도 및 균일도 등)을 검정하고, 궁극적으로는 경제성 분석을 통하여 응용 가능성을 타진하였음.

6. 토양개량 효과 검증

유우 목장에 있어서 선정 광물 급여시험과 동시에 축분을 경지에 일정량 비료로 살포한 후, 물리적 화학적으로 토양 개량 및 작물성장에 미치는 효과를 관찰 조사하였음.

- 물리성 측정항목 : 가) 토성 나) 투수성 다) 입단화도 라) Plasticity
- 마) 공극률
- 화학성 측정항목 : 가) 토양 pH 나) 유기물 함량 다) 양이온치환용량(CEC)
- 라) 치환성 양이온 (K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} 마) Total N
- 바) NH_3-N & NO_3-N 사) Total P

7. 경제성 분석

공시 및 선발광물에 대하여 광물간, 산지간에 원가 조사를 실시하며, 조사 및 실험연구에서 얻어진 성적을 토대로 한 용도별 품질 기준가격을 추정함. 운반비 등 물류비용을 포함한 유통가격을 산출하고, 급여수준과 효과에 따른 점토광물 사료 급여의 경제성을 분석 평가하였음.

제 2 장 국내산 점토광물의 종류별 물리화학적 성질 에 관한 연구

제 1 절 서 설

1. 점토광물의 분류

점토광물은 화학적 조성이나 결정상의 특징, 용도별 등 여러 가지 기준으로 분류할 수 있는데, CIPEA(국제점토연구위원회)는 결정화학적(화학조성과 결정구조) 관점에서 다음 Table 1에서와 같이 분류하고 있다.

2. 점토광물의 구조적 특성

점토광물의 기본구조를 설명함에 있어서, 면(plane)은 원자들의 이차원적 배열을 말하며, 판(sheet)은 이러한 면들이 결합된 것으로서 다면체, 즉 사면체 또는 팔면체 등의 평면배열을 가리킨다. 한편, 층(layer)은 판들의 집합으로서 사면체 또는 팔면체 판이 1 : 1 또는 2 : 1로 결합한 단위이다. 즉 규모상으로는 면 < 판 < 층의 순서가 된다.

모든 층상 규산염광물은 두 개의 기본 구조단위, 즉 Si-O로 결합된 사면체와 Al-O의 결합으로 된 팔면체로 구성되는데, 점토광물은 사면체판과 팔면체판이 1 : 1 층형 또는 2 : 1 층형으로 결합된 꼴을 하고 있다.

예를 들어 고령토(Kaolin)의 주 구성광물인 카올리나이트(Kaolinite)는 1개의 Alumina층과 2개의 Silica층으로 구성되어 있는 점토광물로서 [Fig. 1]에서와 같은 결정성 구조를 가지고 있다.

점토광물은 그 구조골격의 안정성 여하에 따라서 사면체에서의 Si⁴⁺이 Al³⁺으로 치환되거나 아니면 Mg²⁺가 Fe²⁺이나 Al³⁺으로 치환되는 수도 있다. 뿐만 아니라, 층과 층 사이의 공간(interlayer space)에 하나의 이온 또는 이온기를 가짐으로써 전기적

Table 1. Classification of clay minerals.

분류명	광물명
1 : 1 형 광물 2팔면체형 : Kaolin 3팔면체형 : 사문석	Kaolinite, Dickite, Nacrite, Halloysite Chrysotile, Lizardite, Antigorite
2 : 1 형 광물 Pyrophyllite, Talc 2팔면체형 3팔면체형 운모 점토광물 2팔면체형 3팔면체형 녹니석 2팔면체형 3팔면체형 질석 2팔면체형 3팔면체형 Smectite 2팔면체형 3팔면체형	Pyrophyllite Talc Illite, Sericite 3팔면체형 Illite -- Clinochlore(Mg 녹니석), FeMg 녹니석 Fe 녹니석, Pennine, Prochlorite 2팔면체형 Vermiculite 3팔면체형 Vermiculite <u>Montmorillonite</u> , Beidellite, Nontronite Saponite, Hectorite, Sauconite
혼합층 광물 (2 : 1 : 1 형) 2팔면체형 3팔면체형	2팔면체형 운모 / 2팔면체형 Smectite 2팔면체형 녹니석 / 2팔면체형 Kaolin 2팔면체형 Kaolin / 2팔면체형 <u>Montmorillonite</u> 3팔면체형 Vermiculite / 3팔면체형 녹니석 3팔면체형 Smectite / 3팔면체형 녹니석
2 : 1 리본형 광물 3팔면체형	Sepiolite
비정질/저결정질 광물 2팔면체형	Allophane, Imogolite

※ 2팔면체형 (Diocahedral) ⇒ 1:1층 또는 2:1층의 8면체 양이온이 3가(+3)인 경우로서, 8면체의 양이온자리(Octahedral Cation Sites)의 1/3이 빈 자리인 관계로 음이온(OH⁻) 하나가 2개의 양이온과 결합하고 있으며, 이 때문에 2팔면체형은 수직구조가 아닌 경사구조(Shifted Structure)를 하고 있음.

※ 3팔면체형 (Diocahedral) ⇒ 1:1층 또는 2:1층의 8면체 양이온이 2가(+2)인 경우로서, 8면체의 양이온자리(Octahedral Cation Sites)가 전부 차 있는 관계로 음이온(OH⁻) 하나가 3개의 양이온과 결합하고 있으며, 따라서 수직구조를 보임.

균형을 유지하게 되는데, 흔히 K⁺나 Na⁺ 또는 Ca²⁺ 이온이 가장 흔히 들어가는 단일

이온이며, 어떤 경우에는 규산염 부분의 음전하를 중화시키기 위하여 NH_4^+ 이나 유기 분자 또는 물 등이 채워지기도 한다.

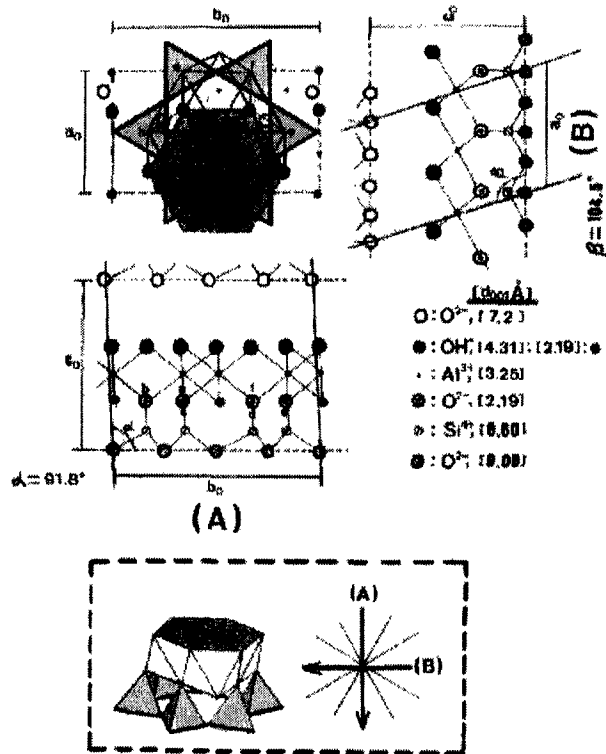


Fig. 1. Crystal structure of clay mineral(Kaolinite)

점토광물은 모두가 층간(層間)구조와 튜브구조를 이루고 있고, 이러한 구조 특성 상 입자의 내부에도 H_2O 가 출입하는 현상이 일어나기 때문에, 외부표면과 내부 표면을 둘 다 포함하는 단위질량 당 표면적이 대단히 커서, 1g 당 표면적이 500~1,000 m^2 에 달한다. 이들의 표면은 - 또는 + 의 전하를 갖고 있고, 반대 부호의 전하를 가진 이온을 끌어당기는 등 각종 현상을 일으킨다.

이와 같이 점토광물은 넓은 표면과 표면기능에 의해 여러 가지 화학적 물리적 특성을 나타내게 되는데, 예를 들어, 화학적 활성 또는 화학적 친화성이라고 일컬어지

는 이온교환성, 흡착성, 화학약품과의 반응성, 유기·무기 복합체의 형성능, 촉매능, 팽윤성, 점성, 가소성 등을 갖는가 하면, 수중에서는 점토의 미세입자가 분산·현탁하는 콜로이드적 성질을 나타내기도 한다. 이러한 여러 성질 중에서도 점토광물의 산업적인 응용을 가능케 하는 것은 주로 높은 이온교환능력(Ion Exchange Capacity)에 근거하며, 교환 가능한 층간의 양이온이 유기·무기물과 반응하기에 매우 용이한데, 교환가능한 양이온의 조성비와 화학조성의 변화범위는 점토광물의 종류나 원산지에 따라 다르다 (문희수, 1987).

3. 주요 점토광물의 종류별 특성과 국내 매장현황

가. 고령토(Kaolin)

고령토(Kaolin)란 원래 중국 강서성(江西省)의 요업 중심지인 경덕진 동쪽에 위치한 카올린(高陵)에서 산출되는 백색 점토로서 도자기를 만드는 데 사용된 광석에 대하여 붙여진 광석명이며, 그 주구성광물은 Kaolinite이다. 고령토를 구성하는 Kaolinite 이외의 광물로는 Halloysite, Nacrite, Dickite 등이 있으나 가장 많은 것은 Kaolinite와 Halloysite이다. 이들 Kaolin 구성광물들의 화학식은 $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ 로 같지만 결정구조가 서로 다르다. 예를 들어 Halloysite는 화학조성상으로는 Kaolinite와 유사하지만 구조내에 물분자를 가지고 있고 결정형태도 나선형의 튜브꼴이 많고 판상이나 구형 등도 있다.

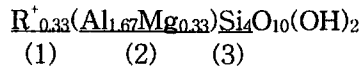
Kaolinite는 결정구조가 1개의 $[Si_2O_{10}]$ 4면체층과 1개의 $[Al_4O_4(OH)_8]$ 팔면체층으로 구성되어 있는 전형적인 1:1형 점토광물이며, 이 두 층간의 비교적 약한 결합 때문에 판상(板狀)을 이룬다. 앞의 결정구조[그림 1]에서 보는 바와 같이 Kaolinite는 특히 (B)축 방향에 무질서현상이 존재하며 이 무질서의 유형에 따라서 Halloysite, Nacrite, Dickite 등의 여러 종이 구별된다.

국내에는 현재 매년 약 60만톤의 고령토가 생산되고 있으며, 이 중 10만 톤은 수출하고 나머지가 내수용으로 사용되고 있다. 약 10만톤에 달하는 수입 고령토는 주로 제지용 Kaolinite로서 이것은 국내에서 생산되지 않는 특정 성격을 가진다 (이종근, 1986).

나. 벤토나이트(Bentonite)

몬모릴로나이트(Montmorillonite)를 주구성광물로 갖는 부드럽고 공극이 많은 밝은 색의 전형적인 점토광물(Clay Mineral)로서 화산 분출시에 암석의 퇴적으로 생긴 것이다. 벤토나이트 역시 알루미늄의 함유규산염(hydrous aluminium silicate)인데, Bentonite라는 명칭은 미국 Wyoming주나 Dakota주 지역의 Benton층에서 유래한 데서 붙여진 것이며, 일부에서는 산성백토(Acid Earth)라고도 부르지만 산성을 띠지 않는 것도 있으므로 엄밀한 의미에서 구분될 필요가 있다.

주광물인 몬모릴로나이트(Montmorillonite)는 3개의 층으로 구성되어 있는 2 : 1 광물로서, 1개의 Alumina층과 2개의 Silica층으로 구성되어 1 : 1형을 이루고 있는 Kaolinite과 대조적이다. 몬모릴로나이트의 일반 구조식은 $M(\text{Al}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Li})_4(\text{Si}, \text{al})\text{O}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 이고, 여기에 표현방법에 따라서 약간의 차이는 있으나, 대체로



로 표현할 수 있으며, 이때 (1)은 교환성 양이온(Exchangeable Cation), (2)는 팔면체 구조, (3)은 사면체 구조를 형성하는 부분에 해당한다.

벤토나이트는 결정의 크기가 매우 작고, 격자형 구조상 수분과 접촉하여 팽창하는 성질이 강하며 이온교환능력이 매우 큰 특성을 가진다. 활성이 상대적으로 큰 표면적을 가질 뿐 아니라 층간에 존재하는 교환가능양이온(Exchangeable Cation)의 조성비와 화학조성의 변화범위가 광물에 따라 다르고, 또한 교환가능한 층간의 양이온들이 유기·무기물과의 반응하기에 매우 용이하다(文熙壽, 1987).

벤토나이트에는 칼슘(Ca)계와 나트륨(Na)계의 두 가지가 있는데, 칼슘계 벤토나이트는 몬모릴로나이트(Montmorillonite)를 어느 정도 함유하기는 하지만 원산지에 따라서 함량에 변이가 크며, 판(layer)구조의 제한성으로 인해 액상환경에서 수분 흡수능력이 거의 없고 이온교환능력(CEC)도 매우 낮다. 이에 반하여 나트륨(Na)계 벤토나이트는 몬모릴로나이트의 함량이 높아 수분 흡수능력이 커 부풀어 오르는 팽윤성(Swelling)이 강하고 이온교환력에 있어 칼슘계보다 훨씬 높다. Calcium bentonite는 평균 자체 중량의 1.5배에 해당하는 수분을 흡수하여 2~4배 정도의 팽창능력이 있는 반면, Sodium bentonite는 높은 이온교환특성(CEC)과 함께 자체 중량의 5배 정도의 수분을 흡수할 수 있는 풍부한 수분 흡수능력을 가진다. 또한 물에 섞일 경우에 최

초 건조부피의 12~15배까지 팽창하는 높은 잠재 표면적을 가지고 있다.

국내 추정 매장량은 2천300만 톤 정도로 주로 울산 및 포항 근처에서 원광으로 생산되는데, 대부분 칼슘계 벤토나이트이므로, 경제성이 있을 경우에는 화학적 처리에 의하여 소디움 벤토나이트로 가공하여 사용하고 있다.

다. 조라이트(Zeolite)

조라이트는 *Tectosilicate*계에 속하는 합수규산염을 주성분으로 하는 점토광물로서, 1920~30년대에 와서야 그 개발이 시작되었으나 천연으로는 매우 적은 양이 산출될 뿐이므로 합성된 불석제품도 많이 이용되고 있는 실정이다. 화학적 조성 및 광물학적 구조에 따라 20여종이 밝혀져 있으며, 국내산은 Clinoptilolite의 Mordenite를 주광물로 갖는 조라이트가 대부분이며, 경북지역에 주로 부존되어 있고 연간 생산량은 12만 톤을 상회하고 있다(이종근, 1986).

조라이트는 물분자가 결정수로 격자구조 내에 들어있어 쉽게 빠져나오는 개방구조를 가지고 있으며, 비교적 단단한 무색투명 또는 백색을 띤다. 가열하면 거품을 내며 부풀어오르는 성질을 가지고 있어 국내에서 부르는 '불석(沸石)'이라는 명칭도 여기에서 유래한다. 조라이트는 결정구조상 원자의 결합이 강하지 않아서, 그 안에 존재하는 결정수(結晶水)는 일반 구조수(構造水)와는 달리 탈수되더라도 기본구조가 파괴되지 않은 채 그 자리가 공동(空洞)으로 남게되고 다시 수분이나 가스가 흡착될 수 있으므로 흡착제로 이용될 수 있다.

조라이트는 CEC가 꽤 높은데, 이는 골격구조인 Si 사면체의 일부 Si가 Al로 치환되면서 전하차(電荷差)가 발생하고, 여기에 알칼리금속, 또는 알칼리토금속이 흡착되기 때문이다. 일찍이 Kirk(1956)는 그 구성성분 중 Si를 Al이 대체함으로써 유발되는 양전하의 부족을 Na, Ca, Mg 등의 이온이 대체할 수 있고 이들간의 결합은 강하지 않기 때문에 가축의 체내에서 유리되어 이용될 수 있어, 농업분야에서 이용하는 양이온치환효과를 가축에게도 이용할 수 있음을 암시하였다.

라. 규조토(Diatomite)

규조토(硅藻土)는 일명 '화석 실리카(Fossil Silica)'라고 불리며, 단세포 수생생물인 규조류의 화석화된 잔재로 이루어진 퇴적암으로서 그 고유한 형태와 구조상 일반

실리카와는 구별된다. 공업용 또는 환경처리용 여과제로 많이 이용되고 있는데, 세계 생산능력은 200만톤 정도이며 미국이 세계시장을 주도하고 있다. 국내 매장량은 잘 알려져 있지 않으나 주로 경북 영일과 포항지역에서 산출되며 여과제나 충전제 등으로 쓰이면서 꾸준한 내수 증가에 힘입어 생산량의 변화는 심하지만 1994년에는 8만톤대를 기록했고 소량의 수입도 하고 있다(광물과 산업, 1990).

마. 질석(Vermiculite)

질석(蛭石)은 야외에서 금색 내지 갈색을 띠는데, 구조상으로는 운모(雲母)와 유사한 형태를 가진 2 : 1층형 광물이며 입자크기는 다양하다. 운모류처럼 사면체 또는 팔면체 표면에서 양이온 치환이 광범위하게 일어나, 층간의 CEC는 100~150 mEq/100g에 달한다. 열을 가하면 부풀어오르며, 비중이 낮고 열에도 잘 견딜 뿐만 아니라 보온방음의 효과도 있어 경량골재 및 내열재로 많이 쓰이고 온상토의 재료 등 원예농업분야에서도 용도가 상당히 크다.

국내 생산은 충남지역에서 주로 집중되고 있으나 생산량이 매년 감소 추세를 보이고 있는 데 반하여 수입량은 점차 증가하는 추세에 있다.

바. 활석(Talc)

촉감이 매우 부드럽고 매끄러우며 전기에 대해 절연성을 갖는 활석은 분말상(粉末狀)일 때 흡수성, 고착성이 강하며 내화성도 우수하여 내화제 또는 충전제 등으로 주로 쓰이고 있다. 우리 나라에서는 주로 제지용으로 이용되고 있으나 내수는 증가되고 있는 추이에 있으며, 순도가 높은 것은 한약재용으로도 이용되고 있다.

사. 맥반석(Granite Porphyry)

화성암 중 석영반암에 속하는 것으로, 중생대 이후에 분출된 화산용암이 장세월 동안의 풍화작용에 의해 점토화하여 장석의 반점과 석영의 결정이 고루 섞여 있는 광물이다. 전형적인 규산염계 광물로 분류되지는 않으나, 녹니석, 견운모, Kaolinite 등의 점토광물을 많이 포함하고 있어 그 물리적 성질은 판산(板狀) 구조인 점토광물과 유사하다.

마치 보리밥과 같은 반점을 가진다는 데서 '맥반석(麥飯石)'이라는 이름이 생겨났는

데, 이것이 학술명은 아니다. 이것은 옛부터 ‘약석(藥石)’이라고 하여 본초강목(本草綱目) 및 중국약학대사전(中國藥學大辭典)에 소개되어 있고, 인체에 대한 약효와 관련하여 중국이나 일본에서는 예를 들어 노화방지, 신진대사촉진, 항균작용, 독성제거, 피로회복, 항암효과 등과 관련된 연구들이 활발하다. 국내에서는 주로 수질정화에 많이 이용되고 있으며, 일본에서는 입욕용, 주조용, 탈취용으로 사용되거나, 화장품, 담배필터, 연고 등의 원료로도 임요된다. 국내에서는 근래에 공업용 등 각종 용도로의 수요가 증가하고 있으나, 일본을 비롯한 다른 나라에서는 농업분야에서의 활용도도 상당히 높다.

일본의 축산분야에서는 근래에 이 광물을 착유우에게 급여하였을 때 유방염 감염 지표인 체세포수(somatic cell count)가 감소하는 효과를 나타내었다고 하여, 지역에 따라서 상당히 이용하고 있는 것으로 보고되고 있다(Dairy Journal, 1993). 따라서, 근래 국내 낙농분야에 초미의 관심사로 대두된 유질개선 문제와 결부될 수 있으므로 그 효과가 검증된다면 상당히 중요한 소재로 등장할 수 있으며, 결국 물리 화학적 성질면에서 볼 때, 판상(板狀)구조인 점토광물과 유사하여 동물 영양생리학적 기능을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

아. 진주암(Perlite)

진주암은 화산암계의 규산염광물로 규산의 함량이 높고 화학적으로 안정되어 있어 산알칼리나 고열에도 잘 견디는 특성을 가지는 광물로 규조토(Diatomite)에 비하여 비중이 가벼우면서 공극률이 높은 관계로 농업에서는 흔히 온상용 화분토나 토양개량제로 쓰여 왔으며, 이외에도 식품공업을 비롯하여 각종 산업용 환경자재나 정제재, 여과재 등으로 이용되고 있다.

자. 기 타

그리고 제주도산 규산염계 광물질인 송이(Scoria)는 화산활동에 의해 형성된 고형물로 제주지역에 매장량이 풍부하고(약 2억톤), 다공성이어서 가벼우며 보수력(保水力)이 좋을 뿐 아니라 일부 중금속을 흡착하는 성질이 있는 규산염 광물(제주도, 1997)로 벤토나이트를 비롯한 점토광물류와 성질이 비슷하다. 또한 본 시험에 함께 공시한 활성탄(Charcoal)은 전통적으로 탈취, 탈색, 독성제거 등의 용도로 사용해 온 탄화물로서 흡착성을 비롯한 몇 가지 성질이 효과면에서 점토광물과 유사하다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 공시 점토광물 및 표준화

본 연구는 1차적 연구대상으로 국내산 점토류, 불석, 규조토, 질석, 활석, 맥반석 등을 주 공시광물로 하되, 효과상의 비교를 하기 위하여 조사항목에 따라서는 유사한 기능을 가질 수 있다고 판단되는 유사 광물종으로 진주암, 송이, 활성탄 등을 대조용으로 포함시켰다. 한편 공시광물들의 물리적 성상, 특히 입자도에 따른 측정상의 오차를 최소화하기 위하여 100 또는 200mesh를 기준으로 설정하고 시료를 표준화하여 물리적 화학적 성질을 조사하였으며, 일부 광물에 대해서는 입자도 크기에 따른 차이를 조사하기 위해 분쇄도를 달리하여 조사를 실시하였다.

2. 물리적 특성 및 화학조성 측정

가. pH

풍건토 5g을 50ml 비이커에 취하여 증류수 25ml을 가하고 때때로 유리봉으로 저어 주면서 1시간 방치후 pH meter를 buffer 용액으로 맞춘 다음, 깨끗하게 씻은 소자 및 표준전극을 넣고 60초 이내에 읽었다(토양화학분석법, 1988).

나. 완충능력(Buffering Capacity) 및 완충가치수(Buffer Value Index)

공시광물 시료 0.5g(건물기준)을 50ml의 비이커에 넣어 30ml의 증류수와 함께 3분간 교반한 후 초기 pH를 측정한다. 그 다음 1N HCl를 사용하여 초기 pH로부터 pH 5까지 적정하였으며, 동시에 또다른 비이커에 시료를 위와 동일한 방법으로 준비하여 1N NaOH로 초기 pH로부터 pH 7까지 적정한 후 각각 소요된 산과 염기의 양을 측정하였다. 이때 만일 초기 pH가 7 이상일 경우에는 pH를 7로부터 5까지 감소시키는데 필요한 1N HCl의 양만을 기록하였으며 초기 pH가 5 이하일 경우에는 pH를 5에서 7까지 증가시키는데 소요된 1N NaOH의 양을 측정하여 다음 식으로부터 BC와 BVI를 산출하였다(Miller 등, 1993).

$$BC(\text{meq}/\ell) = ((\text{milliliter of } 1N \text{ HCl}) + (\text{milliliter of } 1N \text{ NaOH})) \times 10^3 / 30$$

$$BVI = (((\text{antilog}_{10}(-\text{STPH})) - (\text{antilog}_{10}(-\text{SAPH}))) / (\text{antilog}_{10}(-\text{STPH})) + ((\text{SABC}-\text{STBC}) / \text{STBC})) \times 10) + 100$$

where STPH : 표준 pH (6)

SAPH : 측정할 반추위액의 초기 pH

SABC : 측정할 반추위액의 buffering capacity(meq/ℓ)

STBC : 표준화된 BC (50 meq/ℓ)

다. 양이온치환능력 (Cation exchange capacity, CEC)

1N-Ammonium acetate method (토양화학분석법, 1988)를 이용하였다. 1N-NH₄OAc (pH 7.0) 용액으로 토양시료를 통과시켜 치환성 NH₄⁺로 포화시키고, 과잉의 ammonium acetate를 80% ethyl alcohol로 세척한 후 NH₄⁺ 포화토양을 Kjeldahl 증류장치에 의해 NH₄⁺를 직접 정량하여 CEC를 산출하는 방법인데, 우선 공시광물 10g을 filter paper(Whatman No. 42)를 이용해 1N -NH₄OAc으로 충분히 반응시키고, 80% ethyl alcohol로 충분히 세척시킨다. 이후 공시광물을 filter paper와 함께 500ml Kjeldahl flask에 옮기고 MgO 5g을 넣어 300ml의 증류수와 함께 증류하는데, 이때 수기에는 4% boric acid 50ml을 넣어 두며, 200ml까지 받는다. 수기를 표준 용액(0.1N H₂SO₄)으로 적정한 뒤 다음 식을 이용해 CEC를 산출한다.

$$CEC (\text{me}/100\text{g}) = \frac{\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ ml 수}}{\text{채취한 토양 g 수}} \times \text{H}_2\text{SO}_4 \text{의 규정농도} \times 100$$

라. 화학조성 조사

공시광물의 화학조성 성분을 알아보려고 실시한 X선 형광분석은 각 공시광물의 입자도를 200mesh 기준으로 표준화한 후, 시료를 고려대학교 내 기초과학지원연구소 서울 분소에 분석 의뢰하여 수행되었으며, 이때의 분석조건은 다음과 같다.

- 분석기종 : PHILIPS PW1480 X-ray Fluorescence Sequential Spectrometer
- 분석시 측정강도를 얻기 위한 조건 : 전압 40kV, 전류 30mA
- 시편제작 : 950°C에서 ignite한 시료와 di-lithium tetraborate(Li₂B₄O₇)를 1:5로

혼합하여 automatic bead machine으로 1200℃에서 fusion시켜 glass bead로 제작하여 분석에 이용하였다.

- 표준물질 : 검정(calibration)에 이용된 표준물질은 미국지질조사소(USGS)에서 제작한 국제공인 표준물질(SRM:Standard Reference Material) 12개와 상용으로 시판되는 MBH analytical의 표준물질 12개이며, 이 시료들의 화학조성의 범위가 한정되어 있어 그 범위를 확장시키기 위해 표준물질 및 표준시약을 이용해 15개의 표준시료를 만들었으며, 이들은 각각 950℃에서 30분 이상 가열시킨 후 표준시편을 제작하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 공시 점토광물의 선정 및 표준화

국내에서 생산되는 점토광물 중 사료자원으로 이용 가능성 있는 시료를 모두 채취하되, 일부 주요 시료들에 대해서는 지역별 또는 입자도 별로 시료를 채취하려 하였는데, 입자도의 경우 실험실에서 표준체를 이용하여 입도별 분류작업을 하거나 현장에서 통용되고 있는 입자도를 기준으로 시료를 표준화하였다. 수집된 광물시료의 종류는 Table 2에 제시된 바와 같다.

Table 2. List of test clay minerals collected and standardized according to particle size.

No.	Name	Place of produced or supplier	Date standardized	Particle size	
1	Clay	Kaolinite	Yeoju, Kyunggi	97. 2. 14.	#100
		Kaolin white	Yeoju, Kyunggi	97. 2. 14.	#100
		Kaolin pink	Yeoju, Kyunggi	97. 2. 14.	#100
		Loess	Iksan, Chunbuk	97. 2. 14.	#100
		Bentonite	Pohang, Kyungbuk	97. 6. 10.	#200
96. 12. 2.	#250				
2	Zeolite	Pohang, Kyungbuk	96. 12. 2.	#35, #70	
			97. 6. 10.	#200	
3	Diatomite	Daekyung Co. Ltd.	96. 12. 2.	#35, #200	
4	Vermiculite	Daekyung Co. Ltd.	96. 12. 2.	#100	
5	Talc	Hongsung Pharm. Co. (Japan)	96. 12. 2.		
		Daekyung Co. Ltd.	96. 12. 2.	#325	
6	Granite phorphyry	Kyungju, Kyungbuk	96. 12. 2.	#100, #325, #500	
			97. 6. 10.	#200	
		Choongju, Choongbuk	96. 12. 2.	#30, #80	
7	Pearlite	Daekyung Co. Ltd.	96. 12. 2.	#10, #150	
8	Scoriae	Jeju, Jejudo	97. 1. 6.	#100	
9	Charcoal	Jeil Chem. Co. Ltd.	97. 2. 20.		

주요 점토광물의 생산지를 보면 각 광물이 생산되는 지역에 따라 이들 광물을 이용한 그 지역 고유의 산업이 발달한 것을 볼 수 있었으며, 한편 지역적인 특성에 따라 시료를 채취하였는데, 고령토의 경우 도자기로 유명한 경기도 여주, 이천지역에서

주로 시료를 채취하였고, 벤토나이트, 불석, 규조토 등은 다른 지역에 비해 상대적으로 매장량이 많은 - 각각 약 980만톤, 약 4천 140만톤, 약 690만톤 - 경북지역에서 시료를 채취하였다(광물자원매장량 현황, 1997).

그리고 활석은 국내산과 일본산을 비교시험하기 위하여 각각 시료를 채취하였으며, 맥반석은 주생산지인 경북 경주지역(감포)과 충북 충주시(수안보) 등지에서 시료를 채취하였는데, 최근 우리 나라에서 상업적으로 많이 이용되는 광물임에도 불구하고 아직 국내에서 정식광물로 등록이 되어 있지 않기 때문에 정확한 매장량은 확인되지 않고 있다. 그밖에 다른 종류의 광물들-질석 및 진주암-과 제주지역의 대표적인 화산석인 송이(Scoriae) 등을 대상으로 시료를 채취하였으며, 광물류에는 속하지 않지만 이들 광물들과 비슷한 성격을 가지거나 사료자원으로 쓰일 가능성이 있는 것으로 판단되는 활성탄(Charcoal)을 시료에 포함시켰다.

한편, 현재까지 일부 사료자원으로 사용되어 왔던 불석과 최근 몇몇 연구자료에서 맥반석을 급여하여 젖소의 체세포수를 감소시킨다는 보고가 있어(Dairy Journal, 1993) 앞으로 사료자원으로써 이용 가능성이 높다고 판단되는 맥반석의 경우에는 특별히 입자도를 다양화하여 시료를 채취하였다.

2. 화학조성

X선 형광분석 방법에 의해 분석된 공시광물의 화학성분 조성을 보면 Table 3에 제시된 바와 같다. 이들 광물의 특성을 살펴보면, 점토류, 불석, 규조토, 맥반석, 진주암 등에서 주로 규산질(SiO_2)이나 알루미늄(Al_2O_3) 성분을 함유하고 있으며, 이들 두 성분이 전체 비율의 약 75% 이상을 차지하고 있는 것으로 나타났다. Kaolin과 Clay 류는 주로 백색인 것이 유색인 것에 비하여 규산의 함량이 더 높은 경향을 나타냈다.

비교적 높은 함량의 칼륨(K)과 기타 미량원소를 골고루 함유하고 있었다. 황토(Red clay)의 경우, 철분(Fe) 함량이 7% 정도에 달하여 붉은 색의 출처가 주로 철분에 유래함을 암시하고 있다. 점토광물은 출처에 따라서 화학적 조성에 많은 변이가 있는 바, 규조토(Diatomite)를 예로 보면, SiO_2 의 함량은 70% 정도로서 미주지역(미국, 맥시코)에서 출토되는 Diatomite의 90%보다는 크게 낮으나, 유럽산(74%젓)과는 유사한 수준이며, 반면에 Al_2O_3 함량의 경우엔 12% 정도로서 미주(3.5%)나 유럽(11%)의 산

물보다 더 높은 값을 보였다.

Table 3. The chemical composition of clay minerals on test.

(unit : wt %)

item Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I.**	Total
Bentonite	63.25	13.45	2.24	0.20	0.06	1.77	1.51	1.63	1.96	0.05	13.24	99.36
Clay white	53.08	28.64	2.03	0.11	0.02	0.14	0.92	8.12	0.52	0.01	5.95	99.54
Diatomite	70.57	11.56	3.54	0.45	0.01	0.16	0.63	1.55	0.35	0.11	10.68	99.61
Kaolin white ¹⁾	62.67	20.56	1.49	0.15	0.03	0.46	0.70	3.78	0.41	0.03	8.98	99.26
Kaolin white ²⁾	61.53	20.99	2.01	0.20	0.06	0.44	0.72	4.64	1.23	0.02	7.80	99.64
Kaolin pink	56.71	25.82	2.22	0.21	0.06	0.21	0.56	3.56	0.14	0.03	9.96	99.48
Kaolinite	74.57	14.97	0.91	0.09	0.04	0.23	0.32	2.38	0.59	0.02	5.60	99.72
Pearlite	73.73	13.14	0.82	0.12	0.05	0.76	0.16	4.63	3.13	0.02	3.02	99.58
Porphyry ¹⁾	69.48	15.00	2.47	0.39	0.08	2.22	0.65	3.00	4.42	0.08	1.94	99.73
Porphyry ²⁾	69.02	14.84	2.90	0.36	0.18	1.43	1.22	2.98	2.97	0.10	3.71	99.71
Red clay	49.28	26.57	6.92	0.70	0.02	0.06	0.73	3.34	n.d	0.06	11.52	99.20
Scoria	44.28	17.18	11.92	2.74	0.17	7.43	3.73	1.32	2.84	0.68	6.88	99.17
Talc	0.39	0.13	0.07	0.00	0.01	47.05	1.98	0.05	0.23	0.01	42.41	92.33
Vermiculite	40.34	11.91	17.52	2.25	0.13	2.02	15.35	4.75	0.09	0.08	4.32	98.76
Zeolite	64.10	13.04	1.65	0.24	0.07	1.10	0.95	2.55	2.76	0.05	12.90	99.41

* : total Fe

** : loss on ignition

^{1) 2)} : different location

질석의 경우 SiO₂가 40.34%, Al₂O₃ 11.91% 함유되어 있고, Fe₂O₃와 MgO의 비율도 높았는데, 각각 17.52%와 15.35%였으며, 송이(Scoria)의 경우 SiO₂가 44.28%, Al₂O₃ 17.18%, Fe₂O₃의 비율이 11.92%로서 규산함량은 타 광물종에 비해 낮은 반면에 철(Fe)이나 마그네슘(Mg) 공급에 잠재성이 높은 것으로 나타나 Crude product로서의 이들의 미량무기물 공급능력은 경제성 여하에 따라서 사료화의 가능성을 가진 것으로 사료된다.

한편, 활석(Talc)의 경우 다른 광물들과 상이한 화학조성을 나타냈는데, 주로

CaO(47.05%)였고 연소중 감량비율이 42.41%에 달하였다. 연소로 인한 감량비는 곧 보수성과 유기물의 함량을 암시하는 것으로 공시점토광물 중에서도 Bentonite와 Zeolite, 그리고 Red clay는 높은 점화유실률(Ignition Loss)을 보였다.

3. pH

Table 4에서 보는 것처럼, 공시된 점토광물 중 벤토나이트, 활석 및 맥반석의 pH가 평균 9 이상을 나타내었으며, 비점토성 광물에서는 활성탄이 pH 9.23으로 높게 나타났다. 그리고 같은 점토광물종이라 하더라도 일부는 낮은 pH를 보였는데, 규조토는 pH 3.68~4.05, 황토 pH 4.17, 그리고 매화토(Kaolin Pink)의 경우에는 pH 5.02로 나타났다. 한편, 입자도와 관련하여 조라이트나 맥반석의 경우 입자가 고와질수록 pH는 다소 높아지는 것으로 나타났는데, 이는 이온교환능력이 입자표면적과 비례적으로 작용하는 때문일 것으로 해석된다. 이러한 결과들은 결국 이들 광물들이 가축에 급여되었을 때 반추위내 산성도의 급격한 증가를 막아 줄 수 있는 완충기능을 할 수 있음을 암시해 준다. 이것은 입자도가 고와지면서 표면적이 상대적으로 넓어지면서 이들 광물들을 구성하고 있는 무기물 등에 의해 영향을 받은 것으로 사료된다.

4. 완충능력(Buffering capacity, BC) 및 완충가지수(Buffer value index, BVI)

BC나 BVI는 가축이 사료와 함께 이들 광물을 섭취하였을 때 위장관 내에서의 완충기능의 정도를 알아 볼 수 있는 지표로서, 반추동물의 경우 반추위내에 일정한 산도를 유지하는 것이 영양생리적으로 중요한 의미를 갖기 때문에, 이 수치가 암시하는 바는 크다고 하겠다.

Table 4에서 보면, 공시된 점토광물 중 완충능력(BC)이 가장 높은 것은 국내산 활석으로서 약 258.33~293.67(meq/l) 정도를 나타냈으며, #200 조라이트, 벤토나이트, 송이(Scoriae) 및 활성탄 등이 각각 1.22, 1.83~2.78, 1.17, 4.08(meq/l) 등으로 비교적 높은 수치를 보였으며, 이들 점토광물의 BVI 역시 상대적으로 높게 나타났다. 반면, 규조토의 경우 BC는 각각 1.00meq/l 정도를 보였지만 초기 pH가 낮은 관계로 BVI는 상당히 낮게 나타났다. 이들 결과를 볼 때, 대부분 반추동물에 대해 농후사료 급여

Table 4. pH, Buffering capacity(BC) and Buffer value index(BVI) of clay minerals

No.	Name	Particle size	pH (1:5) ¹⁾	BC(meq/ ℓ) ²⁾	BVI ³⁾
1	Kaolinite	#100	6.48±0.009	0.12±0.017	92.94±0.166
	Kaolin white	#100	6.43±0.022	0.15±0.017	95.56±0.100
	Kaolin pink	#100	5.02±0.038	0.25±0.017	66.62±4.593
	Red clay	#100	4.17±0.016	0.55±0.017	-30.28±4.505
	Bentonite	#200	9.92±0.078	2.78±0.050	100.56±0.010
#250		9.26±0.025	1.83±0.167	100.37±0.033	
2	Zeolite	#35	7.54±0.005	0.33±0.067	99.54±0.178
		#70	7.62±0.008	0.20±0.033	99.27±0.196
		#200	8.73±0.009	1.22±0.050	100.24±0.010
3	Diatomite	#35	3.68±0.009	1.00±0.000	-911.45±11.646
		#200	4.05±0.012	1.00±0.167	-660.19±52.409
4	Vermiculite	#100	6.71±0.145	0.18±0.017	97.34±0.059
5	Talc		9.27±0.009	0.88±0.050	100.16±0.013
		#325	9.43±0.031	258.33±8.333	151.67±1.667
6	Granite porphyry	#30	9.16±0.052	0.15±0.017	99.16±0.017
		#80	9.55±0.038	0.17±0.000	100.01±0.004
		#100	9.08±0.057	0.20±0.000	99.34±0.008
		#200	9.18±0.016	0.35±0.050	100.03±0.020
		#325	9.33±0.017	0.20±0.000	99.74±0.017
		#500	9.49±0.025	0.55±0.050	100.10±0.011
7	Pearlite	#10	6.87±0.009	0.25±0.017	97.28±0.251
		#150	6.68±0.014	0.17±0.000	98.17±0.043
8	Scoriae	#100	8.24±0.028	1.17±0.067	100.22±0.012
9	Charcoal		9.23±0.008	4.08±0.083	100.82±0.017

1) Pearlite & Charcoal = 1:10 ; Peatmoss = 1:20

2) Buffering Capacity 3) Buffer Value Index 4) Choongju, Choongbuk

5) Kyungju, Kyungbuk

위주의 사양을 하고 있는 우리 나라의 경우 활석, 조라이트, 벤토나이트 등을 사료에 일부 완충제(buffer)로 첨가급여하게 되면 반추위내 급격한 산도의 저하로 인해 미생물활동을 제한함으로써 일어나는 여러가지 대사장애 등을 방지할 수 있으리라 사료된

다.

한편, 각기 다른 지역에서 시료를 채취한 맥반석의 경우 pH, BC 및 BVI 공히 지역적인 차이는 없는 것으로 나타났다.

Table 5. The cation exchange capacity(CEC) of clay minerals

No.	Name	Particle size	CEC(me/100g)	Remarks
1	Kaolinite	#100	4.21±0.054	
	Kaolin white	#100	16.42±0.065	
	Kaolin pink	#100	9.95±0.098	
	Red clay	#100	14.30±0.040	
	Bentonite	#200	68.15±0.040	
#250		66.32±0.239		
2	Zeolite	#35	49.72±0.449	
		#70	58.34±0.384	
		#200	60.62±0.920	
3	Diatomite	#35	20.76±0.323	
		#200	21.60±0.112	
4	Vermiculite	#100	5.66±0.145	
5	Talc		0	Japan
		#325	0	
6	Granite porphyry	#30	2.08±0.179	Choongju, Choongbuk
		#80	1.67±0.058	"
		#100	2.93±0.034	Kyungju, Kyungbuk
		#200	12.02±0.259	"
		#325	3.32±0.025	"
		#500	5.44±0.137	"
7	Pearlite	#10	1.78±0.029	
		#150	1.19±0.035	
8	Scoriae	#100	3.55±0.041	
9	Charcoal		2.44±0.034	

5. 양이온 치환능력(Cation exchange capacity, CEC)

Table 5에서 보듯이, 조라이트와 벤토나이트에서 양이온치환능력이 각각 49.72~73.71, 66.32~68.15(me/100g)로 높았고, 다음으로 규조토(20.76~21.60)와 Kaolin White(16.42~20.21)의 순이었으며, 맥반석의 경우에는 BC나 BVI와는 독립적으로 비교적 낮은 수치(1.67~5.44)를 보였으며, Perlite가 가장 낮은 것으로 나타났다. 한편 2차로 수집된 #200 맥반석은 CEC가 12.02(me/100g)로 기존의 다른 맥반석에 비해 높

은 것으로 나타나 시료채취 시기 및 지역별로 성질에 다소 차이가 있음을 암시해 준다. 질석의 경우 공시시료는 상당히 낮은 CEC값을 가짐으로서 생산지의 위치와 입자도에 따른 변이가 큰 것으로 사료된다. 활석의 경우에는 중류후 적정을 위해 직접 지시약을 떨어뜨리면 곧바로 자색으로 변하는 것을 볼 때, CEC가 거의 없는 것으로 사료되며 이 부분도 앞으로 연구를 통해 구명되어야 하리라 생각된다. 위의 결과들을 볼 때, 대체적으로 벤토나이트, 조라이트, 맥반석 등이 이온교환성질을 활용한 특수사료로서의 이용가치가 있다고 사료된다.

6. 화학조성 조사

공시광물의 화학조성 성분을 알아보하고자 실시한 X선 형광분석의 결과 Table 6에서 보는 바와 같다.

Table 6. The data of X-ray Fluorescence(XRF) of clay minerals

No.	Name	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ ¹⁾	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	L.O.I. ²⁾	Total
1	Kaolinite	74.57	14.79	0.91	0.09	0.04	0.23	0.32	2.38	0.59	0.02	5.60	99.72
	Kaolin white	62.67	20.56	1.49	0.15	0.03	0.46	0.70	3.78	0.41	0.03	8.98	99.26
	Kaolin pink	56.71	25.82	2.22	0.21	0.06	0.21	0.56	3.56	0.14	0.03	9.96	99.48
	Red clay	49.28	26.57	6.92	0.70	0.02	0.06	0.73	3.34	n.d. ³⁾	0.06	11.52	99.20
	Bentonite	63.25	13.45	2.24	0.20	0.06	1.77	1.51	1.63	1.96	0.05	13.24	99.36
2	Zeolite	64.10	13.04	1.65	0.24	0.07	1.10	0.95	2.55	2.76	0.05	12.90	99.41
3	Diatomite	70.57	11.56	3.54	0.45	0.01	0.16	0.63	1.55	0.35	0.11	10.68	99.61
4	Vermiculite	40.34	11.91	17.52	2.25	0.13	2.02	15.35	4.75	0.09	0.08	4.32	98.76
5	Talc	0.39	0.13	0.07	0.00	0.01	47.05	1.98	0.05	0.23	0.01	42.41	92.33
6	Granite Porphyry	69.02	14.84	2.90	0.36	0.18	1.43	1.22	2.98	2.97	0.10	3.71	99.71
7	Pearlite	73.73	13.14	0.82	0.12	0.05	0.76	0.16	4.63	3.13	0.02	3.02	99.58
8	Scoriae	44.28	17.18	11.92	2.74	0.17	7.43	3.73	1.32	2.84	0.68	6.88	99.17

※ Unit : wt%

¹⁾ Fe₂O₃ : Total Fe ²⁾ L.O.I. : Loss on ignition ³⁾ Not detect

질석의 경우 SiO_2 가 40.34%, Al_2O_3 11.91% 함유되어 있고, Fe_2O_3 와 MgO 의 비율도 높았는데, 각각 17.52%와 15.35%였으며, 송이의 경우 SiO_2 가 44.28%, Al_2O_3 17.18%, Fe_2O_3 의 비율이 11.92%였다. 한편, 활석의 경우 다른 광물들과 상이한 화학 조성을 나타냈는데, 주로 CaO (47.05%)였고 연소중 손실된 비율도 42.41%나 됐다. Perlite는 SiO_2 함량이 약 74%에 달하여 가장 높은 수치를 보였다. 그 밖에 이들 점토 광물들이 비록 소량이지만 다양한 무기물을 함유하고 있어 일부 무기물 공급제로서의 역할 또한 수행할 수 있으리라 사료된다.

그러므로 결국 이들 점토광물 각각의 물리화학적 특성이나 구성성분 등을 고려하여 반추위의 완충제나 무기물 공급제 또는 원적외선 방사성질 등을 이용한다면 부존 자원의 이용측면에서 상당한 효과를 얻을 수 있으리라 기대되며, 앞으로 이러한 광물들을 직접 대상가축에 급여시험을 수행함으로써 실제적인 급여효과를 검증할 수 있는 다양한 연구가 요구된다고 하겠다.

제 3 장 점토광물의 반추영양생리학적 기능에 관한 연구

제 1 절 서 설

1. 공시 점토광물의 선정

제 2장에서 언급된 바와 같이, 점토광물이 다른 광물과 다른 특성은 주로 고유한 결정구조와 화학적 조성에 기인하며, 특히 층구조에 의한 흡착작용과 이온교환용량(CEC)은 결정적인 요인으로 작용하며, 사료로 섭취 시 동물의 위장관 내에서 일어나는 완충작용이나 각종 이온 흡착작용, 수분 또는 가스 흡착작용 등은 대부분이 여기에 기인한다고 할 수 있다.

실제로 국내 사료관리법(1997)에는 사료용 점토광물을 규산염제로 분류하여 그 공정규격을 최저 CEC 수준에 기준을 두고 있는 바, 본 연구에서도 점토광물로서의 사료적 잠재성을 일차적으로는 CEC와 완충능력에 주안점을 두고 공시광물을 선정하고자 하였다. 그리하여 CEC가 60mEq/100g 이상에 해당하고 완충능력이 비교적 우수한 Bentonite, Zeolite와 완충능력이 비교적 우수하고 체내 특이효과를 기대할 수 있을 맥반석(Porphry)을 지목하였다. 나머지 점토광물들은 대체로 20mEq/100g 이하의 낮은 CEC를 가졌을 뿐 아니라, 황토(Red clay)와 Diatomite는 pH와 완충능력면에서 낮은 편이어서 제외하였으며, 활석(Talc)은 주성분이 Ca이며 가격면에서 부적합하였다. 또한 질석(Vermiculite)의 경우에는 CEC가 낮고 철분이 과다한 편이어서 사료용으로 덜 적합하다고 판정하였다.

2. 점토광물의 반추위 내 완충기능(Buffering Action)에 관한 기존 연구보고

점토광물의 완충능력은 특히 반추동물에서 중요한 의미를 지닌다. 착유우에서 Counotte 등 (1979)은 bicarbonate, VFA가 주요 완충제로 작용을 하며 침에서 유래

한 phosphate는 완충능력은 있지만 미약하다고 보고하면서, 0.2 N HCl로 반추위액을 적정하여 pH변화를 측정하고 bicarbonate와 VFA의 농도를 적용하여 보정한 수식으로 완충능력을 제시하였다. 한 등(1983)은 면양을 이용한 실험에서 buffer-M과 여러 가지 buffer를 섞은 buffer-Mix를 첨가하여 반추위 내 VFA와 pH 측정을 통해 발효양상과 완충효과를 조사한 결과, 완충제의 첨가가 초기에 사료 급여량을 감소시켰으나 10일간의 적응기간 후에는 정상으로 회복되었으며, 영양소 소화율이 buffer-Mix에서 가장 우수했으며, 역시 buffer제에 의해 위내 pH가 증가하여 과다한 농후 사료 급여시 발생할 수 있는 pH의 저하를 방지 할 수 있다고 보고하였으며, VFA 측정치에서 acetate생성비율을 높이며 propionate와 butyrate의 생성비율을 감소시켜 과다한 농후사료 위주의 사양을 하는 경우 완충 효과를 볼 수 있었다고 하였다.

반추동물에 급여하는 사료자체의 완충능력을 측정하여 사료 종류에 따라 자체적으로 보유한 완충효과를 상호 비교하여 실제 사양 시 사료배합비에 따라 완충능력을 미리 예측 할 수 있도록 하기 위한 실험으로 Jasaitis등 (1987)이 반추동물에게 사용되는 약 52종의 사료를 6범주로 구분하여 각각의 완충능력을 in vitro실험으로 측정한 바 있다. 그 결과 광물질사료가 가장 우수한 완충효과를 보인 반면 에너지사료는 가장 낮은 효과를 보였다. 또한 조사료간 비교에서는 생육기가 진행될수록 완충효과가 낮아졌으며, 고단백질 사료일수록 완충효과가 우수한 것으로 밝혀졌다. 그러나 Ruyet등 (1992)과 Miller등 (1993)에 의하면 In Vitro상태에서 측정한 사료의 완충효과는 실제로 반추동물에게 급여하였을 때, 동일한 효과가 나타나지 않는다고 발표하였다.

전통적인 완충제로는 각종 중탄산염(bicarbonates)이 가장 많이 사용되고 있지만, West 등(1986)은 젖소에 대한 실험에서 완충제로 potassium bicarbonate, potassium carbonate, sodium bicarbonate를 사료에 첨가하였던 바, 반추위액의 pH는 처리구간에 차이가 없었지만, 뇨 pH는 모든 buffer 처리구에서 높게 나타났다. 특히 potassium bicarbonate처리구에서 사료 섭취량과 유지율이 높게 나타났다.

Coppock등 (1986)은 sodium bicarbonate와 천연광물질종인 'Alkaten'을 이용하여 젖소에서의 사료 섭취량, 위액 pH, VFA molar %를 측정한 결과, 첨가제 급여군의 섭취량은 1주일을 전후로 하여 농후사료의 섭취가 감소하였지만 조사료의 섭취는 증가했으며, 2주가 지난 후에는 최초의 수준으로 정상 회복되었고, 반추위액의 pH는 대

조구와 유의적인 차이가 보이지는 않았지만 buffer제 첨가군에서 증가하는 경향을 보였으며, VFA역시 유의적인 차이가 나지는 않았지만 propionic acid의 molar %가 감소하는 것을 관찰하였다.

산화마그네슘(magnesium oxide)은 엄밀한 의미에서는 완충제가 아니라 알칼리제로 보아야 하는데, Arambel 등(1988)은 alfalfa를 주 사료로 하고 여기에 산화마그네슘을 첨가 급여하는 비유초기우 사양시험을 실시한 결과, 유량 및 유성분에 유의적인 차이는 나타나지 않았는데, 이는 alfalfa자체 성분의 완충능에 의하여 첨가물의 완충효과가 감소하였기 때문으로 해석하였다. 따라서 buffer제의 완충작용은 급여사료, 특히 조사료의 섭취에 의하여 상당한 영향을 받을 수 있다. Jacqué등 (1986)의 시험연구에서 basal diet를 corn silage 84% 와 50%로 조사료의 비중을 높인 결과, 대조구 반추위액의 pH가 6.66인 경우 Sodium bentonite와 Sodium bicarbonate 처리구에서 반추위액, VFA, 삼투압의 변화가 없었고, 이는 고수준의 조사료 공급으로 인해 완충효과가 감소한 때문으로 해석하였다.

또한, Martin 등(1969)도 Sodium bentonite의 결착 증진효과를 보고하면서 유우에게 2%의 Sodium bentonite를 첨가 급여한 결과, 건물소화율, 요소 이용율 및 N retention이 개선되었음을 보고하면서, Bentonite는 다량의 수분 및 양이온의 흡착을 통해 반추위 내 요소 이용율을 향상시킬 수 있으며, 이러한 효과는 특히 반추위내 NH₃ 농도가 높을 때 크게 나타났다고 하였다. 이와 관련하여 Britton 등(1978)은 면양에서 요소, 대두, Bentonite를 이용한 *In vivo* 및 *In vitro* 실험에서 Bentonite가 swelling현상에 의해 암모니아를 흡착하였다가 서서히 방출시킴을 확인하고, 이 점토 광물의 첨가로 반추위 내 암모니아 농도가 조절됨으로써 사료 N의 이용률을 향상시킬 수 있었다고 보고하였다.

3. 반추위 내 발효양상 및 미생물상에 미치는 효과 연구

Fenn (1990)은 면양을 이용한 연구에서 반추위내 protozoa의 수와 wool 생산간에 높은 부의 상관관계를 보고하면서 반추위내 protozoa수의 증가는 wool생산의 감소와 밀접한 관련이 있음을 제시하였다. 이와 관련하여 Ivan 등(1992)도 인위적으로 프로토조아제거(defaunation)를 시킨 면양에서 반추위 내 protozoa수의 감소와 함께 털의

성장, 일당증체량 및 VFA 농도가 감소함을 관찰하였으며, 이때 Bentonite를 첨가할 경우 rumen 내 protozoa의 flow rate를 증가시킴으로써 양모 생산을 증가시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 Bentonite에 의한 미량 광물질의 중독 억제효과와 관련하여 동 연구팀은 인위적으로 defaunation시킨 면양에서 Cu 중독이 심화됨을 발견하였으며, Bentonite의 첨가 급여가 protozoa의 수를 44% 감소시켰음에도 불구하고 Cu 중독증상이 완화되었음을 보고하였다.

Ha 등(1983)은 in vitro 실험에서 배양시간과 초기 pH에 따라 젖산(lactic acid) 생성량을 측정한 결과 초기 pH 5, 6 및 7에서는 점차 증가했으나, 초기 pH가 4인 경우에 더 이상의 증가는 없었다고 보고하였다. 그러나 유우를 이용한 in vivo 실험에서 초기 pH가 5.79인 경우 Bentonite를 2% 급여한 결과, 반추위액의 pH, 혈액 내 lactic acid 함량에 차이가 없었고 분의 pH는 상승하였으나 유의성은 나타나지 않았다고 보고하였다.

한편, Horn 등(1979)은 인위적으로 위 내 환경을 산성화 시켜 과산증(acidosis)을 유발시킨 후, 이때 급여한 2% Bentonite, Bentonite와 Dolomite 각 1%, Bentonite와 Potassium bicarbonate 각 1%를 급여하였을 때 lactate생성량을 측정한 결과 Bentonite와 Dolomite 각 1% 처리구에서 완충작용이 가장 우수하였고, 2%의 Bentonite첨가 시에 가장 완충효과가 낮게 나타났다고 보고하였다. Walz(1998)등이 면양을 이용한 실험에서 대두 단백질원을 어분으로 대체한 경우 0.75%의 bentonite를 첨가한 처리구에서 사료 섭취량과 일일 증체량이 증가하였으나 양모 생산에는 차이가 없었다고 보고하였다.

한편, 맥반석(Porphry)은 자체적으로 지니고 있는 흡착력과 미네랄 용출효과를 발휘하여 사료에 첨가하였을 경우 미량광물질의 공급효과도 기대할 수 있는데, 한(1997)은 분말법이나 X-선 회절법으로 맥반석의 성분을 분석한 결과 희귀한 다물질(多物質)의 광물임을 발견하였다. 高橋淳根(1990)은 맥반석을 유우에 급여한 후 유량, 혈액 내 Hb, TP, A/G, Cholesterol, Glucose농도를 측정하였고, 혈청 내 Ca, Mg, P, GOP, GPT, γ -GTP, BUN 등을 측정한 결과 유량이 다소 증가한 것을 제외하고는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 맥반석을 착유우에 급여하였을 때 유방염 감염지표인 체세포수가 감소하는 효과가 나타났는데, 秋田縣 농업대학에서 실시한 착유우 10두에 대한 사양실험 결과에 의하면 평균 29.4만개이던 체세포수가 8.8만개로

크게 감소하였으며, 간 기능이나 신장기능에도 별다른 영향이 없었다고 보고하여 유 질 향상에 기여 할 수 있음을 보고하였다(Dairy Journal, 1994). 반추동물 이외에 가 급에서의 맥반석 투여에 관한 연구로 손 등(1997)이 성장중인 육계에서 맥반석의 수 준별 첨가에 따른 배설물과 장내 암모니아 발생량등에 관한 보고에 따르면 사료내 맥반석 함량이 증가할수록 배설물의 수분 함량이 감소하였고, 장내 암모니아 농도는 증가하였으나 혈 중 암모니아 농도에는 차이가 없었고, 사료내 맥반석함량이 감소할 수록 혈중 TG 함량은 증가하였으므로, 성장중인 육계에서 맥반석 급여는 사료효율, 증체량의 개선효과와 연변을 방지 할 수 있다고 보고하였다.

한편, 본 실험에 함께 공시한 활성탄은 다공성(多孔性)이 특징이며 보통 1g당 내부 표면적이 350m² 정도 이상에 달한다. 숯은 또한 음(-)이온을 공급하는데, 반추위와 같 이 혐기적인 환경에서 성장하는 미생물군은 양이온을 많이 배출하게 되고, 음이온은 상대적으로 적어지므로, 활성탄의 존재하에 양이온과 음이온의 상쇄 작용에 의해 반 추위를 비롯한 장관 내 환경이 바뀌며 탈취효과도 기대할 수 있다. 활성탄은 탄소질 이 80%이고 나머지가 광물질인 관계로 나무가 토양에서 빨아올린 천연미네랄이 균형 있게 구성되어 있고 숯 제조 과정에서 농축된다. 이러한 특성상 활성탄은 물리적, 화 학적으로 안정성이 뛰어난 흡착제로 탈색, 탈취, 정제, 회수, 분리, 포집 등의 목적으 로 각종 산업및 환경분야에서 광범위하게 사용되고 있다(안 1999).

그러나 지금까지 활성탄을 이용한 연구는 거의 이루어진 바가 없고, 주로 구전되어 진 효능의 인증이 공시동물을 통한 연구결과에[근거하지 않았음에 문제가 있다. 김 등(1998)은 숯을 토양에 시비한 결과 숯 주변 토양속의 미생물상이 세균이나 방사상 균, 사상균, 스스로 질소를 고정하고 번식할 수 있는 미생물인 아조토박터가 증가하 게 되어 식물 생장이 유리해지고 미네랄 부족이나 병원균에 의한 병해가 적어졌다고 하였다. 이러한 미생물과 활성탄과의 기본적인 관계를 적용시켜 최근 가축의 사양에 있어서도 환경 친화적인 방법중의 하나로 사료에 활성탄을 첨가해 급여하는 방식이 제시되어지고 있다. 가축 사료용으로서의 활성탄은 사료의 1~2%를 넣어 사료내에 있 는 중금속 물질을 제거하고 소화미생물의 미생물상의 바로 하여 소화 흡수율을 좋게 한다. 이 경우 소화 흡수율은 기존의 사료에 비하여 20~30% 좋아지면서 변에서는 일체의 냄새가 없고 사료효율도 그만큼 증가한다(안, 1999).

제 2 절 재료 및 방법

1. *In Vivo* 실험 I

가. 공시 광물

본 동물시험에는 Sodium bentonite, Porphy 및 활성탄의 세 가지를 공시하였다. Sodium bentonite는 경북 포항지역에서 채굴 가공된 입자도 240mesh의 것을 용하였고, Porphy는 경북 경주지역에서 채굴된 것으로 입자도 240mesh의 것을 사용하였다. 또한 활성탄은 참나무 숲을 disk mill로 분쇄한 후 200mesh sieve를 통과시켜 사용하였다. 각 공시광물들의 화학 조성은 200mesh로 표준화한 후 X-선 형광분석기를 이용하여 분석하였다.

나 공시 사료

본 실험에서 반추위미생물의 활성을 최대한 유지하기 위해 조농비를 50:50으로 유지하며, 조사료원으로 80%를 corn silage와 20%를 alfalfa로 하였고, 농후사료는 중송아지용 배합사료(축협)로 all-mash 형태로 이용하여 점토광물 또는 활성탄과의 혼합을 용이하도록 하였다. 모든 처리구에서의 영양소 함량은 NRC(1991)에 맞추어 1일 영양소 함량 기준으로 약 10%가 남도록 조성하여 1일 2회 09시와 17시에 나누어 급여하였으며 점토광물과 charcoal은 급여 농후사료의 20%와 미리 섞어 먼저 급여한 후 전량 섭취한 것을 확인한 후 조사료와 농후사료를 섞어 급여하였다. 음수는 자유로이 섭취할 수 있도록 하였다.

다. 공시동물 및 시험설계

평균체중 55kg의 반추위 누관이 장착된 코리태일 종 숫면양 4두를 개별 대사틀에 수용하고, 대조구, 맥반석, Sodium bentonite 및 active charcoal의 4개 처리로 4×4 Latin square 방법으로 실시하였으며, 각 처리별 점토광물의 첨가수준은 급여사료 DM 기준의 3%로 하였다. 각 기간은 15일로 하고, 해당사료 급여 최종일인 15일째 오전에 실시하였으며 사료 급여 전에서부터 시작하여 매 두 시간 간격으로 위액을

채취 분석하였다. 시료는 pH만 시험 당일에 측정하고, 모두 냉동 보관한 후 최종 period 실험이 종료됨과 동시에 각각의 측정항목을 단계적으로 실시하였다.

측정항목으로는 위액의 pH, BC, BVI, VFA, 전체 Protozoa의 수와 종류별 분류를 실시하되 각 Period 별로 3반복 측정을 실시하였다. 전체 Protozoa의 수 및 종류별 분류는 6반복으로 측정하였다.

라. 시험방법

1) 반추위액 채취

시료는 반추위 누관을 통해 rumen mat와 위액을 취합하여 3겹의 cheese cloth로 걸러 약 150ml의 위액을 채취 분석에 이용하였다. 채취한 시료중 15ml은 VFA분석용으로 전처리 하여 보관하였으며, 3ml은 protozoa의 종 분류 및 counting에 이용하기 위해 MFS로 염색, 고정시켰다. BC, BVI측정을 위해 100ml은 각 50ml로 나누어 냉동 보관하였다.

2) 반추 위액의 pH 측정

pH meter (Orion 420 A)를 이용하여, 3회로 나누어 채취한 시료를 3반복으로 측정하였다.

3) 반추위액 내의 Buffering Capacity(BC)와 Buffer Value Index(BVI) 측정

동결보관한 반추위액을 냉장온도에서 해동시킨 후 상온으로 유지시킨 다음 이중 30 ml를 50 ml용 beaker에 넣어 교반하면서 1N HCl를 사용하여 초기 pH로부터 pH 5까지 적정하였으며, 동시에 또 다른 30 ml를 1N NaOH로 초기 pH로부터 pH 7까지 적정한 후 각각 소요된 산과 염기의 양을 측정하였다. 이때 만일 초기 pH가 7이상인 경우에는 pH를 7로부터 5까지 감소시키는데 필요한 1N HCl의 양만을 기록하였으며, 초기 pH가 5이하인 경우에는 pH를 5에서 7까지 증가시키는데 소요된 1N NaOH의 양을 측정하여 BC와 BVI를 계산식에 의거 산출하였다(Miller 등, 1993).

4) 반추위내 휘발성 지방산(VFA) 분석

2겹의 cheese cloth로 거른 반추위액을 잘 흔들어 5ml씩 15ml tube에 넣고, 1ml의 metaphosphoric acid를 넣어 미생물작용을 억제시키고, international standard로 500ppm의 cyclohexanol 1ml을 넣은 후 2,000 r.p.m에서 20분간 원심분리한 후 상등액을 채취하여 냉동보관 하였다가 측정하기 전 냉장온도에서 해동시킨 후 3,000rpm에서 15분간 원심분리 한 후 상등액을 Supelco Inc.(1975) 방법에 따라 Gas Chromatography(GC)로 VFA를 이용하였다.

5) 반추위내의 protozoa number count 및 protozoa 종별 분포 측정

현미경(Leica ATC 2000)을 이용하여 100배율에서 counting하였는데, 측정은 Dehority (1984)가 제시한 방법으로, 현미경의 접안렌즈에 10mm² grid를 장착하고, Sedgwick-Rafer Counting Chamber 내의 protozoa를 6회 관찰하여 평균값을 적용했다. Protozoa분류는 Abe등 (1973)이 제시한 2분류법과 Dehority (1984)가 형태학적으로 분류한 5분류법을 조합하여, Hsu 등 (1991)이 사용했던 Entodinium, Diplodinium, Holotrichs 및 기타의 4종으로 분류하였다. Protozoa의 종별 분포 측정도 6반복을 통해 변이를 최소화했고, %로 표시하였다.

2. *In Vivo* 실험 II

가. 공시 광물 및 실험설계

본 동물시험에는 Bentonite와 Porphy의 두 가지를 공시하여 반추위 내에서의 완충능력과 발효양상에 미치는 효과를 비교하고자 실시하였다. 벤토나이트는 경북 경주 지역에서 채굴 가공된 200mesh의 Sodium bentonite를, Porphy는 경북 경주지역에서 채굴된 것으로 200mesh로 표준화 된 것을 사용하였다. 공시동물을 무첨가구, 2% 벤토나이트 첨가구, 2% 맥반석 첨가구로 구분하여 3×3 라틴방격법으로 배치하였다.

나. 공시동물 및 사료급여 방법

반추위 누관이 장착된 평균체중 60kg의 Corriedale종 숫면양 3두를 공시하여 대사에서 개별 사양하였다. 각 처리마다 영양소 요구량은 NRC사양표준(1991)에 맞도록 계산하였으며, 농후사료와 조사료의 비율을 70:30으로 하여 1일 2회에 걸쳐서 급여하

였다.

그리고 이들의 반추위 내 완충효과를 알아보기 위해 조사료로 옥수수 사일리지를 급여하였으며, 모든 사료는 일주일 간격으로 시료를 채취하여 수분함량과 ADF 함량을 측정 급여량을 보정하였다. 조사료로 급여한 옥수수수일리지는 황숙기에 수확하여 트랜치 사일로에 저장한 것으로 pH는 4.4였으며, 농후사료로는 시판되는 중송아지용 배합사료를 급여하였다. 공시광물 첨가시의 완충작용을 뚜렷이 관찰하기 위해 전체 ADF 함량을 18% 이하로 유지하였다. 공시광물 분말은 급여직전에 배합사료에 혼합하여 급여하였고, 시험기간은 15일간씩 급여시험을 반복하여 최종일에 시료를 채취하였으며 매 처리 사이에 5일간의 휴식기를 두었다.

3. *In Vitro* 실험

가. 공시광물

In Vivo 실험에서와 동일한 광물을 공시하였다.

나. 공시동물 및 사양관리

평균체중 50kg으로 반추위 누관이 장착된 코리테일 종 면양(♂) 2두를 개별 대사틀에 수용하고, 실험동물용 조사료는 툴레스큐 건초와 농후사료(중송아지용 배합사료)를 급여하되 조농비를 20: 80까지 낮춤으로써 반추위 내 환경을 최대한 산성화 될 수 있는 수준으로 유도하였다. 급여량은 잔사 기준으로 약 10% 되도록 09시와 17시, 1일 2회 나누어 급여하였으며 음수는 자유로이 섭취할 수 있게 하였다.

공시사료로 10일간 적응기간을 거친 후 반추위액의 pH가 가장 낮은 시기에 배양용 위액을 얻기 위하여, 예비실험에서 사료급여 전부터 30분 간격으로 위액의 pH를 측정된 결과 가장 낮은 pH는 사료급여 후 1.5시간에 나타났고, 2.0시간부터는 증가하는 시간적 변화특성을 보임으로써, 배양용 Inoculum은 사료급여 후 1.5시간에 채취한 위액을 이용하였다.

다. 실험 방법

혐기 상태를 유지시킨 통에 공시동물 모두의 반추위 내용물을 거의 대부분 채취

하여 혼합한 후 2겹의 cheese cloth로 거른 위액을 사용하였다. 분제 밸브가 장착된 50ml Glass Tube 내에 무처리구를 포함하여 Porphyry, Bentonite, Charcoal의 4개 처리에 3반복씩으로 처리구에는 공시 점토광물을 각 0.5 g 씩 투여하고 Inoculum을 각 30ml씩 분주한 다음, Shaking incubator(VISION KMC 8480SF)로 150 rpm, 39.7℃에서 1, 2, 4, 6 시간 배양하였다. 배양시간 경과후, pH측정은 각 처리구당 3회씩 측정하였고, 배지의 Buffering Capacity(BC)와 Buffer Value Index(BVI)의 측정은 전술한 방법으로 측정하였으며, 휘발성 지방산(VFA) 분석도 동일한 조건에서 실시하되 최종 배양이 종료되는 시간까지 시료를 냉장 보관하였다가 실시하였다. 반추위내의 Protozoa count 및 protozoa 종류별 분포 역시 *In Vivo* 실험 I에서와 동일한 조건에서 수행하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. *In Vivo* 실험 I

가. 반추위내 pH, BC 및 BVI

반추위내 pH(Fig. 2)는 사료급여 후 급격히 감소하여 2 시간때에 최저치를 보인 후 다시 증가하는 경향을 보였으며, 8 시간때에는 사료급여전의 pH 수준까지 증가하였다. 그러나, 모든 배양시간에서 처리구간의 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

반추위내 BC는 사료급여전 대조구가 벤토나이트와 활성탄 첨가구에 비해 다소 높은 경향을 보였으나 처리구간에 유의차는 없었으며, 사료첨가후에는 처리구간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 처리구들간의 시간경과에 따른 BC의 변화패턴을 살펴보면, 대조구와 맥반석 첨가구의 BC값은 사료급여전과 급여 후 8시간때까지 완만한 하강직선을 얻어 사료급여에 관계없이 일정한 완충능력을 보이는 것으로 나타났으나, 벤토나이트와 활성탄 첨가구에서는 사료급여와 함께 BC값이 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다.

초기 pH와 BC를 고려하여 완충능력을 표시하는 BVI 값은 처리구간에 유의차는 없었으나, 다른 처리구에 비해 벤토나이트 첨가구에서 낮은 수치를 보였다(Fig. 3). 벤토나이트에 의한 완충효과는 많은 연구들에서 보고된 바 있는데, Owen(1975)은 2.5%의 sodium bentonite를 급여했을 때 반추위내 젖산의 축적이 감소한다고 하였으며, 김(1996)은 조사료원으로 옥수수사일리지를 이용하고 조농비를 30:70 수준으로 급여한 면양에게 2%의 벤토나이트와 맥반석을 급여한 결과, 반추위내 pH가 대조구에 비해 유의적으로 증가했음을 보고한 바 있다. 그러나, Galyean와 Chabot(1981)는 벤토나이트 첨가시 완충효과가 나타나지 않았다고 보고하였으며, Jacques (1986)등도 젖소에게 2% sodium bentonite를 급여한 결과 반추위내 pH 저하를 방지하는 효과가 없었다고 보고하였다. 본 실험에서도 처리구간에 pH 및 완충능력에서 차이가 없는 것으로 나타났는데 이는 급여사료의 조농비가 50:50 이었고 조사료원 중 완충능력이 높은 알팔파를 사용함으로써 전분질 사료의 감소와 반추위내 고유의 완충능력으로 pH 저하가 발생하지 않음으로써 첨가제의 효과도 나타나지 않은 것으로 사료된다. Jacques(1986) 등의 연구에서도 수수 사일리지와 농후사료가 84:16의 비율로 섬유소

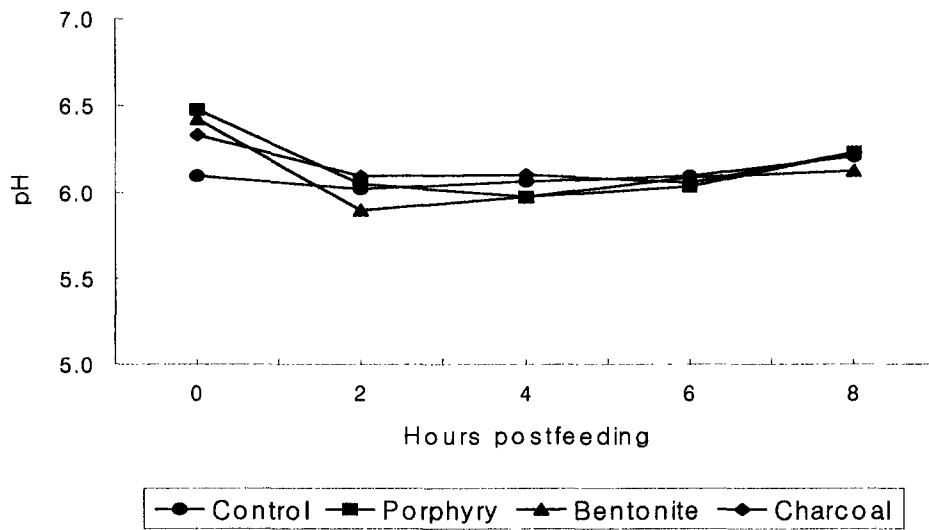


Fig 2. Ruminal fluid pH for 8h postfeeding as affected by porphyry, bentonite and charcoal in 3% of DM basis diet

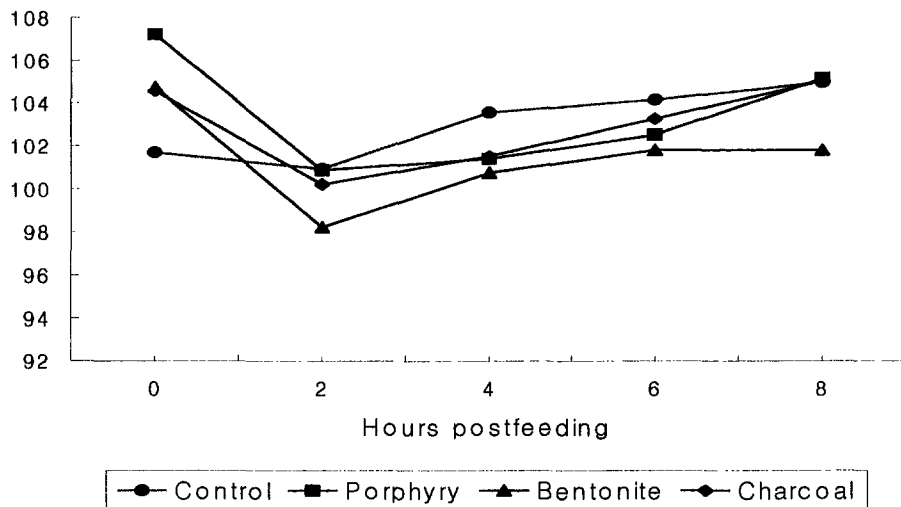


Fig 3. Ruminal fluid buffer value index for 8h postfeeding as affected by porphyry, bentonite and charcoal in 3% of DM basis diet.

함량이 높았고 반추위내 pH도 6.6으로 높은 수준이었음을 알수 있다. Xu등 (1994)도 유우에서 조사료와 농후사료의 혼합비율을 달리하였을 때 완충제들의 첨가효과와 유량 및 유성분의 변화를 측정된 결과, 조사료 52%, 농후사료 48%인 경우 초기 pH가 6.84~6.90이었으며, 농후사료의 급여수준을 증가시킴에 따라 반추위 pH 증가와 유지방을 증가와 같은 완충효과가 높게 나타났다고 하였다.

한편, 반추위내 완충능력을 표시하기 위한 방법으로 Counotte등 (1979)이 BC를 제안하였고, Hogue등 (1991)은 BC의 단점을 보완하기 위해 초기 pH를 고려한 Buffer Value Index 산출공식을 작성하였다. 그 이후 Aslam등 (1991), Tucker등 (1992), Ruyet등 (1992), Miller등 (1993)이 반추위내 완충능력을 BC와 BVI로 표기한 바 있다.

나. Protozoa 수와 종 분류

Protozoa의 수는 대조구와 맥반석 첨가구에서 각각 $4.95 \times 10^5/\text{mL}$ 과 $4.90 \times 10^5/\text{mL}$, 그리고 벤토나이트 첨가구에서는 $2.92 \times 10^5/\text{mL}$ 로 다른 처리구에 비해 protozoa수가 감소하는 것으로 나타났으나, 5% 수준에서 통계적인 유의성은 인정되지 않았다(Table 7). 한편, 활성탄 첨가구는 사양전과 사양 후 8시간까지 증감의 변화 없이 $3.98 \times 10^5/\text{mL}$ 로 비교적 일정한 범위내에서 변화하였다. 측정된 protozoa의 수가 모든 처리구에서 0시간부터 8시간까지 유의적인 차이가 없었던 점은 Dijkstra(1994)의 protozoa의 반추위내에서의 이동성에 관한 연구와 상반된 결과를 보였으나 이와 같은 결과는 Dehority등 (1978)이 반추위내 고형물에 존재하는 protozoa를 측정하여 발표한 보고에서 사료 급여 1시간 후 protozoa가 가장 많다가 2시간까지 같은 수준을 유지한 후 이후 4시간을 전후로 급격히 수가 감소하여 다음 사료 급여 시간 직전에 다시 상승했다는 보고와 다른 경향을 보였다.

Protozoa의 종 분류는 형태학적 분류법을 이용하여 $\times 100$ 현미경을 사용하여 3가지 종(Entodinia, Diplodinia, Holotricha)과 기타 나머지의 4종으로 분류하였고, 매회 측정된 총 protozoa 수를 기준으로 각 종들에 대한 백분율로 표시하였다. 종 분류는 모든 처리구에서 시간별 유의성이 나타나지 않았으며, protozoa의 보편적인 doubling time이 평균 24시간인 것(Williams등 1992)을 고려해 볼 때 0~8시간의 측정에서 protozoa의 증감을 확인 할 수 없다고 생각된다.

Table 7. Ruminal fluid protozoa genus distribution for 8h postfeeding as affected by porphyry, bentonite and charcoal in 3% of DM basis diet.

genus distribution	sampling time	Treatments			
		Control	Porphyry	Bentonite	Charcoal
<i>Entodinium</i>	0	85.42	85.62	87.24	80.29
	2	88.18	86.52	87.84	89.07
	4	88.27	85.39	87.84	85.48
	6	89.73	87.70	90.13	89.76
	8	90.84	85.36	89.41	82.29
<i>Diplodinium</i>	0	6.64	7.38	7.81	8.21
	2	5.86	4.89	8.13	5.22
	4	5.13	3.91	5.97	4.47
	6	4.69	4.53	4.69	5.64
	8	4.87	4.27	4.49	4.45
<i>Holotrichs</i>	0	1.25	1.42	0.89	3.21
	2	2.11	4.12	1.89	3.39
	4	2.21	7.01	2.14	4.99
	6	2.66	3.09	2.26	1.76
	8	2.31	5.13	2.06	9.25
others	0	6.69	5.58	4.06	5.08
	2	3.82	4.47	2.15	2.32
	4	4.40	3.69	4.05	5.27
	6	2.83	4.68	2.93	2.84
	8	1.98	5.24	4.04	4.02

다. 반추위액내 휘발성 지방산 함량

첨가제들에 의한 반추위내 발효패턴의 변화를 조사하기 위해 VFA의 농도를 분석한 결과, VFA 농도는 대체적으로 모든 처리구에서 동일한 수준으로 나타났다. 측정된 acetate, propionate의 molar %를 기준으로 하여 propionate 생성량 대비 acetate의 생성량을 비율로 나타내었다. 실험결과, 반추위내 VFA 농도와 C2/C3비는 처리구간에 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 4).

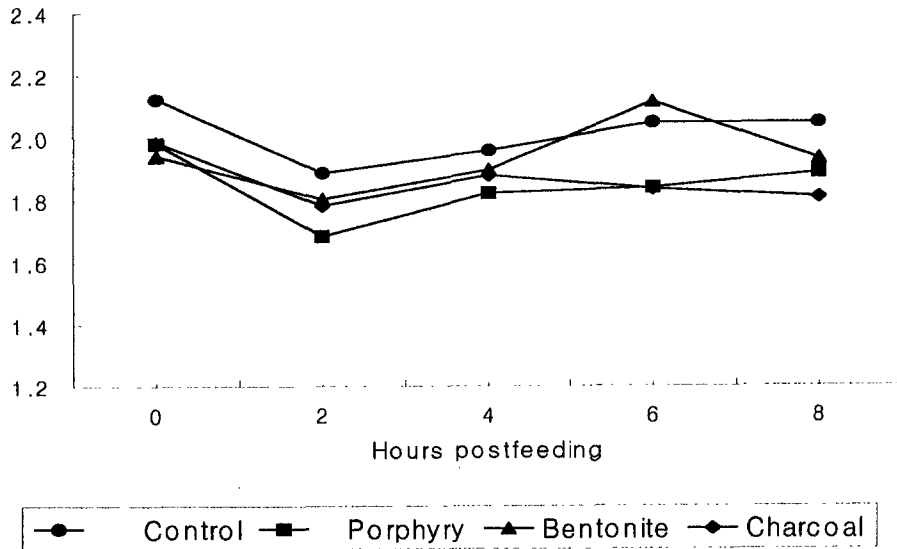


Fig 4. The effect of porphyry, bentonite and charcoal on acetate to propionate ratio of rumen fluid.(*in vivo*)

2. *In Vivo* 시험 II

가. 반추위 내 pH에 미치는 효과 비교

본 시험에서 처리구별 영양소 공급은 NRC사양표준(1991)에 준하였으며, 반추위 내 산성도를 높이기 위하여 의도적으로 농후사료와 조사료의 비율을 70:30으로 하여 급여하였다.

Figure 5는 사료급여 후 시간경과에 따른 반추위내 pH 변화를 나타낸 것으로, 사료급여후 모든 처리구에서 급격히 감소하다가 4시간째부터 다시 증가하는 경향을 보였다. 이러한 pH의 감소는 농후사료 분해에서 유래한 Lactic acid를 비롯한 유기산 농도가 증가하였기 때문으로 해석되는데, 두 광물의 첨가 급여로 감소폭에 변화를 보였다.

pH의 감소폭은 사료급여 2시간 후에 대조구와 맥반석 첨가구에 비하여 벤토나이트 첨가구에서 유의적으로 작았으며($p < .05$), 이때 반추위내 평균 pH는 무첨가구가 5.22, 맥반석 첨가구가 5.35, 벤토나이트 첨가구가 6.13으로 나타났다. 2% 벤토나이트 첨가구

의 경우, 반추위 내 pH는 사료급여 후 급격한 감소없이 모든 시간대에서 6.03이상 높은 수준으로 유지된 반면, 무첨가구와 2% 맥반석 첨가구의 경우에는 사료급여후 6시간까지 반추위내 pH가 6이하로 감소되었으며 무첨가 급여구의 면양 경우에는 최저 5.09까지 감소하였다.

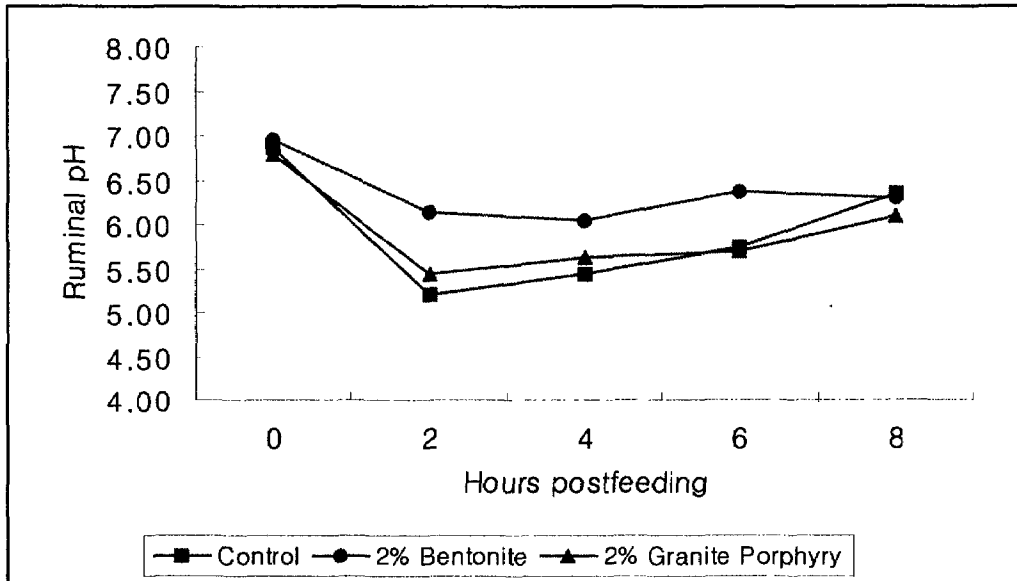


Fig. 5. Postprandial response of rumen pH to the addition of 2% Bentonite or Granite Porphyry.

따라서 반추위내 pH 변화에 대한 본 시험의 결과, 과량의 농후사료를 급여하는 면양에게 2% 수준으로 벤토나이트를 첨가급여함으로써 반추위내 발효로 인한 급격한 pH 저하의 방지효과를 기대할 수 있음을 알 수 있다. Jacques 등(1986)은 젖소사료에 벤토나이트를 첨가 급여할 경우 반추위내 pH 저하를 방지하는 효과가 나타나지 않았다고 보고하였는데, 이들의 실험에서는 급여사료로 50~84%의 옥수수 사일리지를 사용하였음에 반하여, 본 시험에서는 옥수수사일리지의 급여수준은 30% 내외로 한정하고, 여기에 농후사료를 첨가하였기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 벤토나이트는 다른 기능에 앞서서 고능력 유우나 집약적 비육을 위한 농후사료 다급의 사양형태에서

완충제로서의 기능을 가장 크게 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

나. 반추위내 BC와 BVI의 변화

반추위내 완충능력을 보다 세부적으로 평가 비교하기 위하여, Tucker 등(1992)이 제시한 방법에 의해 반추위내 Buffering Capacity(BC)와 Buffer Value Index(BVI)를 측정하였다.

일반적으로 반추위내 완충능력을 평가하는 방법으로 기존에는 BC 측정에 많이 의존해 왔는데, BC에 영향을 주는 물질들은 bicarbonate, phosphate, VFA 등으로 알려져 있다. 그러나 이들 물질들의 pK 값은 모두 달라서 각기 다른 pH 범위에서 완충능력을 갖게 되는 관계로 BC 하나의 수치만으로 전체 사료나 반추위액의 완충능력을 평가하는 것보다는 pH와 BC를 모두 고려하여 산-염기 평형상태를 평가하는 것이 더 유용할 것으로 사료되며, 이러한 점에서 Tucker 등(1992)이 제시한 BVI는 사료 뿐 아니라 반추위액의 완충능력을 평가할 수 있는 지표로 보다 유용할 것으로 판단되어 본 실험에서는 이 Index를 추가하였다.

우선, 반추위내 BC는 Figure 6에 제시된 바와 같이 무첨가구와 2% 맥반석 첨가구에서 사료급여 2시간 후에 증가하는 경향을 보인 반면에, 2% 벤토나이트 첨가구에서는 다소 감소하였으며, 시간경과에 따른 변화폭이 작은 것으로 관찰되었다. 무첨가구와 맥반석 첨가구에서 나타난 BC 증가는 사료섭취에 따른 타액분비량의 증가와 반추위내 미생물발효에서 유래된 VFA 생성량의 증가에 기인하는 것으로 사료된다. Miller 등(1993)과 Tucker 등(1992)도 이와 유사한 실험을 통해 농후사료의 섭취량이 많을 경우 BC는 증가함이 관찰되었는데 이는 반추위 발효로 인해 생성되는 VFA의 양이 증가하기 때문이라고 보고하였다. 처리에 따른 차이를 살펴보면, 벤토나이트 첨가구의 경우 사료급여후 BC가 변화폭이 작았는데 반하여 대조구와 맥반석 첨가구의 경우에는 사료급여후 BC가 유의적으로 증가함을 볼 수 있다($p < .05$). 일반적으로 반추위내 완충능력은 사료의 입자도, 사료내 조사료의 함량, 타액 분비량에 의해 영향을 받는다고 알려져 있는데, 본 시험에서는 모든 처리구에서 이러한 조건들을 동일하게 유지시켰기 때문에 처리구간에 나타난 이러한 BC의 차이는 주로 사료급여로 인해 생성된 VFA에 의해 영향받는 것으로 간주할 수 있다. Ha(1989)의 연구에서 반추위내에서 VFA의 pK 값은 약 4.9로 나타났으며, 이점에서 볼 때 대조구와 맥반석 첨가구

의 반추위내 pH가 사료급여후 2시간 경에 5정도로 떨어진 것으로 보아 유사한 양의 VFA가 생성되었다 할지라도 벤토나이트 첨가구에 비해 대조구와 맥반석 첨가구에서 산도가 더 높게 유지되었기 때문에 반추위내에서 생성된 총 휘발성 지방산에 의한 완충기능이 상당히 작용하였을 것으로 해석된다.

반추위액 내 BVI는 사료급여후 모든 처리구에서 감소하는 경향을 보였다(Figure 7). 처리구간에 변화를 비교해 보면, 벤토나이트 첨가구의 경우 사료급여전과 사료급여 2, 4, 6, 8시간 후의 BVI는 각각 112.46, 101.85, 100.04, 103.40, 103.21로 그 값의 변화가 크지 않았는데 반하여, 무첨가구와 맥반석 첨가구에서는 사료급여후 2시간 때에 각각 52.09, 76.68로 BVI가 유의적으로 감소하는 경향을 보였다($p < .05$). 본 실험에서 반추위내 BVI는 pH의 변화와 매우 유사한 양상을 보였으며, 반추위내 pH와 BVI 사이의 상관관계수(r^2)가 모든 처리구에서 0.9 이상으로 높게 나타난 것으로 보아 BVI의 감소는 주로 반추위내 pH의 저하에 기인하는 것으로 생각된다. 일반적으로 반추위내 BVI는 반추위액 내 pH와 BC의 변화를 반영하지만, BVI는 BC보다도 pH 변화에 의해 더 크게 영향을 받으며, BVI가 반추위액내 pH와 BC를 모두 고려할 수 있는 수치이기 때문에, BC보다는 BVI가 반추위내 산-염기균형상태를 파악하는데 더 적절한 지표가 될 수 있다고 Tucker 등(1992)은 주장하고 있다.

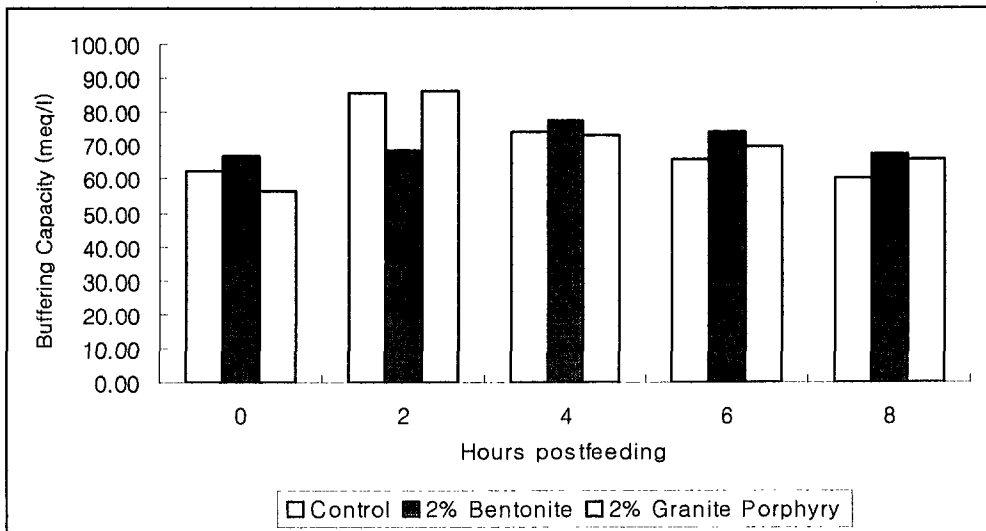


Fig. 6 Buffering capacity(BC) of ruminal fluid when fed with or without buffer addition.

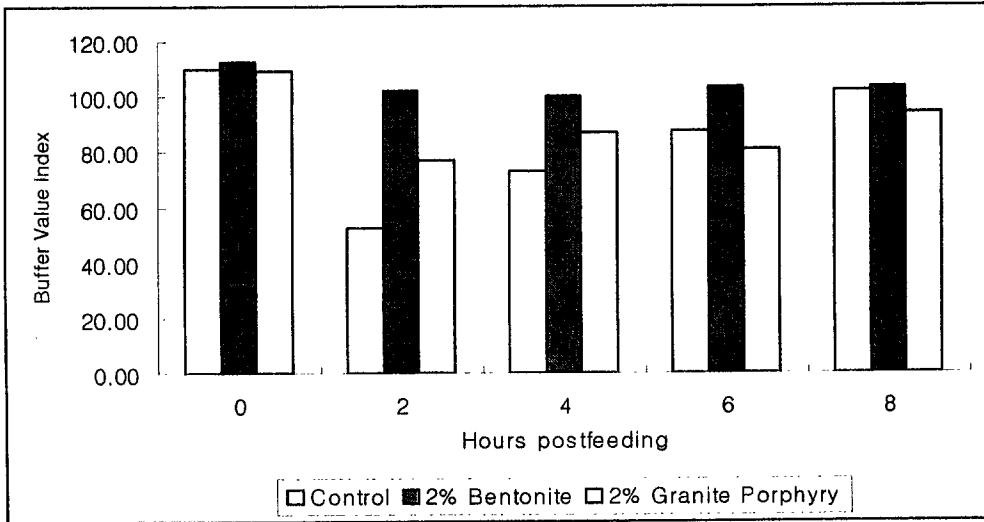


Fig 7. Buffer value index(BVI) of ruminal fluid when fed with or without buffer addition

Le Ruyet 등(1992)의 보고에 의하면, 사료내 ADF 함량은 일반적으로 반추위내 산도 및 pH와 밀접한 관계를 보이는데 만약 ADF의 함량이 낮을 경우 반추위내 산도가 증가하여 반추위내 BVI를 감소시키지만 이는 동시에 반추위액내 BC를 증가시킨다고 하였으며, 이러한 BC의 증가는 다량의 농후사료 급여로 인해 생성된 휘발성지방산에 기인한다고 하였다. 본 실험에서 나타난 사료급여후의 pH, BC와 BVI 변화패턴을 보면, 모든 처리구에서 사료급여후 pH의 감소와 함께 BVI는 감소한 반면 BC는 증가하는 경향을 보였다. Arambel 등(1988)은 반추위내 섬유소 분해 박테리아의 활력을 유지시킬 수 있는 최소 ADF 요구량은 총 급여량의 19%라고 보고하였는데, 본 연구에서 급여한 사료중 ADF의 함량은 17.8%로 반추위내 pH를 충분히 떨어뜨릴 수 있는 수준이었으며, 이러한 pH의 감소로 인해 사료급여후 반추위액내 BVI가 감소한 반면, 사료급여후 반추위액내 BC는 증가한 것으로 사료된다.

Jasaitis 등(1987)은 조사료와 단백질 함량이 높은 사료는 곡류사료에 비해 자체내 BC가 약 3~4배 높으며, 사료 내 총 양이온과 회분함량은 반추위 내 BC와 높은 상관관계를 보이기 때문에 사료내 BC와 BVI를 측정함으로써 반추위내 산-염기 평형을 조절할 수 있다고 주장하였다. 그러나 Miller 등(1993)은 젖소의 반추위내 산-염기 평형을 조절하는데 있어 반추위 내에서 생성되는 유기산과 타액분비량의 영향에 비하면, 사료내 산과 완충물질들은 양적으로 무시할 만하며, 반추위내 pH, BC, BVI 및

총 VFA 생성량은 사료의 자체의 BVI에 의해 영향받지 않는다고 보고한 바 있다.

반추위내 pH, BC, BVI 변화를 종합해 볼 때, 2% 벤토나이트를 섭취한 면양은 무첨가구와 2% 맥반석 첨가구에 비해 과량의 탄수화물 섭취로 인한 반추위내 pH의 감소를 억제함으로써 BVI를 증가시켰으나, 반추위 내 높은 pH로 인해 BC의 감소폭은 더 컸던 것으로 해석할 수 있겠다.

다. 반추위액 및 혈장 내 L-lactic acid 농도 변화

Figure 8은 반추위 내에서 생성되는 L-lactic acid의 농도를 나타낸 것으로 반추위내 L-lactic acid의 농도는 사료급여후 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 이러한 L-lactic acid 농도의 증가는 사료급여로 인해 반추위 내 pH가 감소함으로써 L-lactic acid를 이용할 수 있는 미생물이 감소하여 L-lactic acid의 축적량이 증가하였기 때문이라 사료된다. 이와 관련하여 Stewart(1977)에 의하면 반추위내는 pH가 감소할 경우, cellulolytic bacteria와 같은 gram(-) bacteria의 수가 감소하는 반면 *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Clostridium*과 같은 gram(+) bacteria의 증식은 빨라짐으로써 Lactic acid의 생성비율이 높아진다고 하였으며 Krogh 등(1961)도 과량의 탄수화물 섭취시에 증식하는 bacteria들은 거의가 Lactic acid를 생성하는 종류들이라고 보고하였다.

처리구간의 차이를 살펴보면, 사료급여 2시간 경과후 L-lactic acid의 농도는 무첨가구, 2% 맥반석 첨가구, 2% 벤토나이트 첨가구의 순으로 높게 나타났다. Slyter 등(1966)은 반추위내 Lactic acid의 농도와 VFA의 농도는 반추위내 pH에 의해 크게 영향받는다고 하였는데, 사료의 종류를 동일하게 하고 pH만을 감소시킬 때 Lactic acid가 급격히 증가하는 동시에 VFA의 생성량이 감소함을 이들은 관찰하였다. 결과적으로 2% 벤토나이트를 첨가 급여한 면양이 다른 면양에 비해 반추위내에 Lactic acid를 덜 생산한 것은 벤토나이트 첨가로 인해 반추위내 pH가 더 높은 수준으로 유지되었기 때문이라고 생각할 수 있다.

혈장내 Lactic acid의 농도 역시 사료급여후 2시간째에 증가하였는데, 벤토나이트 첨가구와 맥반석 첨가구가 대조구에 비해 L-lactic acid의 생성량이 유의적으로 감소함($p < .05$)이 관찰되었다(Figure 9). Counotte 등(1983)은 젖소에게 과량의 탄수화물 사료를 급여했을 때 반추위내 Lactic acid의 역할을 알아보기 위해 실시한 실험에서

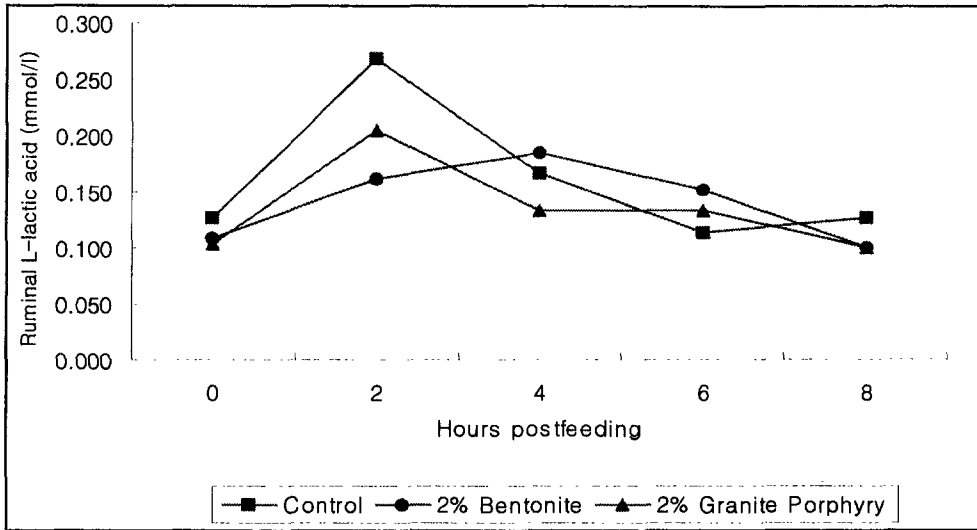


Fig. 8 The effect of bentonite and granite porphyry addition on the change of ruminal L-Lactic acid concentration

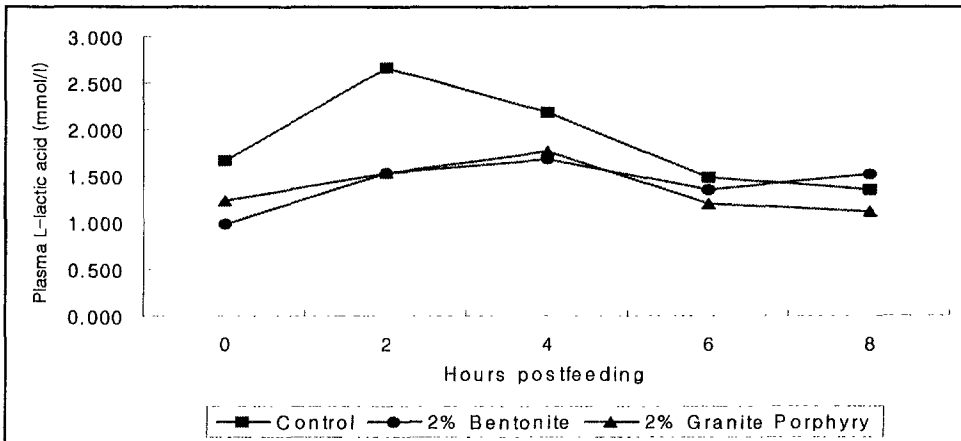


Fig. 9 The effect of bentonite and granite porphyry addition on the change of blood L-Lactic acid concentration

반추위내 Lactic acid중 약 8%는 소장으로 이행되고, 약 32%는 반추위내에서 미생물의 기질로 이용되며 약 60%는 반추위벽을 통해 혈액으로 흡수된다고 보고하였는데, 혈장내 L-lactic acid의 농도 변화는 반추위내 농도에 의해 주로 영향을 받는 것으로

보인다.

라. 반추위 내 암모니아 농도

반추위액내 암모니아 농도변화를 살펴보면, 반추위액내 pH가 높게 유지된 벤토나이트 첨가구가 다른 처리구에 비해 상대적으로 암모니아 농도가 높게 나타났다. 일반적으로 반추위내 단백질 분해효소의 활성을 위한 적정 pH는 6.5~7.0이며 적어도 6.2 이상에서 반추위내 암모니아의 생성이 정상적으로 이루어진다고 알려져 있는데(Ha, 1989), 다른 처리구에 비해 2% 벤토나이트 첨가구에서 암모니아의 생성량이 많았던 것은 반추위내 pH가 높게 유지된 것과 관련이 있는 것으로 해석된다. 한편, Martin 등(1969)은, 사료내 urea의 이용성에 대한 벤토나이트의 첨가효과를 비교한 실험에서 2% 수준으로 급여할 경우 N retention이 증가했다고 보고하였으며, Britton 등(1978)도 대두박과 벤토나이트를 결합시켜 반추위액에서 배양한 결과 암모니아의 발생이 감소하였다고 보고하였다.

마. 반추위내 VFA 농도 변화

반추위액 내 휘발성지방산들의 농도변화를 보면(Table 8), 처리에 관계없이 전체적으로 사료급여 후 acetate의 몰%는 감소한 반면에 propionate의 몰%는 상대적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 반추위 내 pH의 감소가 가장 큰 급여 2시간 경과후의 대조구 동물의 반추위 내 acetate 농도는 크게 감소한 반면에, 2% 벤토나이트 첨가구와 2% 맥반석 첨가구에서의 감소폭은 대조구에 비하여 작게 나타났으며, propionate의 농도를 보면 벤토나이트와 맥반석 첨가구 공히 대조구에 비해 상대적으로 완만한 증가폭을 보였다. 이러한 경향은 Rindsig(1969)와 Bringe(1969)가 관찰한 연구결과와도 일치하는 것으로 2% 벤토나이트의 완충작용에 의해 반추위내 pH 감소가 억제되고, 이로 인해 acetate 생성 미생물들의 활동이 활발하게 유지됨으로써 생긴 결과로 해석된다.

일반적으로 농후사료 위주의 사료공급 형태에서 acetate와 상대적으로 propionate의 생성이 증가하면서 pH가 감소하게 되는데, 이때 벤토나이트를 첨가하면 반추위내 완충능이 증가함과 동시에, propionate의 생성비율은 낮아짐으로써 pH의 적정수준 유지를 기대할 수 있을 것이다.

Table 8. Changes in rumen VFA concentration after feeding with or without buffers.

Collection time	Control	2% Bentonite	2% Granite Porphyry
Acetate(molar %)			
0	64.94	64.38	63.59
2	59.28	61.55	61.98
4	53.77	59.51	55.49
6	61.36	59.16	59.22
8	65.85	61.89	59.47
Propionate(molar %)			
0	19.57	21.62	20.51
2	30.34	24.86	26.45
4	34.07	31.34	27.44
6	27.70	31.50	31.70
8	22.89	27.76	28.03
Butyrate(molar %)			
0	8.66	8.99	9.74
2	10.74	9.19	10.55
4	9.31	8.28	9.54
6	9.57	8.00	9.82
8	9.12	7.98	9.41

이와 관련하여 Harrison 등(1975)은, 사료 내 mineral salt의 첨가로 반추위내 dilution rate가 증가함으로써 탄수화물과 미생물들의 통과속도가 빨라지게 되고 따라서 반추위 내 총VFA생성량과 propionate의 생성량이 줄고 상대적으로 acetate의 몰%가 증가하는 방향으로 위 내 발효패턴이 변화한다고 보고한 바 있다. 한편, Rindsig 등(1969)은 젖소사료에 5~10%의 벤토나이트를 급여했을 때 반추위내

acetate의 증가와 propionate의 감소현상을 관찰하였는데, 벤토나이트는 농후사료나 입자도가 작은 사료를 섭취했을 때 반추위내 통과속도가 증가하는 것을 방지하여 섬유소의 발효시간을 길게 유지해 줌으로써 acetate의 생성을 증가시키며, 결국 혈액 내 acetate의 농도가 증가하고 유선에서의 흡수가 증진됨으로써 유지율(milk fat test)이 향상된다고 보고한 바 있다.

지금까지 얻어진 결과를 종합해 볼 때, 2% 수준의 벤토나이트를 첨가 급여하였을 때, 과량의 농후사료 섭취로 인해 야기될 수 있는 반추위 내 pH의 저하를 방지하고 반추위 내 완충작용을 증진시키며, 반추위내 미생물의 발효패턴을 어느 정도 정상적인 수준으로 유지할 수 있는 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 맥반석의 첨가는 반추위 내 완충작용과 관련하여 유의적인 효과를 보이지는 않았으나, 혈장 내 L-lactic acid 농도에 있어서는 벤토나이트 첨가시와 마찬가지로의 유의적인 감소효과 ($p < .05$)가 관찰됨으로써 과산중의 예방효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 성분조성이 유사한 두 점토광물의 첨가효과에는 이들 구성물질들의 구조적인 차이나 반추위내에서의 용해도 차이 등 다른 요인들이 복합적으로 작용하는 것으로 생각된다.

공시된 점토광 물들은 단순히 반추위 내에서의 완충작용 뿐 아니라 체내 다른 부위에서 고유의 효과를 나타낼 수도 있기 때문에, 동물의 능력과 생산성을 향상시킬 수 있는 효과와 기작에 관한 더 많은 연구가 추가적으로 요구된다.

3. *In Vitro* 실험

가. 반추위내 pH, BC 및 BVI

Ha등 (1983)은 초기 pH수준의 변이에 따라 sodium bentonite, limestone 및 NaHCO_3 를 각 2%수준으로 첨가한 결과 pH 4, 5에서는 처리구별 차이가 나타났으나 pH 6, 7에서는 각 처리구별 완충효과의 차이가 없다고 한 결과에 근거해 1차 in vivo 실험과 달리 조농비를 3:7로 조절하여 초기 pH가 대조구 5.15, 맥반석처리구에서 5.38, 벤토나이트 처리구에서 5.42, 활성탄 처리구에서 5.53을 보여 lactic bacteria가 많이 성장하는 환경이 조성되었음을 확인했다. 대조구는 사료급여 직전인 0시간과 배양 후 1시간에 맥반석 처리구와 같은 경향을 보였고, 배양 후 1시간에는 대조구, 벤

토나이트와 같은 경향을 보였고, 이후 2, 4, 6시간에는 벤토나이트와 대조구의 중간적인 경향을 보였다(Fig. 10).

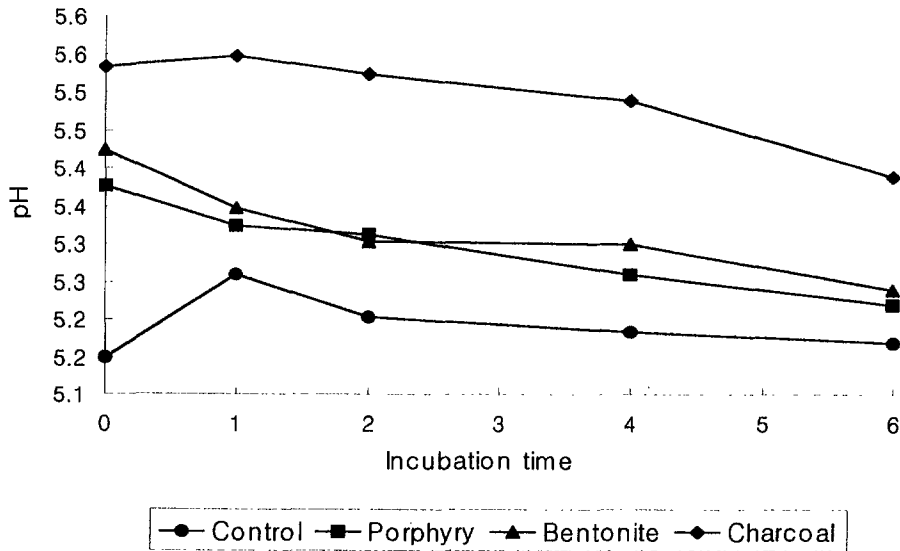


Fig 10. Ruminal fluid pH for 6h incubation as affected by porphyry, bentonite and charcoal in 1.5% addition to medium

벤토나이트는 0시간에 활성탄과 같은 수준이었던 점을 제외하고는 맥반석과 유사한 경향을 보였으나 대조구와는 유의적으로 높은 값이었음을 확인하였으며 활성탄 처리구에서는 1시간부터 6시간까지 다른 모든 처리구와 유의적으로 높은 값으로 대조구에 비해 평균 0.3 이상 높은 pH값을 얻었다.

BC는 모든 처리구에서 같은 경향치를 보였으나 BVI에서는 활성탄 처리구가 가장 높은 수치를 보였다. 대조구에 비해 벤토나이트는 0시간에만 차이가 있을 뿐 배양시간의 경과에 있어 같은 경향치를 나타내었다. 그러나 맥반석 처리구는 활성탄 처리구와 유사한 경향을 보였고, 완충지수는 대조구, 맥반석 처리구와 비슷한 값을 얻었다 (Fig. 11).

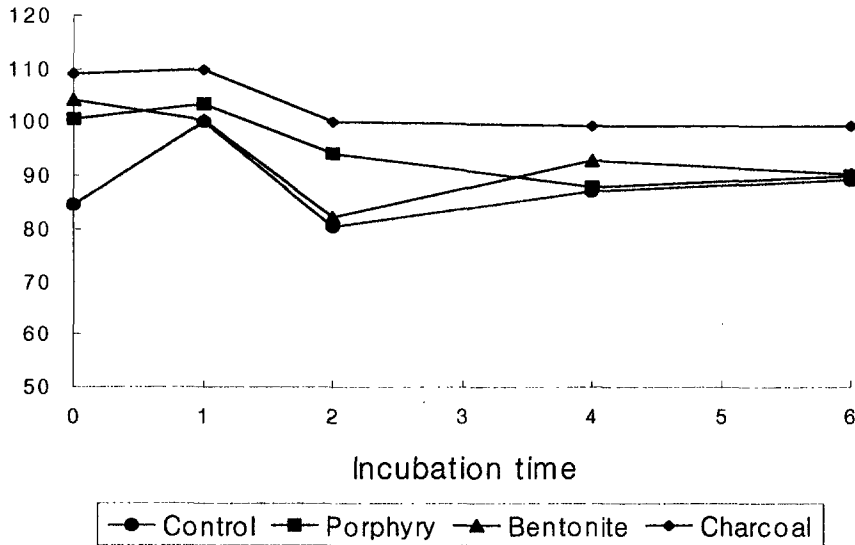


Fig 11. Ruminal fluid buffer value index for 6h incubation as affected by porphyry, bentonite and charcoal in 1.5% to medium.

나. Protozoa 수와 종 분류

protozoa는 대조구와 활성탄 첨가구가 통계처리 결과 0시간에 같은 경향을 보였으며 맥반석과 벤토나이트 처리구는 유의적으로 낮은 수치를 보였다. 그러나 배양 1시간에서 맥반석과 벤토나이트 처리구에서 더 감소하였으며 대조구와 활성탄은 같은 수준을 유지하였다(Table 9).

2시간 배양시 모든 처리구에서 protozoa수가 평균 1ml당 6.89×10^5 수준으로 유의성이 없었으나, 4시간 배양에서 활성탄 처리구의 protozoa수가 유의적으로 적었고, 6시간에서는 맥반석 처리구가 적었으나 대조구 경우에만 유의적으로 높을 뿐 나머지 처리구에서는 비슷한 경향을 보였다.

그러나 각 처리구 별 평균 protozoa수는 대조구가 8.25×10^5 으로 가장 높았고, 활성탄 처리구가 7.17×10^5 으로 높았으며 맥반석과 벤토나이트 처리구에서는 각각 6.49×10^5 , 6.75×10^5 으로 가장 낮았다. 실험1과 같이 총 4개종으로 구분하여 각각 백분율로 환산하였으며 결과 역시 모든 처리구, 배양경과시간에서 유의적인 차이를 보이지

Table 9. Ruminal fluid protozoa genus distribution for 6h incubation as affected by porphyry, bentonite and charcoal in 1.5% to medium.

genus diatribution	sampling time	Treatments			
		Control	Porphyry	Bentonite	Charcoal
<i>Entodinium</i>	0	90.72	89.31	90.07	89.19
	1	83.59	91.28	88.28	88.64
	2	86.82	88.76	91.58	93.00
	4	92.77	92.58	91.25	93.07
	6	92.22	88.80	85.81	90.98
<i>Diplodinium</i>	0	5.27	3.59	3.64	3.65
	1	5.30	1.95	4.08	3.75
	2	5.40	5.28	4.36	2.52
	4	3.05	3.20	4.18	2.43
	6	3.17	4.70	8.18	3.59
<i>Holotrich</i>	0	1.23	2.67	2.10	2.27
	1	3.45	1.91	2.52	3.39
	2	4.02	3.16	2.53	2.13
	4	1.24	2.00	1.67	2.47
	6	2.05	2.74	3.25	3.35
Others	0	2.75	4.43	4.19	4.99
	1	4.26	5.67	5.18	4.29
	2	3.74	3.25	1.53	2.35
	4	2.95	2.23	2.99	2.35
	6	2.56	3.76	2.76	2.10

않고 있다. 다만 1차 실험보다 entodinium이 약간 더 많은 85% 이상을 보이고 있어 위내 환경이 산성화 되어 있다는 증거로 제시할 수 있으며, diplodinium, holotrichs와 기타 종들의 수가 현저하게 감소하는 경향 없이 분포하고 있다는 점에서 점토광물에 의한 완충작용이 충분히 발휘되었다고 본다.

대조구의 경우 0시간에 holotrich와 기타종이 같은 수준으로 존재하였고, diplodinium은 유의적으로 높게 분포하였으나 이후 전 배양시간에 걸쳐 entodinium을 제외한 다른 종들간에는 유의적인 차이 없이 고른 분포를 하였다.

다. 반추위액내 휘발성 지방산 함량

반추위내 휘발성 지방산중 반추동물의 영양생리에서 가장 효율적으로 이용되는 C₂, C₃, C₄의 함량을 molar%로 각 시간별 효과를 측정된 결과 활성탄 처리구가 모든 배양시간에서 가장 높은 함량을 보였고, 벤토나이트 처리구와 맥반석 처리구가 다음으로 높은 함량을 보였고, 대조구는 가장 낮은 C₂, C₃, C₄ 함량을 보였다(Fig. 12). 특히 acetate 함량을 처리구별, 시간별로 측정된 결과 모든 처리구와 배양시간에 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, propionate 함량은 모든 처리구에서 배양시간이 경과할수록 유의적으로 감소하는 경향을 보였다.

그러나 butyrate 함량은 propionate와 정반대의 경향, 즉 배양시간이 경과할수록 유의적으로 함량이 증가하는 경향을 보였다.

Acetate와 propionate간의 비율을 측정하는 것은 protozoa의 변화를 간접적으로 측정할 수 있는 항목임과 동시에 높은 비율은 acetate 함량이 높거나 propionate 함량이 적은 것이고, 낮은 비율은 반대의 경우이다. 본 실험결과에 따르면 0시간에는 모든 처리구에서 변화가 없었지만, 1, 2, 4시간 배양에서 활성탄 처리구 경우 유의적으로 높은 경향을 나타내었고 6시간에서는 모든 처리구가 같은 수준으로 0시간에 비해 증가하였다.

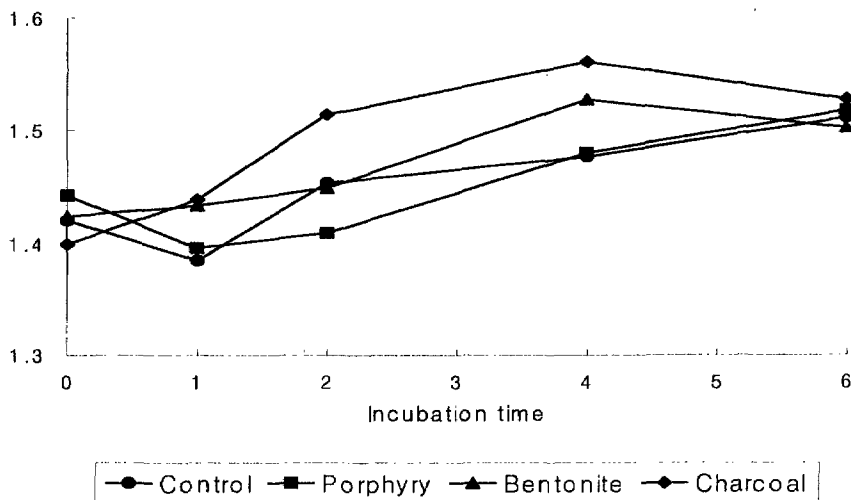


Fig 12. The effect of porphyry, bentonite and charcoal on acetate to propionate ratio of rumen fluid. (*in vitro*)

제 4 장 점토광물의 급여효과에 관한 연구

제 1 절 서 설

일찍이 Kirk(1956)는 조라이트의 구성성분 중 Si를 Al이 대치함으로써 유발되는 양전하의 부족을 Na, Ca, Mg 등의 이온이 대치할 수 있고 이들간의 결합은 강하지 않기 때문에 가축의 체내에서 유리되어 이용될 수 있어, 공업분야에서 이용하는 양이온치환효과를 가축에게도 이용할 수 있음을 암시하였다.

본 연구에 공시된 점토광물들에 관한 국내 기존연구는 축산분야 내에서는 많지는 않으나, 1970년대에 Zeolite에 대한 영양학적 연구가 돼지와 닭에 대하여 실시된 바 있으며(축사, 1975; 한 등, 1976), Bentonite의 경우에는 닭에 대한 급여 효과(이, 1975)가 연구된 바 있는 정도에 불과하다. Sodium bentonite의 경우에는 미국에서 중점적으로 연구되어, 축우를 비롯한 다양한 축종사료로 실용화되어 있다.

현재 규산염계 광물 중 Zeolite와 Kaolinite의 상당량은 국내산이, bentonite는 주로 미국 등지로부터 수입되고 있으며, 사료첨가용으로는 1970년대부터 Zeolite가 소수의 배합사료회사에서 펠렛화를 위한 결합제의 용도로 사용하여 왔으나, 근래에 인공 펠렛바인더 물질이 개발되면서 그 이용정도는 그다지 높지 않은 듯 하다. Zeolite를 가급 사료에 5% 수준으로 첨가 급여할 경우, 장내 gas와 독소의 제거효과, 사료효율의 개선, 연변방지 효과 등이 많은 보고를 통하여 알려져 있으며, 이러한 효과를 기대하기 위하여 吉田(1974)은 일본에서의 축산용 규격으로 CEC 100mEq/100g 이상과 입자도 60 mesh 이상을 제시한 바 있으나, 정 등(1978)의 보고에 의하면 CEC(20, 40, 60, 80) 및 입자도(20, 50, 90 mesh)에 관계없이 사료의 3% 수준을 첨가하였을 때 모든 첨가구에서 공히 육계의 증체율 향상이 관찰되었다고 한다.

같은 규반암계에 속하는 porphyry의 경우, '맥반석'이라는 상용명으로 원석 그대로 음료수의 정수장치에 이용되고 있다. 근래에 국내에서는 건축분야나 생활품 소재 등 공업용으로서의 수요가 증가하고 있음에도 불구하고, 그 효능이나 사료관련 연구 및 실용화는 전무한 상태이다. 이웃나라 일본에서는 작물농업에서의 활용도가 상당히 높은 편이며, 축산분야에서는 착유우용 사료로 급여하였을 때 체세포수(somatic cell

count)를 감소시키는 효과가 보고되어 주목된다. 아끼다(秋田)현 농업대학에서 실시한 착유우 10두에 대한 사양시험 결과에 의하면, 평균 29.4만개이던 체세포수(SCC)가 8.8만개로 크게 감소하였으며, 간기능이나 신장 기능에도 별 영향이 없었다고 보고하여 유질향상에 기여할 수 있음을 보고하였다(Dairy Journal, 1993). 이와 같은 효과는 Porphyry에 함유된 다종의 미량 원소들이 효소계의 활성유지에 크게 도움을 주는 때문으로 보고 있는데, 지역에 따라 이미 상당히 실용화 되고 있다.

제 2 절 젖소에 대한 급여시험

1. 착유우에 대한 맥반석 급여가 체세포수(SCC) 및 분의 정상에 미치는 효과 연구

가. 시험 방법 :

- 1) 공시축 : bucket milking을 하는 목장 5개소의 착유우 총 75두
- 2) 시험 기간 : 총 120일 -- 공시사료 급여 90일, 종료후 30일(대조구)
- 3) 시험사료 급여방법 : 기존 사료급여 조건하에서 맥반석 분말을 1일 100 또는 50g수준으로 농후사료 또는 TMR에 혼합하여 급여하며, 시험기간 중 사료변경(특히 조사료)이 없도록 함.
- 4) 조사항목 및 방법 :
 - 가) 기호성 및 소의 반응 --> 목장주에 설문조사
 - 나) 산유량 및 유지율 변화 --> bulk milk 측정치 (서울우유지도소 협조)
 - 다) 분변의 수분함량 --> 1개월 간격 시료를 채취 정량
 - 라) 체세포수(SCC) --> 15일 간격으로 공시우별로 매 착유 직후 신선시료를 200ml 채취 측정(서울우유지도소 협조)

나. 결과 및 고찰

유증 체세포수는 우균 중 잠재성 유방염 감염우의 비율을 비롯하여 수많은 요인들이 좌우하는 게 사실이어서 맥반석 급여 이외의 다른 요인들을 제어하기는 매우 어려운 관계로, 본 연구는 현장시험을 위주로 반복 실시하였는데, 대체로 긍정적인 결과가 나타났다.

점토광물질(Clay Mineral)이 가지는 공통적인 이온교환 특성이 젖소 유방조직의 효소계를 활성화시켜 세포를 안정시킴으로써 유방염을 비롯한 감염에 저항력을 증가시킬 수 있다. 착유우의 영양생리상으로 Porphyry는 일차적으로 완충제 및 광물질공급원으로서의 기능을 기대할 수 있으며, 또 다른 효과로 미량무기물의 작용에 의한 동물체 내 효소계와 관련한 생리적 활성 촉진 기능을 통하여 질병저항성에 증진효과도 기대할 수 있다. 착유우에 급여시 유즙 내 체세포수가 감소하였다는 일본에서의 연구 결과를 국내에서도 검증하기 위하여 1차적으로 경기도 동북부지역의 목장 5개소에서

실시한 급여시험에 있어서 급여 전과 후의 수준을 비교한 것을 시기별로 보면 Table 10과 Figure 13에 제시한 바와 같다.

Table 10. The effect of Prophyry feeding on somatic cell count of bulk milk.

(unit : 10,000/ml)

Farm	Control	Porphyry
A	90.6 ± 23.44	70.1 ± 1.08
B	100.0 ± 12.38	64.4 ± 6.29
C	69.2 ± 3.44	65.7 ± 4.66
D	66.0 ± 21.86	60.3 ± 9.70
C	73.2 ± 20.67	50.1 ± 7.35

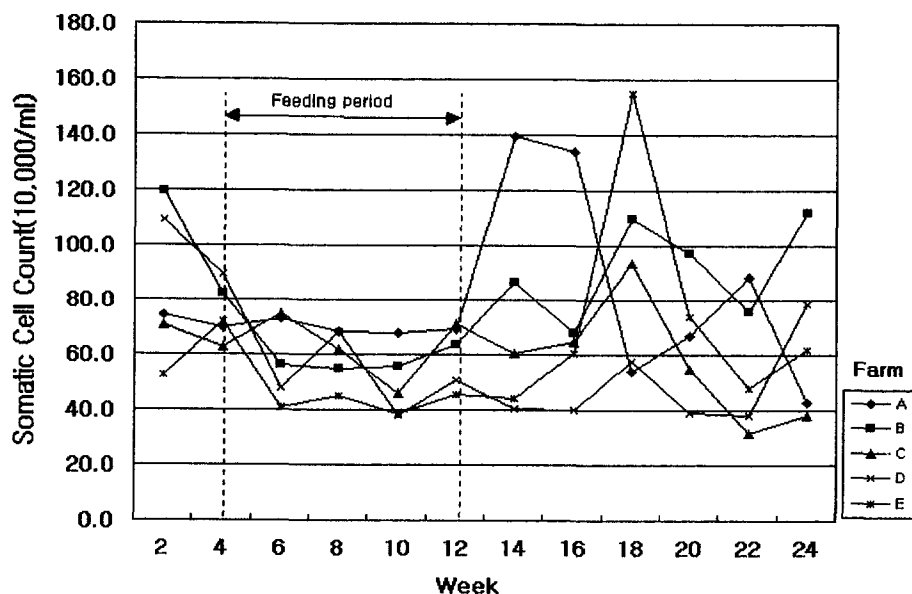


Fig. 13. The effect of Porphyry feeding on somatic cell count of lactating cows.

Table 10에서 보면, 1일 착유우 두당 100g씩 2회로 나누어 배합사료에 첨가 급여하였을 때 5개 목장 공히 비급여시(Control)에 비하여 Porphyry급여기간인 8주 동안 각 목장에서 수집된 bulk milk의 평균 체세포수는 현저히 감소하는 경향을 보였다.

상기 결과를 다시 한 번 검증하기 위하여 제 2차로 실시된 착유우 사양시험에서는 Porphyry를 포함하여 다른 점토광물(Zeolite와 Bentonite)의 급여 효과를 함께 조사하기 위하여 개체우별 체세포수를 2주 간격으로 검정하였던 바, Porphyry 급여구에서 가장 두드러진 감소효과가 나타났으며 Table 11 및 Figure 14에서 보는 바와 같다.

주목할만한 점은, Figure 13과 Figure 14에서 알 수 있는 바와 같이 Porphyry 급여기간중에 감소경향을 보이던 체세포수가 이를 철수한 이후부터는 다시 증가하는 추세를 내었는데, 高橋와 高橋(1990) 및 鈴木(1992)도 착유우에서 이와 같은 경향을 관찰하였다고 보고한 바 있다. 이것은 이 광물이 젖소 체내에서 유방염과 관련한 면역 체계에 무엇인가 긍정적인 효과를 발휘한다는 것을 뒷받침해 주고 있다.

高橋와 高橋(1990)는 Porphyry를 6두의 홀스타인 젖소에 급여하고 임상학적 소견과 혈액학적 변화를 관찰하였는 바, 본시험의 급여구의 동물들도 공히 식욕, 분변상태, 및 영양상태가 대조구의 개체들에 비하여 더 양호한 것으로 조사되어 기존의 보고결과를 어느 정도 뒷받침하여 주고 있다. 본 연구에서 나타난 Porphyry 급여의 긍정적 효과는 동 연구팀이 혈액학적 연구결과를 통하여 추론한 바와 같이 이 광물이 체내에서 효소계의 활성화를 촉진시킴으로써 유방세포의 안정성을 유지시키는 데 도움을 준 결과라고 해석할 수 있겠다.

Table 11. The effect of Porphyry feeding on somatic cell count of milk.

(unit : 10,000/ml)

Farm	Control	Porphyry
A	12.8 ± 5.27	10.9 ± 5.27
B	50.9 ± 13.48	35.6 ± 9.56
C	25.9 ± 7.60	13.3 ± 3.39

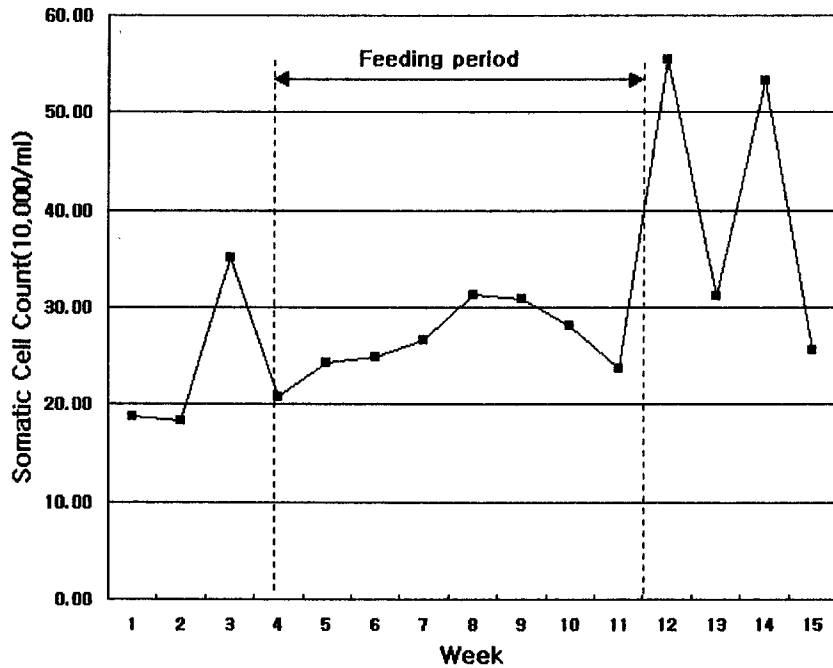


Fig. 14. The effect of Porphyry feeding on the change of somatic cell count(Farm C).

2. 착유우에 대한 Porphyry, Zeolite 및 Bentonite의 급여효과 조사시험

착유우에 대한 제1차 급여시험에서 매우 긍정적인 효과가 얻어진 바, 제2차 실험연구에서는 세부적인 수치를 구하고자 계절과 지역을 달리하여 bulk milk가 아닌 개체별 생산 우유에 대하여 반복하여 시험을 실시하였다.

가. 공시 광물

제 1차년도 연구에서 공시한 광물 중 우수하다고 인정되는 국내산 점토광물 3종 (Porphyry, Zeolite 및 Bentonite)을 공시하였다.

나. 시험 설계 및 방법

고려대학교 부속목장에서 비유 중후기에 있는 2산 이후의 착유우 20두를 비유일

수가 유사한 개체끼리 대조구와 급여구의 2개군으로 구분하여 Cross-over design으로 4개월간 사양시험을 실시하였다. 공시광물은 농후사료에 사료건물의 2% 수준에서 입자도 200mesh의 분말상태로 1일 100g씩 2회 급여하였으며, 첨가는 30일간 지속하였고 첨가광물이 바뀔 때마다 2주간의 휴식기를 두었으며, 기타 사양관리는 시험목장의 관행에 준하여 실시하였다. 측정항목 중 개체별 산유량은 매일 기록하고, 유지방 함량과 체세포수(Somatic Cell Count)는 집합유(bulk milk) 또는 개체유에 대하여 2주간격으로 납유업체인 S우유(협) 분석실에 의뢰하여 측정하였고, 우분의 경우 시험급여 전과 시험 중간의 2회 그리고 급여 종료 후의 4회에 걸쳐 신선분을 채취하여 분석시료로 이용하였다.

다. 결과 및 고찰

1) 기 호 성

공시 점토광물들은 모두가 규산염이 주성분인 만큼 동물에 부정적인 맛을 주지는 않을 것으로 기대되었지만, 설문에 의하여 조사된 결과에서도 역시 젖소들은 상당히 좋은 기호성을 보여 일단 적용된 후에는 급여량을 섭취하는 데 전혀 문제가 없었으며, 이들의 첨가가 혼합배합사료나 전체 사료의 기호성에 영향을 주지 않은 것으로 나타났다.

2) 유생산성에 미치는 효과

Table 12 및 Table 13에 제시된 바와 같이 시험기간중의 평균 산유량이나 유지율은, 점토광물의 첨가 급여구나 대조구간에, 또는 광물종별 처리구간에 별다른 유의차는 나타나지 않았는데, 이는 규산염계 점토광물 자체가 거의 유기물이나 에너지공급원으로서의 역할을 기대할 수 없을 뿐 아니라, 첨가수준도 공급사료의 0.5% 수준에 해당하는 소량인 관계로 유생산 효과에 미치는 영향이 미미하였을 것이며, 오히려 개체별 유전능력과 비유일수 등 다른 제요인이 더 크게 작용한 데에 기인한 것으로 판단된다.

Table 12. The effect of clay mineral feeding on milk yield

Item	Daily Milk Yield (kg)	
	Non-treatment	Treatment
Porphyry	23.5±3.2	24.5±1.9
Zeolite	22.9±4.0	22.8±1.1
Bentonite	21.5±0.1	22.2±1.9

Table 13. The effect of clay mineral feeding on milk fat concentration

Item	Milk fat (%)	
	Non - treatment	Treatment
Porphyry	3.5±0.1	3.4±0.2
Zeolite	3.6±0.2	3.6±0.2
Bentonite	3.4±0.1	3.2±0.2

3) 기타 효과

한편, 高橋와 高橋(1997)에 의하면, Porphyry 처리수 및 분말의 급여로 우사 내의 악취가 현저히 감소하였음을 관찰하였다고 보고하였는데, 본 시험에서는 시험 우사의 구조상의 어려움으로 이러한 효과를 구체적으로 측정할 수는 없었으나, 분의 성상이나 화학적 조성이 변화한 것을 감안할 때 유사한 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 공시 점토광물의 급여로 분변 중의 수분함량은 Porphyry와 Bentonite를 섭취한 우군에서는 급여 이전보다 다소 증가하는 경향을 보였는데 통계적인 유의차는 없었다(Table 14). 본 시험에서 물섭취량을 계량할 수 없었기 때문에 이들 점토광물의 급여로 수분대사가 어떻게 변화하는지를 추적하기는 어려웠다.

주목할 것은 특히 분취의 발생이 현저히 감소하는 것으로 어느 정도 환경친화적인 효과를 인정할 수 있는데, 이러한 효과는 급여기간 동안 이들 광물이 동물의 장관 내에서의 유해가스 흡수작용과 유해성분의 중화작용에 기인할 수 있으며, 시험에서 우

분 내 수분 및 회분농도 등이 종합적으로 작용한 것으로 해석된다. 손과 박(1997)은 육계 초생추의 사료에 Porphyry를 사료의 0.9% 수준까지 첨가하여 4주간 급여한 결과, 배설물 중의 수분농도가 유의적으로 ($p < .05$) 감소하였으며, 장 내용물 중 암모니아 농도는 유의적으로($p < .05$) 증가하였으나 혈중 암모니아 농도에는 영향을 미치지 않았다고 보고하였는데, 맥반석이 암모니아의 흡착효과를 발휘할 경우, 축사 내의 기체조성을 개선함으로써 생산환경을 개선하는 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 14. Effect of clay minerals on some fecal characteristics for lactating cows.

item		pH	DM (%)	ASH (%)
treatment				
Treatment	Control	6.90 ± 0.254	18.17 ± 0.384	14.93 ± 0.321
	Porphyry	7.25 ± 0.174	15.52 ± 0.477	16.46 ± 0.878
	Zeolite	7.15 ± 0.075	18.02 ± 0.205	17.64 ± 0.592
	Bentonite	7.23 ± 0.144	15.98 ± 0.974	15.41 ± 0.358

제 3 절 육우에 대한 급여시험

1. 한우 암송아지에 대한 급여효과 비교시험

가, 공시동물 및 시험방법

한우 암송아지 32두(개시시 평균월령 4개월령)를 대상으로 6개월간 점토광물 급여시험을 실시하였다. 사료에 첨가하는 광물종에 의거 4개 처리(T₁: 무첨가, T₂: Porphyry, T₃: Bentonite, T₄: Zeolite, T₅: Charcoal)를 두고 처리당 8두씩 총 32두를 완전임의배치법으로 배치하였고, 첨가광물은 공히 파쇄기로 분쇄후 14mesh의 체로 걸러서 사용하되 급여시마다 농후사료 급여량의 1% 수준으로 골고루 혼합하여 급여하였다.

공시축은 급사조와 운동장이 갖추어져 있고 측면이 개방되어 있어 통풍이 잘 되도록 설계된 콘크리트벽 슬랫트 지붕우사 (pen size, 5m × 20 m)에서 처리별로 군사하였고, 공시기간중에 사료는 농후사료와 조사료는 자유채식시키되, 4~6개월령까지는 인공유와 목건초를 급여하고 7~9개월령까지는 육성우용 배합사료와 볏짚을 급여하였다. 조사료로는 오차드그라스를 주종으로 하는 혼합목건초를 사용하였고, 그밖에 미네랄 블록 및 소금 등의 광물질과 물 등을 자유롭게 섭취토록 하였다.

체중은 시험개시일로부터 종료시까지 15일 간격을 두고 오전 9시경에 측정하되 개시시 및 종료시는 2일 연속치의 평균치를 사용하였고, 점토광물 급여시 발육성적, 사료효율, 질병발생빈도, 배설물의 일반성분 및 경제성에 대하여 조사하였다.

나. 결과 및 고찰

제 1차년도 연구에서는 비육 중·후기의 한우 육성우 32두에 대하여 Porphyry, Scoria, Charcoal 등을 12개월간 첨가 급여한 결과 증체면에서 매우 긍정적인 첨가효과를 얻은 바 있어, 제 2차년도 연구에서는 한우 암송아지에 대해서 국내산 Porphyry, Zeolite, Bentonite 및 Charcoal의 4가지 광물을 사료에 첨가 급여하는 사양시험을 실시하였다.

생후 4개월령된 한우 암송아지 4~6개월령까지는 인공유 및 목건초를 급여하고, 7~9개월령까지는 육성우사료 및 볏짚을 급여하는 과정에 첨가 광물질의 종류를 달리하

여 180일간 육성하였을 때의 월령별 체중 변화는 Table 15에서 보는 바와 같다.

비육기간 180일간을 전·후기로 2분하여 처리구별로 일당증체량 변화를 살펴보면, 월령별 체중은 처리구에 따라 개시시(4개월령)가 90.8~95.3kg(평균 93.05kg), 3개월후(7개월령)가 163.8kg~167.9kg (평균 165.9kg), 6개월 후(10개월령)가 208.8~211.6kg (평균 210.2kg)이었고, 육성기간중의 일당증체량은 전기에서는 0.800~0.842kg (평균 0.821kg), 후기에서는 0.457~0.531kg (평균 0.494kg)이었고, 전기간 동안에는 각각 0.633~0.666kg (평균 0.650kg)으로 전기에는 대조구, Porphyry, Zeolite, Bentonite 및 Charcoal 급여구의 순으로 증체량이 높았고, 후기에서는 Charcoal, Zeolite, Porphyry, 대조구 및 Bentonite 급여구의 순으로 증체량이 높은 것으로 나타났다.

Table 15. Live weight and average daily gain of Korea Native Bulls

Item	Treatment ¹⁾				
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
Live weight(kg)					
Initial(4mo.)	92.1±19.1	90.8±17.1	90.7±16.5	95.3±12.6	91.8±16.0
120th day(7mo.)	167.9±23.4	116.0±18.0	165.1±26.8	168.2±20.4	163.8±33.3
240th day(10mo.)	209.4±39.1	209.5±19.6	208.8±32.9	209.3±27.7	211.6±35.7
Every daily gain(kg)					
4 - 7 mo.	0.842	0.836	0.827	0.810	0.800
7 - 10 mo.	0.461	0.483	0.486	0.457	0.531
4 - 10 mo.	0.652	0.659	0.656	0.633	0.666

¹⁾ T₁ : Concentrate and hay full feeding only,
 T₃ : T₁ and Zeolite addition,
 T₅ : T₁ and Charcoal addition

T₂ : T₁ and Porphyry addition
 T₄ : T₁ and Bentonite addition

그리고, 전기간 동안의 일당증체량은 Charcoal, Porphyry, Zeolite, 대조구 및 Bentonite 급여구에서 각각 0.666kg, 0.659kg, 0.656kg, 0.652kg 및 0.633kg이었고 Bentonite 급여구를 제외한 동일한 순으로 일당증체량이 높아 처리구별 모든 첨가광물이 육성우의 증체에 불리하게 작용하지는 않는 것으로 나타났으며 첨가제중에서는 Charcoal의 효과가 그 중 높은 것으로 나타났다. 그러나, 가장 증체량이 높았던 Charcoal급여구가 가장 증체량이 낮았던 Bentonite 급여구보다 단지 0.033kg(5.2%) 더 높음으로써 육성 전·후기 및 전기간 모두 처리간에 따른 유의차는 없었다. 본 시험의 결과들은, Holstein 송아지에게 규산염 광물질인 Zeolite를 사료량의 5% 급여시 총증체량이 증가하고 kg 증체당 소요되는 사료비가 절감되었다고 한 近藤鼎 등(1969)의 보고, 육성우사료에 2%의 Zeolite를 첨가시 증체량 및 도체율이 약간 증가하여 20%의 이익이 있었으며 하리의 발생도 적었고 분취도 적었다고 한 Watanabe(1971)의 보고와 유사한 경향을 나타냈다. 그러나 Erwin(1957)은 거세우에 규산염 광물질인 Bentonite를 3% 급여했을 때 증체량, 사료효율, 사료섭취량 및 소화율에 아무런 영향을 주지 않았다고 보고한 바 있다. 본 시험에서의 점토광물 첨가급여량은 농후사료의 1% 수준이어서 보다 고수준의 첨가효과를 검정해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

2. 육성비육우에 대한 급여시험

가. 공시동물 및 시험방법

Porphyry의 급여량을 달리하여 육성비육 한우 32두(시험개시시 평균월령 12개월령)를 대상으로 6개월간 수행하였다. 첨가수준에 따라 4개 처리(T₁: 무첨가, T₂: Porphyry 0.5%, T₃: Porphyry 1.0%, T₄: Porphyry 1.5%)를 두어 처리구당 8두씩 총 32두를 완전임의배치법으로 배치하고, Porphyry는 파쇄기로 분쇄 후 14mesh의 체로 걸러서 사용하되 급여시 농후사료 급여량의 0.5%, 1.0% 및 1.5% 수준으로 골고루 혼합하여 급여하였다.

사료급여 및 기타 사양관리는 육성빈우에 대한 시험과 동일하게 하였으며, 체중은 시험개시일(12개월령)에 한 번 측정하고, 6개월 후인 18개월령에 제 2차 측정하였으며, 점토광물 급여 동안의 발육성적, 사료효율, 질병발생빈도, 도체특성 및 경제성에 대하여 조사하였다.

나. 결과 및 고찰

생후 12개월령까지의 육성 비육기간 동안 조사료 위주로 사육된 한우에 대해 Porphyry의 첨가량을 달리하여 270일간 급여하였던 바, 월령별 체중 및 평균 일당증체량을 Table 16에 제시하였다.

비육기간 270일간을 전·중·후기 3분하여 처리구별로 월령별 체중 및 증체량 변화를 살펴보면, 월령별 체중은 처리구에 따라 개시시(12개월령)가 363.7~372.6kg (평균 368.2kg), 3개월 후(15개월령)가 457.5kg~471.7kg (평균 464.6kg), 6개월 후(18개월령)는 544.3~563.6kg (평균 554.0kg)이었다. 비육기간중의 일당증체량은 비육 전기에서는 1.028~1.101kg (평균 1.065kg), 중기에서는 0.960~1.021kg (평균 0.991kg), 후기에서는 0.695~0.871kg (평균 0.783kg)이었고, 전기간 동안에는 0.895~0.984kg (평균 0.940kg)으로서, 전기에는 Porphyry 1.5%, 대조구, Porphyry 1.0% 및 Porphyry 0.5%의 급여구 순으로 증체량이 높았고, 중기에는 Porphyry 1.5%, Porphyry 0.5%, Porphyry 1.0% 및 대조구의 순으로 증체량이 높았으며, 후기에는 Porphyry 1.0%, Porphyry 1.5%, Porphyry 0.5% 및 대조구의 순으로 증체량이 높은 결과를 나타내었다.

Table 16. Live weight and average daily gain of Korean Native Bulls.

Item	Treatment ¹⁾			
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
Live weight(kg)				
Initial(12mo.)	363.7 ± 38.4	365.0 ± 47.0	371.7 ± 51.8	372.6 ± 31.3
90th day(15mo.)	464.7 ± 36.0	457.5 ± 51.9	466.3 ± 65.4	471.7 ± 39.8
180th day(18mo.)	548.4 ± 33.0	544.3 ± 60.8	552.7 ± 83.8	563.6 ± 57.0
270th day(21mo.)	610.9 ± 42.6	616.9 ± 68.6	631.1 ± 91.9	638.3 ± 63.4
Every daily gain(kg)				
12 - 15 mo.	1.059 ± 0.13	1.028 ± 0.15	1.051 ± 0.16	1.101 ± 0.14
15 - 18 mo.	0.930 ± 0.15	0.964 ± 0.14	0.960 ± 0.25	1.021 ± 0.21
18 - 21 mo.	0.695 ± 0.13	0.807 ± 0.19	0.871 ± 0.18	0.830 ± 0.10
12 - 21 mo.	0.895 ± 0.10	0.933 ± 0.10	0.961 ± 0.17	0.984 ± 0.13

¹⁾ T₁ : Concentrate and hay full feeding only, T₂ : T₁ and addition of Porphyry as 0.5%
T₃ : T₁ and addition of Porphyry as 1.0%, T₄ : T₁ and addition of Porphyry as 1.5%

제 4 절 육성돈에 대한 급여시험

1. 비육돈에 대한 급여시험

가. 재료 및 방법

이유(4주령) 후 육성기(5주령~16주령) 및 비육기(17주령~20 또는 24주령)에 있는 암·수컷 돼지에 160두를 첨가광물종의 종류에 따라 4개 처리구(T₁: 무첨가, T₂: Porphyry, T₃: Zeolite, T₄: Bentonite)에 각 40두씩 동복 자돈으로 배치하고, 3종의 첨가광물(Porphyry, Zeolite, Bentonite)은 파쇄기로 분쇄한 후 240mesh의 체로 걸러서, 배합사료 급여량의 2% 수준으로 골고루 혼합하여 급여하였다.

공시축은 자돈사에서 1개월동안 사양한 후 비육돈사로 이동하여 출하직전(24주령)까지 수용하였고, 사료급여 및 기타 관리는 농장에서의 관행방법에 준하여 실시하였다. 체중측정은 이유시, 육성기(10주령, 15주령), 비육기(20 또는 24주령), 출하 직전에 실시하였고, 분변의 성상을 보기 위하여 pH, 수분함량 및 회분농도 측정하였고 돈사에서 분취의 발생정도는 관리자에게 설문 조사하였다. 그리고, 점토광물을 사료에 급여시 사료의 기호성 및 섭취량을 측정하였다.

나. 결과 및 고찰

1) 증체에 미치는 효과

전체사료의 2% 수준으로 점토광물을 혼합 급여하였을 때, 급여 5주 동안의 처리구별 평균증체량을 보면(Table 17), 대조구 17.7kg, Porphyry 18.39kg, Zeolite 18.62kg, Bentonite 17.94kg으로서 공시 점토광물 급여구는 대체로 비급여구에 비하여 우수하게 나타났다. 비육돈에 대한 점토광물의 급여효과는 기존 보고간에 다소의 차이가 있는데, 韓 등(1976)은 거세돈에 Zeolite를 가지고 배합사료 중의 밀기울을 1%~6%까지 대체 급여하였던 바 증체율이나 사료효율에 있어 별다른 차이를 나타내지 않았다고 하며, 近藤 등(1967)이 육성돈에서 성장촉진효과를 관찰한 것과는 대조를 이루었는데, 그 이유의 하나는 Zeolite의 종류와 시험환경상의 차이에 기인하는 것 같다고 하였다. 본 시험을 통한 급여효과에 대한 최종적인 평가는 최종

출하시에 개체돈의 발육성적과 함께 가능해질 것으로 사료된다.

Table 17. The effect of clay mineral feeding on the performance of growing pigs.

Treatment	PenNo	initial body weight 98/5/12			body weight after 5 weeks 98/6/15		
		Avg. Wt.	Replicate Avg. Wt.	Trtment Avg. Wt.	Avg. Wt.	Replicaqte Avg. Wt.	Treatment Avg. Wt.
Control	#3	10.76	10.09	10.15 ±0.25	26.92	27.63	27.85 ±0.35
	(♀)	9.34			28.33		
	#7	9.99	10.20		27.69	28.08	
	(♂)	10.45			28.46		
Porphyry	#4	10.14	10.00	9.90 ±0.16	27.27	27.73	28.29 ±0.60
	(♀)	9.85			28.18		
	#8	9.63	9.79		30.00	28.85	
	(♂)	9.98			27.69		
Zeolite	#5	8.72	8.92	9.59 ±0.21	26.92	26.80	28.21 ±0.83
	(♀)	9.16			26.67		
	#9	10.40	10.26		29.23	29.62	
	(♂)	10.09			30.00		
Bentonite	#6	7.64	7.59	8.82 ±0.26	21.81	23.13	26.76 ±2.21
	(♀)	7.54			24.44		
	#10	10.28	10.04		31.54	30.39	
	(♂)	9.76			29.23		

2) 기호성

공시한 국내산 점토광물 Porphyry, Zeolite, Bentonite들은 돼지에 급여시에 일차 어느 정도의 적응기간이 지나면 사료섭취에 전혀 문제가 없었으며, 또 광물의 첨가가 사료 전체의 기호성에 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다.

3) 분변의 성상

돼지를 사육하면서 발생하는 그 분뇨는 특성상 소나 다른 초식동물과는 달리 심한 분취를 발생하여 항상 환경문제 발생의 주요 요인으로 간주되고 있는 바, 이러한 문

제점의 개선가능성에 초점을 두고 점토광물의 급여가 분변의 성상에 미치는 효과를 조사하였다. 점토광물의 급여로 분내 수분함량은 급여 이전보다 감소하는 경향을 보였으며, 특히 분취발생이 감소하는 것으로 조사됨으로써 생산환경 측면에서 긍정적인 효과를 인정할 수 있다. Table 18에서 보는 바와 같이 점토광물의 첨가급여로 돈분내 수분은 Porphyry 급여구를 제외하고는 대체로 감소하는 경향을 보였으며, 회분함량 등은 약 1~1.8% 단위 정도가 증가하였다. 그러나 통계적 유의성은 나타나지 않았는데, 이는 불규칙하게 채취한 신선분을 분석한 데에 기인한 것으로 사료된다.

Table 18. Effect of clay mineral feeding on some fecal characteristics.

Treatment \ Item	pH	DM(%)	ASH(%)
Control	6.59 ± 0.50	23.24 ± 1.88	23.05 ± 0.85
Porphyry	6.44 ± 0.27	22.03 ± 2.48	23.84 ± 0.32
Zeolite	6.46 ± 0.40	24.38 ± 0.48	24.73 ± 1.38
Bentonite	6.41 ± 0.21	24.53 ± 0.41	24.56 ± 0.06

제 5 절 펠릿 결합효능 검증

한편 공시 점토광물 3종 중 Zeolite는 기존에 종종 배합사료의 펠릿제조공정에서 결합제(cementing agent)로 사용되어 왔으며, Porphyry의 펠릿결합효능과 함께 양돈사료에 대하여 측정 비교해 보았는 바, 처리조건과 결과는 Table 19에서 보는 바와 같다.

Table 19. Comparison of pelleting efficiency between Porphyry and Zeolite.

		Porphyry						Zeolite											
Feed		weaned pig						grower pig											
Pelleter Model		CPM7700						CPM7700											
HP		250						250											
DIE SPEC		4.5mm 55T						4.5mm 55T											
ROLLER		CORRUGATE OPEN TYPE						CORRUGATE OPEN TYPE											
c o n d i t i o n	Addition level	1%		2%		none		1%		2%		none							
	Steam pressure	1.8kg/cm ²		1.8kg/cm ²		1.8kg/cm ²		1.8kg/cm ²		1.8kg/cm ²		1.8kg/cm ²							
	Temp.	58℃		58℃		58℃		60℃		60℃		60℃							
	Feeder Rate	48%		48%		48%		55%		55%		55%							
	Ampere	240		240		240		230		230		230							
	Productivity(t/hr)	12.9		12.6		12.4		13.7		12.6		12.9							
Q u a l i t y	Density (g/L)	643		650		640		627		635		630							
	Pellet Durability	96.4	96.4	96.6	96.4	96.2	96.4	96.6	96.8	96.4	96.0	96.4	96.2	96.0	95.8	96.2	96.0	96.4	
		96.3	96.0	96.4	96.0	96.0	96.0	95.2	96.0	96.2	95.0	96.6	96.4	96.0	96.0	96.6	96.2	96.0	95.9
		96.6	96.8	96.2	96.4	96.6	96.4	96.4	96.0	95.2	96.4	96.0	96.2	96.4	96.4	96.4	96.4	96.2	96.0
		96.4	96.4	96.0	96.2	96.8	96.4	96.8	96.2	96.2	96.2	96.4	96.2	96.0	96.2	96.2	96.4	96.4	96.0
	96.4±0.2		96.3±0.2		96.2±0.5		96.2±0.4		96.2±0.2		96.2±0.2								

공시 광물을 혼합한 사료는 옥수수, 소맥, 소맥피, 대두박, 루핀, 면실박, 채종박, 우지, 당밀 및 기타 무기물 등이 포함된 양돈사료용 배합원료로서, 본 시험에서는 두 가지 공시광물 공히 첨가구와 비첨가구간에 펠릿의 밀도나 내구력에 있어서 거의 차

이가 나타나지 않은 것으로 나타났다. 펠릿사료 제조과정에서 별다른 영향을 주지 못한 이유는, 펠릿의 품질에 배합된 원료사료의 성질이 가장 커다란 영향을 미칠 수 있는 만큼, 원료 중 당밀이나 곡류 등이 공시 점토광물의 첨가효과를 상쇄시킨 탓이 아닌가 생각된다.

한편, 배합사료의 펠릿화 공정에 있어서 Sodium Bentonite의 첨가효과를 조사한 결과는 Table 20에서 보는 바와 같다.

Table 20. Comparison of pelleting efficiency between Lignosulfonate and Sodium Bentonite.

Feed		lactating cow					
Pelleter Model		CPM 3000					
HP		200					
DIE SPEC		6.4mm 75T					
ROLLER		CORRUGATE OPEN TYPE					
		Lignosulfonate			Sodium Bentonite		
c o n d i t i o n	Addition level	0%	0.5%	0.5%+W M*	0.5%	1%	1% + WM*
	Steam pressure	2.0~2.5 kg / cm ²			2.0~2.5 kg / cm ²		
	Temp.	60℃			60℃		
	Feeder Rate	45~70%			45~70%		
	Ampere	200			200		
	Productivity (t / hr)	10~13 t / hr			10~13 t / hr		
Q u a l i t y	Hardness	5.80	6.65	6.30	5.90	6.60	7.2
		5.70	5.50	5.30	5.50	6.10	5.9
Q u a l i t y	Pellet Durability Index	86.9	91.1	94.1	96.5	93.0	96.7
		86.0	89.8	91.6	96.3	92.1	94.5

* 5% Wheat Meal

착유우사료(원료: 옥분, 소맥분, 대두박, 면실박, 채종박, 루핀, 당밀, 우지 등)의 펠렛화 공정에 있어서, Bentonite를 약 1% 수준으로 첨가하면, 기존의 바인더(Lignosulfonate)를 5% 수준에서 첨가하였을 때에 비하여 펠렛 경도를 약 1% 단위 증가시켰으며, 특히 소맥분이 약 5% 수준 함유된 배합사료의 경우에는 0.5~1% 단위 증가하는 상승효과를 나타내었다. 대체로 1% 수준의 Bentonite 첨가는 0.5% 수준의 펠렛바인더와 맞먹는 정도의 경도를 보였다. 한편, 펠렛의 내구력(Durability Index)을 보면, 기존에 0.5% 수준의 바인더를 1% 수준의 Bentonite로 대체하였을 때 약 1 단위의 상승효과가 얻어졌으며, 특히 소맥분이 포함된 경우에는 1~2 단위 정도의 상승효과가 있었고, 0.5% 수준으로 Sodium Bentonite를 첨가하였을 경우, 무첨가구에 비하여 2~3 단위의 PDI 상승효과가 나타났다.

Sodium Bentonite는 일반적으로 주구성광물인 Montmorillonite의 높은 수분 흡수력과 팽윤력으로 인하여 사료입자들간의 공극을 채워주면서 사료의 입자표면에 부착하여 표면적을 넓혀 주어 사료입자간에 안정된 결합을 형성케 하는 효과가 강하다. 사료의 표면적이 넓어지면 스팀 공급 시에 응축된 수분을 빠른 속도로 흡수하여 펠렛이 쉽게 다이의 구공을 통과하는 것을 도와주어 프레스 효율이 높임으로써, 궁극적으로는 펠렛의 내구력을 높여준다(May-Schillok, 1999).

결국 Sodium Bentonite는 펠렛의 경도보다는 내구력을 증가시키는 데 더 효과가 우수하며, 본 사료종류 및 제조 조건하에서 펠렛의 경도를 개선하는 데는 최소한 원료 사료의 약 1% 이상 수준이 필요한 것으로 판단되었다. 그러나, 펠렛의 내구성면에서는 1~3 단위 정도의 상승효과를 나타내었으며, 펠렛의 균열을 없애고 공극을 메워 줌으로써 펠렛의 외관을 우수하게 만들었으며, 당밀을 후첨가 한 경우에도 형태를 유지하는 데 우수한 효과를 보였다.

제 5 장 토양개량효과에 관한 연구

제 1 절 서 설

가축의 사료에 맥반석, Zeolite, Bentonite 등과 같은 점토광물을 혼합하여 급여하면, 가축의 영양상태와 생산능력 면에서 긍정적인 효과가 있음이 본 연구의 1차년도에 확인된 바 있다(손, 1997). 점토광물이 혼합된 사료는 점토광물의 높은 비표면적과 전하를 가지는 성질들이 이러한 효과를 나타내게 하는 원인이 될 것이라고 추찰할 수 있기는 하지만, 아직까지 정확한 메커니즘은 밝혀지고 있지는 못하다.

한편, 근래에 들어서 축산폐기물에 의한 환경오염이 국내의 하천유역에서 주요한 환경문제로 등장되어 있어서 축산분뇨의 효과적인 관리의 필요성이 널리 받아들여지고 있다. 점토광물이 혼합된 사료의 동물영양학적인 긍정적인 면에 더하여 환경적 측면에서, 이들 점토광물이 혼합된 사료를 급여하여 얻은 축분이 토양에 투여되었을 때 토양의 물리화학적 특성에 미치는 영향을 정확하게 추적하여 일반분과의 차이 여부를 확인해 볼 필요성도 있을 뿐 아니라 식물영양학적 측면에서의 토양의 물리화학적 성질의 변화와 토양을 비롯한 주변 환경에 미치는 영향에 대한 연구도 필요하다.

농지의 개선이나 작물 생육을 향상시킬 목적으로 농지에 투여되는 물질들을 토양개량제라고 부른다. 토양개량제에는 석회, 규회석, 구조토, zeolite, bentonite 등 여러 가지 광물들이 이용되어 왔다. 토양의 물리·화학적 성을 유지·개선시키는 점에 있어서는 토양중의 부식성 유기물의 함량을 높여야 한다는 점은 익히 알려져 있지만, 적절한 부식성 유기물의 생산에 많은 시간과 노동력이 소요되기 때문에 그 투입량이 감소되어 왔다.

수질을 중심으로 한 환경적 측면에서 축산시설로부터 발생하는 분뇨의 오염부하가 문제시되고 있는데, 이러한 축산분뇨의 오염부하 문제는 오염물질의 집중화와 미처리 가 그 원인이라고 생각된다. 농경지로의 재순환을 위한 투입량의 감소와 함께 증가·확산된 축산분뇨의 배출이 수계에 대한 유기성 오염물질의 부하를 문제시하게 만든 원인이라고 생각되는 것이다.

최(1987)는 맥반석으로 알려져 있는 성분에 대한 조사와 농업적 활용 가능성에 대

하여 다음과 같이 보고 한 바 있다. 맥반석의 결정학적 분석 결과 휘록분암(輝綠玢岩)으로 추정되고, 화학적으로 pH가 8.7이며, CEC는 9.0 cmol(+)/kg으로 일반토양보다 낮으며, zeolite나 bentonite 보다도 현저히 낮아서 단일로 이용되었을 경우 토양개량 물질로는 적절한 재료라고 하기 어렵다고 판단하였다. 또한 수도, 땅콩, 고추, 배추 등에서 맥반석 단독 시용효과가 인정되지 않았다고 보고하고 있다. 이러한 시험결과에도 불구하고 맥반석이 정수, 병충해 방제, 종자코팅, 악취제거 등에 효능이 있다고 알려지고 있고, 일부 외국의 연구결과는 증수효과가 있는 것으로 보고되어 있기도 하며, 이미 밝힌 바와 같이 본 연구의 1차년도 결과에서도 가축에게 좋은 생리적 효과가 인정되기도 하였다.

이런 결과들을 고려할 때, 맥반석 분말은 단일 시용으로 토양개량의 효과를 인정하기 어렵고, 또 그 작용메커니즘은 분명하지 않지만 가축의 생리에 도움을 준다는 것으로 요약할 수 있을 것이다. 또한, 맥반석에 대한 국내의 실험결과의 차이가 발생한 원인이 무엇인지는 현재로서는 정확히 알 수는 없다. 일명 맥반석이 식물발육촉진, 강건육성, 성분상승 등에 대한 효과를 가지며 잔류농약의 제거와 오염된 토양과 농업용수의 정화에도 효과를 보인다는 점을 구체적인 실험으로 확인하지 않고서는 맥반석의 효과를 특징적으로 정의할 수 없는 것이 현실이다.

따라서 점토광물을 혼합한 사료의 가축에 대한 좋은 효과에 더하여 토양개량효과를 높이기 위해서는 맥반석과 zeolite 및 bentonite 등의 점토광물 단독 투입보다는, 혼합사료 투여로 얻어진 혼화된 축산분뇨의 토양시용이 효과적일 것이라고 기대된다.

축산분뇨 중 질소의 70%이상은 尿를 통해 배설되며 나머지 30%는 고형물인 분을 통해서 배설된다. 뇨의 질소는 거의가 무기태이고 배출 직후부터 암모니아태 질소(NH_4^+-N)는 뇨의 높은 pH 때문에 대기 중으로 휘산된다(Mayers et al, 1982). 분에 함유된 질소는 거의 유기태이고 이들은 미생물에 의한 무기화작용을 통하여 형태적으로 변화되는데, 이러한 무기화작용은 분의 C/N율, 수분, 온도, pH, 무기양분들과 같은 토양내 이화학적특성들의 상호작용에 의해 촉진 혹은 저해되고 분중의 유기태질소는 토양에서 Nitrogen pool로 작용하게 된다(윤 등, 1993).

본 연구는 점토광물을 혼합한 사료를 급여하여 얻은 분뇨를 토양에 투여하였을 때 토양 내에서의 유기물의 부숙, 무기화 과정에서 온도에 따른 토양 내에서의 전질소, NO_3^--N , NH_4^+-N 의 변화양상을 점토광물이 혼합되지 않은 사료를 투여하여 발생한

일반분뇨의 토양투입 시와의 차이를 규명하는 동시에 두 가지 경우에 있어서 토양의 이화학성 변화와 작물(옥수수)의 생육에 미치는 영향을 조사하여 그 효과를 파악하고 하는 목적으로 수행된 것이다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 측 분 및 토 양 분 석

측분과 토양의 분석은 농업기술연구소의 토양화학분석법에 준하여 실험을 실시하였다. 전질소, NH_4^+-N , NO_3^--N 은 Kjeldhal 법에 의해 정량하였으며, 유효인산의 경우 Bray No 1법, CEC는 1N NH_4OAc (pH7.0)포화중류법, 유기물은 Turin법, 치환성양이온은 1N NH_4OAc (pH7.0) 침출 후 AAS를 이용하여 측정하였고 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 유리전극으로 측정하였다.

2. 분뇨처리

측분의 투여가 토양개량에 미치는 영향을 조사하기 위해 분뇨는 고려대학교 부속 농장의 포장에 처리하였으며 분뇨처리 포장의 배치와 규모는 다음의 Fig. 15와 같다.

분뇨살포는 8.5m * 60m포장에 습분을 기준으로 18ton 살포하였으며 각 분의 처리 사이에 분뇨를 처리하지 않은 무처리구를 1.5m간격으로 배치하였다. 맥반석, zeolite, bentonite를 사료효과 시험에서의 같은 비율로 혼합한 사료를 급여하기 시작하여 5일이 경과한 후부터 15일간 발생하는 분뇨를 수집하여 포장에 살포기로 살포하였다. 분뇨의 살포는 2월 15일에 완료하였으며 밀거름으로 작용토록 하였다.

일반적으로 분뇨나 퇴구비를 늦가을에 시용하여 토양중에서의 질소의 유실이나 용탈을 억제하는 것이 효과적이지만 본 실험에서는 과제의 출발이 늦어졌고, 12월과 1월중에 내린 많은 강설로 인하여 분뇨의 분리수거가 불가능해져서 2월 15일에 완료하게 되었다.

3. Incubation test

온도 조건에 따라 토양에 투여된 우분중 질소의 무기화 비율을 관찰하고자 incubation test를 12주간 실시하였다. 토양의 경우 고려대학교 부속농장의 토양을

사용하였고 우분은 일반분뇨와 사료에 광물(Zeolite, Bentonite, 맥반석)을 투여한 분을 사용하였으며 토양과 분은 채취 후 풍건하여 2mm로 사별하여 사용하였다.

실제 포장에 투여되는 분을 수분정량 후 시료량을 결정하여 건조토양 1kg당 일반분 35.67g, 맥반석분(맥반석 혼합사료 급여로 생산된 분) 38.28g, Zeolite분(zeolite 혼합사료 급여로 생산된 분) 46.81g, 그리고 Bentonite분(bentonite 혼합사료 급여로 생산된 분)을 47.88g이 되게 처리하였다. Incubation 온도는 14℃, 18℃, 22℃, 25℃의 4 수준으로 처리하였고 수분관리는 포장용수량의 2/3수준으로 유지하면서 12주동안 2주간격으로 시료를 채취하여 NH_4^+ , NO_3^- , TKN의 함량을 조사하였다.

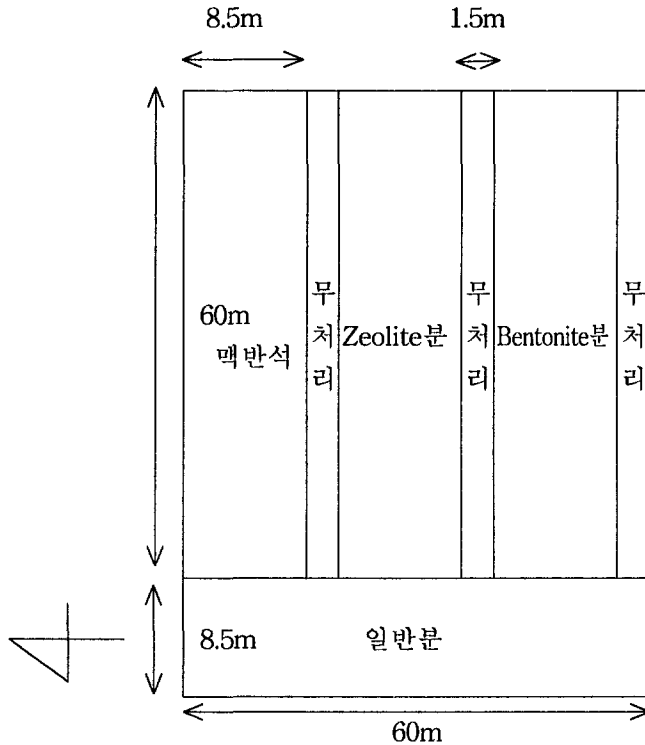


Fig. 15. Cross section of the manure-treated soil

4. 우분의 처리가 옥수수의 생육에 미치는 영향조사

점토광물 혼합사료 급여로 생산된 분뇨의 시용이 옥수수 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해 분뇨살포 토양에 옥수수(품종:GK729)를 5월 3일 파종하여 8월 5일까지 3개월간 재배한 후 성장량 및 옥수수내 무기성분의 함량을 조사하였다. 성장량 조사는 각 분뇨시용 포장에 $3 \times 3\text{m}^2$ 의 plot을 3개 설치하여 성장량을 조사하였다.



Fig. 16. 옥수수 재배 포장

제 3 절 결과 및 고찰

1. 공시축분 및 토양의 화학적 특성

공시축분 및 토양의 화학적 특성은 Table 21에 나타내었다. 우분의 경우 유기물 함량은 점토광물별로 크지는 않았으나, 맥반석분 처리 분뇨가 57.51%로 가장 많은 유기물 함량을 나타냈으며, zeolite분이 53.27%로 가장 낮은 유기물 함량이었다. TKN의 함량은 2.21-2.52%의 범위에 있었고 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 함량이 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 보다는 높은 것으로 나타났다. 질소함량에 있어서 점토광물에 따른 차이는 크지 않았다고 판단되는데 zeolite분이 2.52%로 가장 높았고, 일반분이 2.21%로 가장 낮았다. C/N율은 맥반석분이 25.9로 가장 높았고, zeolite분이 21.1로 가장 낮았으나 모두 높은 C/N율을 나타내 토양 중에서의 분해과정이 분석되어야 할 것으로 판단되었다. 분들은 대체적으로 암모니아태 질소가 질산태 질소보다 월등하게 많아서 일반적인 생분의 특성을 나타내고 있었으며 인산의 함량은 2500 mg/kg 이상으로 나타났다.

CEC의 경우 시험된 우분 중에서도 광물을 처리한 분에서 높은 것으로 나타났는데 이는 분에 혼합된 점토광물에 기인된 것이라고 보여진다. Bentonite가 처리된 분이 147.5 cmol/kg으로 나타나 가장 높은 CEC를 보였는데 이는 처리된 점토광물 중 bentonite가 높은 CEC를 가지는 것이기 때문이고, 맥반석 처리 분이 114 cmol/kg으로 낮은 값을 나타낸 것도 같은 이유이다. 일반분은 맥반석 처리 분보다 약간 낮은 107.5 cmol/kg으로 나타나 분중의 유기물에 의한 전하의 발생이 투여된 점토광물에 의한 전하의 발생보다는 우세한 것으로 나타났다. 이러한 점으로 미루어 단순하게 추측한다면 토양에 투여된 후 토양의 CEC 증가 효과는 bentonite분 > zeolite분 > 맥반석분 > 일반분의 순이 될 것으로 생각되는데, 이는 현재 실험중에 있는 옥수수 재배 후 토양의 분석결과를 통하여 확인될 것으로 기대하고 있다.

pH의 경우 알칼리로 기울어져 있는 것으로 나타났는데 이는 분의 유기물 자체의 높은 pH와 유기물내 다량의 무기염들에 의한 영향이라 판단된다. 그리고 우분 내에 상당량의 무기염류 특히, 나트륨(Na)과 마그네슘(Mg)의 함량이 높은 것으로 나타나 장기간 연용 시의 토양내 염류집적에 대해서는 신중한 고려가 필요할 것으로 생각되었고 아울러 분의 적정 사용량에 대한 검토가 요구된다고 보인다.

Table 21. Physico-chemical properties of the manures and the soil

	OM (%)	TKN (%)	C/N ratio	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	Av.P (P ₂ O ₅)	CEC (cmol/kg)	pH	Ex.			
									Cation(cmol(+)/kg)			
				mg/kg				Ca	Na	K	Mg	
일반분	54.83	2.21	24.8	134.96	47.32	2603.86	107.5	8.73	0.42	6.77	1.53	5.20
백반석분	57.51	2.22	25.9	140.42	22.40	2957.82	114.0	8.79	0.46	3.53	1.60	7.34
Zeolite분	53.27	2.52	21.1	216.30	62.44	2970.03	137.0	8.38	0.33	3.24	1.63	6.30
Bentonite분	54.65	2.37	23.1	124.88	37.70	2520.35	147.5	8.27	0.46	3.13	1.60	7.34
토 양	1.97	0.25	7.88	22.82	28.00	394.24	15.2	6.29	0.23	0.09	0.45	1.92

공시된 토양은 유기물 함량 1.97%로 일반적인 경작지 토양의 유기물함량(2.5~3%)에 밀들었으나 TKN은 0.25%로 유기물함량에 비하여 높은 편으로 C/N율도 7.88이었다. 또한 CEC는 우리 나라의 일반 토양들이 나타내는 범위 내인 15.2 cmol/kg을 보였고 토양반응은 중성역의 양호한 조건을 나타냈다.

2. Incubation test 결과

Table 22, 23, 24는 각각 Incubation test 기간 중 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, TKN 함량의 변화 양상을 나타낸 것이다.

Table 22는 분뇨를 토양에 혼합한 후 온도를 달리하여 배양하면서 측정된 NH₄⁺-N의 함량변화를 나타낸 것인데, NH₄⁺-N의 함량은 배양을 시작하고 2-4주 사이에 최고 값을 보이다가 incubation 기간이 경과함에 따라 감소되는 경향을 보였다. 12주 동안의 배양이 종료된 시점에서의 함량으로 볼 때 고온에서 배양시킬 때보다 저온으로 배양하였을 때가 NH₄⁺-N의 함량이 높았는데, 이는 고온에서 NH₄⁺-N의 휘산과 질산태질소로의 변환이 저온에서보다 많았음을 시사하는 것이다. 또한 배양 초기에는 고온일수록 암모니아태 질소의 함량이 많은 경향을 나타냈는데 이는 고온일수록 유기태질소의 암모니아태 질소로의 변환이 많았음을 나타내는 것이라고 생각된다. NH₄⁺-N의 최종함량에 있어서는 14℃로 배양한 처리구를 제외하고는 분을 처리한 토양과 대조토양간의 차이가 거의 없었으며 투여광물에 따른 차이도 보이지 않았다. 따라서 암모니아태 질소는 배양기간이 약 8주 경과되면 처리구간에 특이한 차이를 보

이지 않았는데 분의 투여후 이 기간이 지나면 초기의 유기물 분해는 그 속도를 늦추어 평형상태에 도달하는 것으로 판단된다.

Table 22. Changes in NH_4^+ -N content with incubation time.

Manure & Soil	Incubation temp.(°C)	NH_4^+ nitrogen (mg/kg)				
		Incubation Time (week)				
		2	4	8	10	12
일반분	14	25.0	22.8	12.5	21.7	22.5
	18	49.9	35.5	15.5	10.4	7.8
	22	19.6	26.8	19.1	2.8	8.0
	25	62.4	56.8	13.5	11.1	13.3
맥반석분	14	38.2	20.6	13.3	19.0	20.8
	18	48.8	38.0	7.9	2.7	8.5
	22	28.3	25.6	5.5	3.0	4.1
	25	43.0	49.7	27.1	3.0	11.4
Zeolite분	14	25.9	11.3	10.3	12.5	16.9
	18	29.8	23.0	12.8	8.3	10.6
	22	31.8	31.1	10.5	18.8	2.9
	25	47.0	34.6	13.6	3.1	4.7
Bentonite분	14	24.0	18.4	18.0	16.0	11.3
	18	27.7	12.1	14.5	20.0	19.0
	22	30.5	36.5	17.9	9.4	5.8
	25	20.4	27.2	13.1	3.3	10.0
토 양	14	32.2	17.9	15.7	17.0	11.4
	18	39.1	17.7	15.7	8.4	9.8
	22	29.6	23.9	24.4	13.6	0.3
	25	22.2	24.5	14.9	0.7	11.9

Table 23에 나타낸 바와 같이, 축분 투여 후 NO_3^- -N의 함량은 배양 시간이 경과함에 따라서 증가되는 추세로 10-12경에 최고수준에 도달하였다. 온도에 따른 NO_3^- -N의 발생양상은 고온일수록 NO_3^- -N의 함량이 많은 것으로 나타났는데 이는 질소의 무기화에 관여하는 미생물의 최적조건이 20-30°C에 있기 때문인 것으로 보인다(Kimble et al 1973). NO_3^- -N의 발생량이 가장 높았던 처리구는 Zeolite 투여분뇨를 처리한 처리구로 603mg/kg이었고 Bentonite > 맥반석 > 일반분의 순으로 나타났다. 질산태질소의 함량을 기준으로 보면 축분 투여 후에 빠르게 최고 농도에 이르고 있는데 투여 후의 온도에 따라서 산화속도가 크게 달라지는 양상을 보이고 있다.

투여된 점토광물의 종류에 따라서 약간의 차이를 보이지만 22에서 25℃ 배양시에 가장 많은 질산태 질소의 함량을 나타냄으로써 유기태 질소의 산화와 관련된 토양 온도의 영향을 쉽게 알 수 있다. 한편, NO₃⁻-N의 경우 토양 내에서 이동성이 강한 이온으로서 작물에 흡수 이용되지 못하는 경우 분뇨의 과다 시용으로 인한 주변 수계 및 지하수의 오염을 유발할 수 있으므로 적정시용량과 시용시기(온도에 따른)에 대한 검토가 요구된다.

Table 23. Changes in concentration of NO₃⁻-N with incubation time.

Manure & Soil	Incubation temp.(°C)	NO ₃ ⁻ nitrogen (mg/kg)				
		Incubation Time (week)				
		2	4	8	10	12
일반분	14	38.0	92.7	168.9	218.1	190.0
	18	39.9	31.4	119.8	175.7	143.9
	22	203.3	195.1	129.8	102.5	197.1
	25	167.0	226.0	247.9	329.8	213.2
맥반석분	14	46.8	54.6	118.9	129.4	167.0
	18	55.4	100.0	105.2	110.0	159.3
	22	108.3	175.5	233.4	303.3	430.8
	25	121.4	124.0	216.8	253.3	416.9
Zeolite분	14	24.6	33.1	104.4	120.1	152.5
	18	92.4	52.1	210.3	276.0	267.0
	22	235.5	218.6	227.9	252.2	428.0
	25	95.9	211.1	576.0	603.0	425.0
Bentonite분	14	107.1	126.9	133.0	142.6	133.6
	18	87.0	90.0	134.6	254.0	259.7
	22	77.5	89.8	220.0	207.5	361.1
	25	92.9	131.2	474.1	477.9	420.0
토 양	14	23.9	67.2	93.8	96.0	148.0
	18	48.1	45.1	40.0	87.9	117.9
	22	27.6	135.2	44.6	75.8	84.4
	25	24.9	151.3	208.9	194.0	124.0

Table 24. Changes in concentration of TKN with incubation time.

Manure & Soil	Incubation temp.(°C)	Total Kjeldahl nitrogen (%)			
		Incubation Time (week)			
		4	8	10	12
일반분	14	0.36	0.30	0.32	0.32
	18	0.38	0.32	0.31	0.30
	22	0.28	0.28	0.29	0.22
	25	0.32	0.25	0.27	0.24
맥반석분	14	0.33	0.29	0.30	0.26
	18	0.32	0.34	0.31	0.30
	22	0.30	0.30	0.28	0.26
	25	0.36	0.28	0.28	0.27
Zeolite분	14	0.41	0.38	0.33	0.34
	18	0.36	0.37	0.32	0.32
	22	0.33	0.28	0.28	0.25
	25	0.34	0.33	0.31	0.28
Bentonite분	14	0.41	0.32	0.34	0.33
	18	0.32	0.33	0.30	0.28
	22	0.34	0.31	0.30	0.26
	25	0.33	0.35	0.33	0.30
토 양	14	0.25	0.25	0.25	0.24
	18	0.25	0.24	0.23	0.22
	22	0.25	0.25	0.23	0.22
	25	0.25	0.25	0.19	0.18

TKN의 함량은 전체 처리구에서 배양기간이 증가함에 따라서 서서히 감소하는 경향을 보였다. 그러나 점토광물이나 온도에 따른 현저한 차이는 볼 수 없었다(Table 24). 본 실험에서 나타날 수 있는 TKN의 변화는 토양 중 질소의 탈질이나 암모니아 태로의 휘산에 의하여 감소는 것이 주요한 경로이기 때문에 본 실험에서는 탈질이나 휘산의 영향이 크게 나타나지는 않은 것으로 보아야 할 것이다. 한편 TKN의 변화는 토성, 온도, 수분함량, 토양 pH, 토양미생물, CEC등에 영향을 받는 것으로 알려져 있는데(Bartholomew et al, 1965) 현장에서 투여된 축분의 탈질 및 휘산은 장기간에 걸친 시험의 결과 판정할 수 있을 것이기 때문에 옥수수의 생육시험에 사용된 본 시험의 포장에 대한 장기적 모니터링이 필요할 것으로 생각된다.

Incubation test 후의 토양화학성의 변화를 Table 25에 나타내었다. 토양 화학성의 변화 중 두드러진 것은 유효인산의 함량과 치환성 양이온들의 함량의 증가가 현저하다는 것이다. 유효인산과 치환성양이온의 함량의 증가는 작물생육과 연관시켜 볼 때 긍정적인 영향을 미치리라 보여진다. 특히 K의 경우 옥수수의 도복방지에 효과가 있을 것이라 생각된다. 토양 pH의 경우 분뇨를 처리하지 않은 대조토양에 비해서 분뇨를 처리한 토양에서 약간 감소되는 경향을 보였는데 이는 NH_4^+ -N로부터 NO_3^- -N가 생성되는 과정에서 H^+ 이 생성되기 때문이라고 보여진다.

Table 25. Chemical properties of soil after incubation test.

Manure	Incubation Temp.	pH (1:5)	TKN (%)	OM (%)	Av. P (P_2O_5) mg/kg	CEC	Exchangeable cation			
							Ca	Mg	Na	K
							cmol(+)/kg			
일반분	14℃	5.60	0.32	2.62	1193	15.3	2.99	2.16	1.67	1.70
	18℃	5.61	0.30	2.60	1208	15.2	2.84	2.88	2.17	3.38
	22℃	5.22	0.22	2.67	1165	14.9	2.97	2.88	1.96	5.01
	25℃	5.66	0.24	2.47	1001	15.7	3.70	3.46	1.95	2.78
맥반석분	14℃	5.88	0.26	2.88	1232	15.6	3.18	3.58	1.96	1.91
	18℃	5.86	0.30	2.70	1208	14.7	3.68	4.57	2.90	2.42
	22℃	5.37	0.26	2.84	1229	15.1	2.99	2.99	1.94	5.84
	25℃	5.70	0.27	2.79	1245	17.8	3.03	3.50	1.75	4.11
Zeolite분	14℃	5.80	0.34	2.78	984	16.8	3.70	3.42	2.11	2.25
	18℃	5.81	0.32	2.90	1019	15.9	3.49	3.50	1.80	4.68
	22℃	5.37	0.25	2.59	986	16.2	3.83	3.82	1.95	8.23
	25℃	5.35	0.28	2.54	989	17.0	3.90	3.98	1.99	5.51
Bentonite분	14℃	6.09	0.33	2.84	1114	15.7	3.08	3.29	2.21	2.00
	18℃	6.06	0.28	2.88	1053	15.0	3.18	2.50	1.90	5.87
	22℃	5.43	0.26	2.50	1158	16.5	3.25	3.48	1.82	4.08
	25℃	5.79	0.30	2.65	1112	16.4	3.14	3.33	1.80	3.29
토 양	14℃	5.90	0.24	1.68	384	15.6	2.09	3.14	0.43	1.53
	18℃	6.10	0.17	1.93	358	14.8	2.09	3.27	0.65	1.69
	22℃	5.83	0.22	1.98	374	14.7	2.15	2.73	0.60	2.85
	25℃	5.73	0.18	2.21	361	14.7	2.19	3.11	0.71	1.95

3. 옥수수 재배실험 결과

1) 옥수수 생장량 조사

Fig. 17, 18, 19는 각각 광물투여 분을 살포한 포장에서 옥수수를 재배한 후 옥수수의 초장, 생중량, 건중량을 나타낸 것이다.

초장에 있어서는 광물처리분과 분뇨를 처리하지 않은 대조구의 차이가 별로 없었으나 생중량에 대해서는 다소의 차이를 보였는데 맥반석 투여분을 살포한 포장에서 생육한 옥수수가 생중량에 있어서 가장 양호한 것으로 나타났고 일반분 > Zeolite분, 무처리분 > Bentonite분의 순서였다.

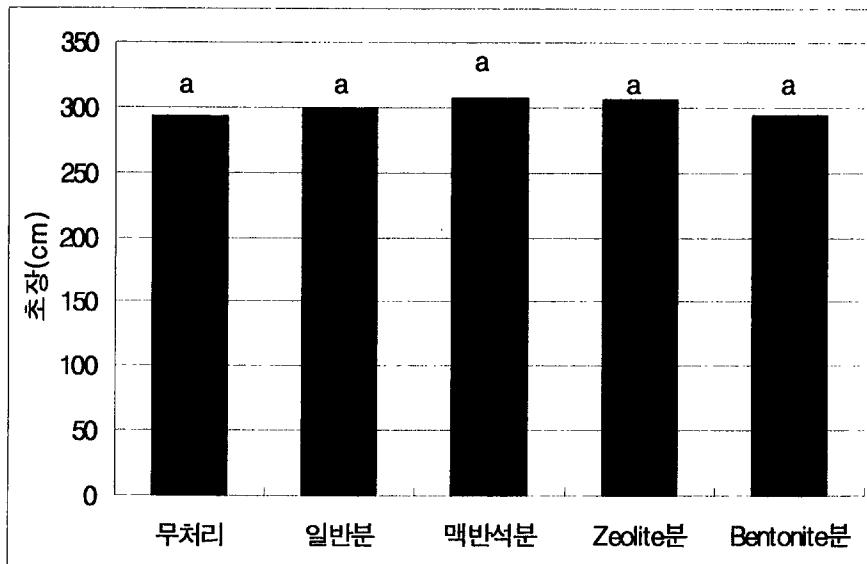


Fig. 17. Height of corn plant with different clay mineral treatment.

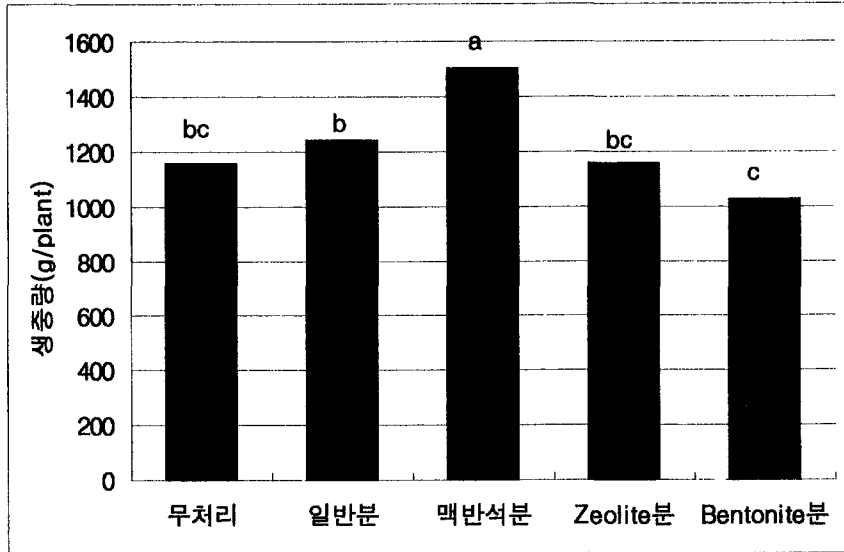


Fig. 18. Fresh weight of corn plant with different clay mineral treatment.

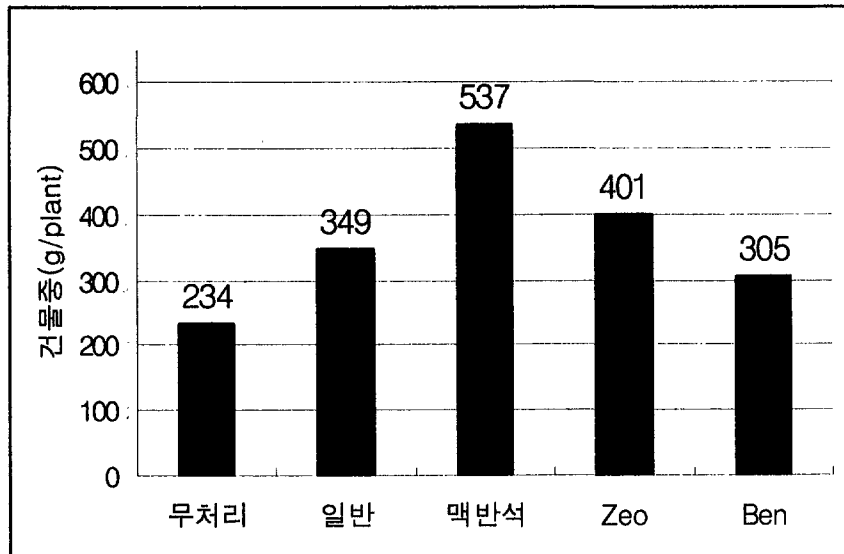


Fig. 19. Dry weight of corn plant with different clay mineral treatment.

Table 26은 옥수수의 이삭수, 엽수, 절간수를 조사한 것이다. 엽수, 절간수는 옥수수의 생육상황을 간접적으로 나타내주는 지표로 볼 수 있는데 초장과 생중량의 결과는 절간수, 엽수 등의 결과가 반영된 것이라 볼 수 있는데 맥반석 투여분을 처리한

포장에서 재배된 옥수수에서 생육이 양호했음을 볼 수 있다.

Table 26. Count of corn ear, leaf and stem nod with different clay mineral treatment.

	무처리	일반분	맥반석분	Zeolite분	Bentonite분
이삭수	1.67 a	1 b	1.61 a	1.56 a	1.28 ab
엽수	11.72 b	11.72 b	13.17 a	13 a	13.56 a
절간수	14.05 b	15.44 a	14.83 ab	14.94 ab	14.83 ab

2) 옥수수내 무기성분함량

옥수수내 무기성분의 함량을 조사한 결과는 Table 27과 같다. 초장과 건물중에 있어 성적이 우수하였던 맥반석처리구와 Zeolite처리구의 옥수수에 있어 N,P,K의 함량의 다른 처리구에 비하여 높은 것으로 평가되었다. 그 이외의 무기성분에 있어서는 전반적으로 처리구간 차이가 현저하지 않은 것으로 나타났는데 이는 본 재배포장이 계속적으로 분뇨를 시용하던 포장이었으며 추비를 한 것에서 비롯되는 결과라 생각된다. N, P, K의 함량은 조재영(1992) 보고한 일반옥수수내 함량 N 0.88, P 0.2, K 1.2와 크게 다르지 않은 범위 내에 존재하고 있었다.

Table 27. Content of mineral substances in corn plant.

		TKN	P ₂ O ₅	Ca	K	Mg	Na
		%	mg/kg				
일반분	잎	1.39	0.22	0.36	1.29	0.16	0.03
	줄기	0.67	0.16	0.08	0.89	0.08	0.02
맥반석분	잎	2.42	0.23	0.44	1.38	0.20	0.04
	줄기	1.15	0.19	0.12	1.88	0.19	0.03
Zeolite분	잎	2.31	0.23	0.42	1.06	0.21	0.04
	줄기	1.15	0.20	0.16	2.27	0.14	0.04
Bentonite분	잎	2.05	0.21	0.33	1.38	0.16	0.03
	줄기	1.38	0.20	0.10	1.32	0.09	0.02
무처리	잎	2.14	0.15	0.50	1.32	0.25	0.04
	줄기	0.99	0.15	0.13	1.44	0.13	0.04

4. 옥수수 재배후 토양의 이화학성의 변화

1) 토양의 화학성

옥수수 재배이후의 토양의 화학성은 Table 28과 같다. 앞에서도 언급하였던 것처럼 분뇨가 연용되었던 포장이었기 때문에 분뇨처리구와 무처리구간, 그리고 처리분뇨간의 토양의 화학성에서 현저한 차이는 보이지 않았다. 다만, 유기물함량과 유효인산의 함량에 있어 다소 차이가 있었는데, 유기물 함량에 있어서는 무처리구가 1.69%인데 비하여 분뇨처리구들의 경우 2.44~2.71의 범위에 있었고 일반분이 가장 높은 것으로 나타났다. 유효인산의 경우 Zeolite 처리구가 777mg/kg으로 가장 높은 것으로 나타났고 Bentonite > 맥반석 > 무처리 > 일반분의 순서였다.

Table 28. Changes in physico-chemical properties of corn plant after manure fertilization.

Manure	pH	TKN	OM	Av. P (P ₂ O ₅)	CEC	Exchangeable cation			
						Ca	Mg	Na	K
	(1:5)	(%)	mg/kg	cmol(+)/kg					
일반분	6.13	0.17	2.71	314	20.9	3.76	1.68	0.13	0.73
맥반석분	6.12	0.18	2.44	358	20.5	3.86	1.49	0.13	0.98
Zeolite분	5.82	0.16	2.69	777	20.6	2.91	1.12	0.10	1.11
Bentonite분	6.04	0.15	2.51	663	19.8	2.95	1.23	0.12	1.12
무처리	5.80	0.16	1.69	386	17.3	3.31	1.56	0.11	0.81

2) 토양의 물리성

토양물리성의 경우 특히 화학성에 비하여 단기간의 토양개량제의 처리에 의해 변화될 수 없는 토양의 특성이라 할 수 있다. 따라서 본 실험에서 얻어지는 토양물리성의 차이는 분뇨의 시용에 의해 비롯되었다기 보다는 포장자체특성의 차이로 해석될 수 있는 가능성이 높은 부분이라 할 수 있다.

실험 포장의 물리적 특성에 대한 결과는 Table 29에 나타내었다. 토성의 경우 미농무성법(조백현 등, 1992)에 의해 분류한 결과 양토(Loam)였으며 입단화도는 56 ~ 69%의 범위였는데, 맥반석을 시용한 토양에서 다소간 입단화도가 높게 나타났다. 소성하한에서의 수분함량은 20.3 ~ 23.2의 범위로 나타났다. 식질계 토양의 경우 소성하

한에서의 수분함량이 30-35%정도가 일반적인 것으로 알려져 있음(조백현 등, 1992)에 비추어 볼 때 본 토양의 토성이 양토임을 감안하면 다소 낮게 평가되었다. 투수계수는 조사토양중 Zeolite분에서 3.29×10^{-5} 로 가장 투수성이 우수한 것으로 나타났지만 전반적으로 토성이 점토의 함량이 50-60%에 이르는 양토로서 대부분 10^{-6} cm/sec의 값을 가지고 있어 식질계토양의 특성을 보이고 있었다.

Table 29. Physical properties of soil after manure fertilization.

Manure	토성	입단화도	가소성	투수성
			(소성하한)	(투수계수)
		(%)		cm/sec
일반분	L	65.5	22.9	4.08×10^{-6}
맥반석분	L	69.5	23.2	6.04×10^{-6}
Zeolite분	L	61.6	22.5	3.29×10^{-5}
Bentonite분	L	56.4	20.3	3.02×10^{-5}
무처리	L	57.5	22.0	2.42×10^{-6}

제 6 장 점토광물의 사료화 및 용도별 경제성 평가

제 1 절 서 설

우리 나라 축산업은 우루과이라운드(UR)협상결과에 따라 커다란 영향을 받게 되었다. 쇠고기 시장의 완전개방과 함께 돼지고기, 닭고기 그리고 유제품 시장이 개방되었으며, 한국정부는 세계무역기구(WTO)가 1995년 1월 출범함과 동시에 시장개방이 행계획서(C/S)에 따라 축산물을 수입하게 되었다. 또한 한국은 1996년 경제개발협력기구(OECD)에 가입하였으며, 경제개발협력기구는 우리 나라의 가입조건으로 경상무역의 거래자유화 규약과 자본이동자유화 규약의 수락을 요구했다. 이러한 가운데 1997년 12월 외환위기로 인한 구제금융을 국제통화기금(IMF)에 신청하는 사태가 발생하였다. 구제금융신청의 직접적 동기는 외화 유동성부족이지만, 그 원인은 1997년 초부터 발생한 대기업의 부도와 금융기관의 부실채권에 기인한다.

이러한 일련의 사건은 축산업에도 큰 영향을 주었다. 즉 수입에 의존하는 배합사료 가격의 인상은 축산농가의 수익성을 크게 약화시켰다. 이는 1998년 초 많은 축산농가를 도산하게 하였으며, 국내 축산업의 국제경쟁력을 약화시키는 원인이 되었다.

그런데 이중에서 배합사료 위주의 사양은 젖소의 경우 경제수명을 단축시킴과 동시에, 젖소의 건강을 저해하여 젖소의 생산력을 약화시킬 수 있다는 것이 이미 많은 문헌을 통해 밝혀져 있는 사실이다. 한편 제한된 지역에서의 집중적인 가축사육은 경제적 측면에서 규모의 경제 또는 범위의 경제효과 등을 거둘 수 있으나 심각한 환경문제를 유발하고 있다.

이러한 환경문제를 분뇨의 배출단계에서부터 감소시킬 수 있는 점토광물의 사료화는 환경친화적인 성격을 가지고 있다. 또한 점토광물질의 사용에 의한 토양개량제로서의 기능은 화학비료의 과다사용에 의한 토지의 산성화로부터 환경친화적인 효과를 크게 증진시킬 수 있다. 따라서 점토광물의 사료화는 이러한 환경친화적 성격과 수입광물질사료의 대체효과와 함께, 더 나아가서 젖소의 경제수명 연장으로 인한 사회·경제적 효과를 기대할 수 있다.

본 연구는 선행연구로서 벤토나이트와 맥반석의 급여가 반추위 내 완충능력과 발효 양상에 미치는 효과 (손용석 외)와 점토광물에서 유래한 축분의 경지 환원시 토양

개량의 효과(이상환외 3인)에서 경제성 분석을 위한 착안점을 마련하고 있다.

이러한 경제성분석을 위해 편익으로는 유우의 체세포수 감소에 따른 유방염 예방과 조기진료효과 그리고 산유량증대를 평가하고, 비용으로는 맥반석의 생산과 이로운반, 포장하는데 드는 제반비용을 측정하도록 한다. 비용과 편익 측정에는 실질적(real)인 것과 금전적(peccuniary)인 것으로 구분한다. 실질적 비용과 편익은 직접적인 것과 간접적인 것 그리고 유형적인 것과 무형적인 것으로 구분하여 평가한다. 또한 점토광물의 비용편익분석을 위해 재무분석(financial analysis)을 실시해 사업의 타당성을 살펴본다.

이를 위해서는 국내산 점토광물의 산지간 조사원가를 위해 품질에 따른 기준가격의 추정이 선행되어야 한다. 그러나 현재 점토광물은 사료첨가물로서의 시판이 일반화 되어 있지 않아 현실적으로 그에 대한 시장가격이 형성되고 있지 않다. 따라서 점토광물 생산에 따른 원가와 이를 유통시키는데 따른 물류비용을 기준가격으로 추정해야 한다. 또한 점토광물을 농가에서 사료첨가물로 급여했을 시, 반추동물의 생산성을 전월 기준으로 유량과 질병 등에 따라 효과를 추정할 때, 그 효과가 사양관리의 개선인지 그에 대한 여부를 식별해 내기가 용이하지 않다. 따라서 이러한 기술상의 문제점은 기존의 실험자료를 기준으로 사용할 수밖에 없다. 또한 환경 친화 및 수입 대체에 대한 분석 역시 자료의 제약성이 크다. 실제로 점토광물에 관한 경제성 평가에 대한 국내에서의 연구는 아직 전무한 상태이며, 이 부분에 관한 일반적인 자료가 미비한 점과 함께 이용자들의 인식도 크게 부족한 상태이다. 향후 이 분야의 연구가 광범위하게 수행될 때 이와 같은 제약점은 해소되리라 판단된다.

제 2 절 사료 이용 현황

1. 사료 수급

우리 나라 사료산업은 1960년대에는 외화부족과 식량부족으로 사료용 곡물의 수입이 어려웠다. 또한 곡물을 사료로 이용한다는 것이 사회적으로 이해되지 못했다. 1959년 유엔군에 군납으로 계란을 안정적으로 공급하기 위한 사료로서 농협이 수수를 수입하여 사용한 것이 최초의 시도이다. 그후 1960년대 중반, 축산업이 농가의 소득증대사업으로 인식되었고, 이를 위해 고효율사료를 생산공급하기에 이르렀다. 이러한 사료원료는 옥수수, 어류, 식물성 박류로 대부분 수입되어 국산원료의 자급도는 크게 낮아졌다. 1996년 이후 곡물 자급도는 25% 이하로 낮아졌으며 간접적인 수입원료를 포함하면 실제로는 10% 미만이다. 이는 우리나라의 곡물 자급도를 크게 낮추는데 기여했다. 한편 경제가 발전함에 따라 축산업이 국민경제에서 차지하는 비중이 감소하게 되었다. 1970년에는 전체경제에서 생산액 기준으로 약 2%를 차지했으나, 1997년 이후에는 0.5% 이하로 감소했다(Table 30).

Table 30 국민경제에서 축산업의 비중

(단위 : 10억 원, %)

연도	국민총생산(A)	농림어업(B)	축산업(C)	C/A	C/B	1인당 국민소득(달러)
70	2,771	738	58	2.1	7.9	252
75	10,129	2,561	149	1.5	6.2	594
80	36,857	5,612	402	1.1	8.3	1,597
85	79,301	10,246	918	1.2	9.0	2,242
90	178,262	15,592	1,324	0.7	8.5	5,883
95	348,979	23,012	2,383	0.7	10.4	10,057
96	386,438	24,438	3,054	0.8	12.4	11,380
97	410,280	24,257	2,390	0.6	9.9	10,307
98	406,979	22,058	1,589	0.4	7.2	6,823

농업의 비중 역시 경제가 발전함에 따라 크게 작아졌다. 축산업이 농업에서 차지하는 비중은 예외적인 연도를 제외하고는 약 8~10%의 수준을 보이고 있다. 이는 생산

액이 가격에 영향을 받기 때문이다. 일인당 국민소득이 증대함과 더불어 축산물에 대한 소비는 크게 증가하였다. 1997년 기준 일인당 육류소비량은 약 29kg으로 쇠고기 8kg, 돼지고기 15kg, 닭고기 6kg이며, 우유 52kg, 달걀 10kg에 달한다 (축협중앙회, 축산물가격 및 수급사료 1998).

이러한 축산물을 공급하기 위해서는 사료가 제공되어야 하는데, 우리나라의 국토면적은 이를 공급할 곡물을 생산하기에는 대단히 협소하여 사료의 대부분을 주로 수입에 의존하고 있다. 사료로 사용되는 곡물이 전체 곡물수요량에 차지하는 비중은 축산물을 적게 소비할 때인 1970년도에 약 7%이었으나, 1996년에는 약 50%에 이르게 되었다. 이는 전체 곡물자급도에 커다란 영향을 주게 되어, 1998년의 자급도는 32%로 크게 낮아지게 되었다(Table 31).

Table 31 곡물 자급도

(단위 : 천톤, %)

연도	양곡수요량(A)	사료용(B)	비중(B/A)	전체곡물자급도	사료외자급도
70	8,825	584	6.6	80.4	86.1
75	9,996	779	7.8	73.0	79.1
80	12,596	2,472	19.6	56.0	69.6
85	14,667	4,746	32.4	48.4	71.6
90	16,282	6,301	38.7	43.1	70.3
95	19,974	9,373	46.9	29.1	55.7
96	20,867	10,372	49.7	26.4	52.4
97	19,814	9,412	47.5	30.4	58.0
98	19,301	8,835	45.8	31.7	58.5

자료 : 농림부

이러한 사료곡물의 자급도 하락은 전체경제에 큰 영향을 주게 되었다. 우선 곡물수입에 따른 외화의 지출과 사료 곡물수입에 기인한 적정한 양의 곡물의 국내 자급도에 문제점을 야기할 수 있다. 그런데 축산물을 생산하기 위한 사료는 크게 조사료와 농후사료로 나눌 수 있다. 농후사료에는 농가 자급사료와 배합사료로 구분된다. 배합사료는 국내산과 수입원료를 사용한다. 이러한 배합사료에 사용되는 원료 구성은 곡류, 강피류, 식물성박류, 동물성단백질 사료, 무기물, 기타로 되어있다. 여기서 무기물

(無機物)이란 패분(貝粉), 골분(骨粉), 인산칼슘, 지오라이트, 폐화석, 탄산칼슘, 식염, 첨가제 등으로 배합사료원료의 4~6%를 차지하고 있다(Table 32).

물론 배합사료는 비육우, 유우, 양돈, 양계, 육계에 따라 그 성분의 배합비를 달리한다. 그리고 거기에 첨가되는 특수사료로서는 광물질 및 비타민 사료, 항생제, 벤토나이트(Bentonite), 산화마그네슘(Magnesium oxide), 버퍼제(buffers), 효모제, 광물질 등을 들 수 있다.

Table32 사료 수급실적

(단위 : 천톤, %)

연도	합계	조사료	농후사료	배합사료 (A)	무기물(B)	배합사료 자급율	무기물 비중(B/A)
70	3,463	2,550	913	508	·	37	·
75	5,021	3,570	1,451	901	·	54	·
80	7,561	3,565	3,996	3,464	·	41	·
85	13,250	5,928	7,322	6,467	·	35	·
90	17,116	5,943	10,529	10,529	460	27	4.4
95	23,302	7,602	15,700	14,856	614	25	4.1
96	21,145	4,318	16,490	15,933	663	24	4.2
97	19,955	3,440	16,515	16,000	651	24	4.1
98	18,068	3,641	15,039	14,259	590	23	4.1

자료 : 농림부, 축협중앙회

2. 점토광물의 특성과 효과

점토광물(clay mineral)은 축산업에서는 가축의 발육촉진, 소화율과 사료효율 개선, 축분의 수분조절과 악취제거와 유질 향상에 활용할 수 있다. 여기서는 많은 종류의 점토광물 중 선행연구(손용석 ; 점토광물급여에 의한 생산성향상)에서 그 효과가 일부 계측된 광물인 벤토나이트(Bentonite), 조라이트(Zeolite), 그리고 맥반석(Porphry)을 중심으로 각각의 특성과 효과를 살펴본다.

벤토나이트는 진흙미네랄로서 반추위에서 5-20배 부풀며 미생물의 성장에 필요한 미네랄을 함유하고 있으며, 팽창성에 기인한 사료의 통과 속도를 지연시킴으로 소화율과 흡수율의 향상에 도움을 준다. 특히 결합성이 우수하여 펠릿사료 제조시 경도를 높이는 효과가 있다.

조라이트 역시 벤토나이트와 마찬가지로 우수한 양이온 치환효과(CEC : Cation Exchange Capacity)로 사료효율개선, 연변방지효과, 흡착성, 장내 독소 제거 효과 등의 완충제 역할을 하고 있다.

맥반석은 주로 국내에서는 수질정화에 사용되고 있으나 젓소에 이를 공급할 경우 체세포를 감소시키는데 도움을 주고 있다.

점토광물 3종 중 조라이트는 이미 배합사료의 펠렛 제조공정에서 결합제(cementing agent)로 사용된다. 또한 점토광물을 사료에 포함시켜 급여했을 경우 분취 발생이 감소하는 것으로 조사되었고, 분에서 수분함량이 급여 이전에 비해 감소하는 것으로 조사되었다. 수분함량은 맥반석의 경우는 일반분과 차이를 나타내지 않았다(손용석, 1998). 분 내에서 건물(DM)함량이 높을수록 농장 내에서의 작업이 용이하며 노동시간을 감소시킬 수 있다.

한편 점토광물을 급여하여 배설된 분을 토양에 사용할 경우 맥반석은 일반퇴비에 비해 높은 알칼리성을 띠고 있으며, 조오라이트나 벤토나이트 역시 일반퇴비와 유사한 알칼리성으로 산성토양의 교정에 효과가 있으리라 추정된다. 유효인산(P2O5)의 함량은 조라이트, 맥반석 사용분이 일반퇴비에 비해 높게 나타났다. 이러한 점토광물을 포장에서 옥수수 재배에 이용했을 때 맥반석이 포함된 분이 일반분에 비해 1.6배정도 건물중량이 향상되었음이 보고되고 있다(이상환 등, 1999).

그런데 이러한 점토광물은 곡물사료와는 달리 국내 부존자원을 주로 이용하고 있다. 곡물사료의 경우 수입사료가 국내 생산보다 가격면에서 높은 경쟁력을 가지고 있기 때문에 식용을 제외한 사료용 및 가공용의 대부분이 수입에 의존하고 있다. 조사료 역시 최근들어 수입하는 것이 국내 생산과 비교하여 우위를 점하고 있어 부피가 크에도 불구하고 점차 수입하는 물량이 증대하고 있다. 반면에 점토광물은 벤토나이트의 경우 일부는 공업용으로 사용하기 위해 수입하고 있으며, 이를 수출하기도 한다. 이러한 벤토나이트의 경우 성분에 따라 즉 수입국에 따라 가격차이가 크게 난다(Table 33). 점토광물의 경우는 일반사료와 달리 광물자원이 갖는 특성으로 인해 완전경쟁시장을 형성하고 있다. 점토광물 역시 단미사료와 같이 시장이 협소하여 수요측에서 독점적 경쟁력을 행사할 수 있다.

Table 33 벤토나이트의 수입동향, 1996

수입국	물량(kg)	금액(달러)	단가(달러)
호주	719,250	110,087	0.15
중국	4,985,140	323,403	0.06
독일	2,700	4,507	1.67
프랑스	35,000	22,750	0.65
일본	44,275	77,933	1.76
터어키	20,000	3,124	0.16
미국	12,113,423	2,957,470	0.24
합계	17,919,788	3,499,274	0.20

자료 ; 관세청, 무역통계연보

제 3 절 점토광물의 사료화에 따른 경제성

1. 낙농가에 주는 효과

우리 나라 우유 생산은 경제개발계획과 함께 계속 증대해왔다. 그리하여 1995년 약 200만톤을 생산할 수 있는 단계에 이르렀다. 젖소사육두수는 1995년 약 55만두에서 점차 감소되고 있는 추세이다. 그러나 두당 산유능력이 증대됨에 따라 젖소사육두수가 일부 감소하더라도 전체 우유 생산량은 일정수준을 유지하고 있다.

이와 같은 우유생산량과 함께 배합사료공급량 역시 급격히 증대하여, 1980년 이후로는 1kg의 우유생산을 위해 1kg이상의 배합사료가 소요되었다(Table 34). 이러한 추세는 배합사료를 위주로 축산을 하는 우리 나라에서 곡물사료의 수입을 더욱 증대시키는 결과를 초래했다.

한편 배합사료공급에 따른 우유생산의 효율을 측정하기 위해서는 젖소 두당 산유량과 배합사료공급량을 전체생산량을 사육두수로 나누어 구했으며, 여기에 단위당 가격을 곱해 두당 1년간 우유수입과 배합사료비용을 계산하였다.

Table 34 우유 생산량과 배합 사료 공급량

(단위 : 두, 톤)

구 분	우 유		낙농배합사료 공 급 량	Kg당 우유가격	Kg당 배합사료가격	호 당 생산량
	사육두수	생 산 량				
1970	23,624 (7.6)	51,888	19,333	55	24	16.6
1980	179,841(10.1)	457,580	513,541	266	163	25.9
1990	503,947(15.1)	1,754,964	178,961	364	167	52.7
1995	553,467(23.5)	1,998,445	2,094,073	402*	199	85.0
1996	551,493(26.1)	2,033,738	2,166,513	423	256	96.2
1997	544,417(31.2)	1,984,024	2,086,602	423	242	113.9
1998	538,913(34.4)	2,012,000	1,832,000	456	263	128.4

*세관수 3급, 3.4%지방율, 체세포 2급기준가격

()는 호당 사육두수

자료 : 농림부

이렇게 계산한 유사비가 1970년 약 16%에서 1998년에는 약 53%로 크게 증가했다 (Table 35). 이러한 유사비는 낙농선진국인 호주, 뉴질랜드, 유럽 그리고 미국에 비해서 아주 높은 수치이다. 이를 낮추는 방법은 두당 우유 생산량을 증대시키거나, 두당 조사료 급여비율을 증가시키는 방법을 피할 수 있을 것이다. 두당 우유 생산량을 증대시키기 위해서는 종의 개량과 사료효율을 증대시켜야 한다. 그런데 점토광물급여에 의한 젖소의 체세포수 감소는 농가에 우유산유량의 증대와 함께 유질 개선효과를 기대할 수 있는 점이다.

Table 35 유우 두당 산유량과 유사비

(단위, kg, 원, %)

연 도	두당 산유량	두당 배합사료공급량	두당 우유수입(A)	두당 배합사료비(B)	배합사료유사비 비중(A/B)
70	2,196	818	120,780	19,632	16.3
80	2,544	2,856	676,704	465,528	68.8
90	3,482	3,551	1,267,448	593,017	46.8
95	3,610	3,784	1,451,220	753,016	51.9
96	3,688	3,928	1,560,024	887,728	56.9
97	3,644	3,833	1,541,412	927,586	60.2
98	3,733	3,399	1,702,248	893,937	52.5

1) 전체, 젖소를 의미함 자료: 농림부

유우 사육농가는 체세포수의 증가요인을 크게 두 가지로 나누는데, 그 중 중요한 요인으로 유방염을 들 수 있다. 이러한 유방염은 전체 경인지역 경산우중에는 약 18%가 유방염에 감염된 것으로 나타나고 있다(Table 36). 그러나 전국을 대상으로 할 때 유방염 감염율은 약 20%로 추정하고 있다. 이와같은 유방염으로 인한 경제적 손실은 유량감소, 유질저하 그리고 치료비, 유방염 치료기간 동안의 폐기우유 그리고 유방염으로 인한 젖소도태로 인한 대체우 경비로 나타난다.

Table 36 규모별 질병 발생 두수, 1998

(단위 : 두수 (%))

규모	목장수	경산우두수	유방염	부제영	번식질환	4위전위	기타*	계
1-10수	166	910	208	53	101	30	105	497
11-20수	901	10,304	1,911	712	1,010	413	761	4,807
21-30수	1,312	23,941	4,195	1,353	2,498	909	1,680	10,635
31-40수	902	22,754	4,231	1,426	2,791	746	1,580	10,774
40수 이상	566	21,028	3,697	1,589	2,461	646	1,309	9,702
합계	3,847	78,937	14,242	5,133	8,861	2,744	5,435	36,415
		(100.0)	(18.0)	(6.5)	(11.2)	(3.5)	(14.9)	(46.1)

기타* : 난산, 유열, 고창증

자료 : 서울우유(1998년말 목장종합실태)

가. 유량감소

체세포수에 따라 우유등급이 결정되고 이에 따라 유대가 결정된다. 특히 체세포수의 결정은 냉각기에서 조사되므로 냉각기의 체세포수에 따른 유량감소는 다음과 같다(Table 37).

Table 37 냉각기 체세포수에 따른 분방감염율과 유량감소

냉각기 체세포수	분방감염율(%)	유량감소(%)
20만	6	0
30만	16	6
100만	32	18
150만	48	29

자료 : 서울우유, 미국동남부지역 기준임

미국의 젖소개량협회(DHI)는 개체별 체세포를 측정하여 우군관리를 하고 있다. 한 마리의 성적이 나쁘면 전체 냉각기의 체세포수를 증가시킬 수 있으므로 이를 치료토록 해야한다.

그런데 체세포의 수는 기하급수적으로 증대하기 때문에 이를 리니아 스코어(Linear Score)로 표시하여 유량감소와 상관관계를 계측한 결과, 미국에서는 체세포점수(SCC)가 현재보다 1증가할 때마다 유량손실이 초산은 1일 0.75파운드, 2산차 이상은 1.5파

운드로 나왔다. 한국에서는 초산에서 0.37kg, 2산차에서 0.68kg, 3산차 이상에서 0.76kg씩 유량이 감소한 것으로 조사되었다(서울우유, 1998, 6. 38쪽). 이를 평균하면 1일 약 0.6kg의 유량손실로 가정할 수 있다. 한편 우리나라 원유등급을 살펴보면 체세포수에 따라 유대를 지급하기 시작한 93년 6월 이후, 유방염으로 판정할 수 있는 체세포수 50만 이상인 우유는 연도에 따라 상이하지만 최근 약 30%를 상회하고 있다 (Table38).

Table 38 국내 원유중 체세포수 등급 분포

(단위 : %)

년도	1급<25만	2급<50만	3급<75만	4급>75만
1993.6	30.0	34.2	17.9	17.9
1993	26.9	32.2	19.1	21.7
1994	26.6	32.8	22.4	18.1
(1)1995. 10. 16	20.0	40.0	25.0	15.0
1995	23.3	33.8	25.2	17.7
1996. 1. 1-6. 30	23.4	30.5	31.4	14.8
(2)1996. 7. 1-97. 2. 28	22.7	44.7	9.8	22.7
(3)1997. 3. 1-12. 31	24.4	46.7	28.9	-
1998. 1-10. 31	17.1	49.7	33.1	-

(1)1급은 20만 미만 2급은 40만미만 3급은 75만 미만

(2)1급은 20만 미만 2급은 50만미만 3급은 60만 미만

(3)1급은 20만 미만 2급은 50만미만 3급은 50만 이상

자료: 수의과학검역원 (낙농우유 : 1999. 7. 73쪽)

그런데 1995년 ‘우유품질논쟁’이나 1996년 정부 식약청의 잘못된 발표 (DOP : 디옥틸 프탈레이트)로 우유 품질에 대한 소비자와 생산자의 관심은 커지기 시작했다. 이러한 일련의 사건이후 체세포수에 대한 기준이 강화되어 1996년 7월 이전에는 체세포수 75만 초과인 경우 등외로 하였으나, 1996년 7월부터 체세포수 20-50만을 기준으로 가격차별을 실시했고 1997년 3월부터는 3급의 기준을 50만 이하로 강화했다 (Table39).

Table 39 원유 등급 체계에 따른 유대

체세포수등급	93. 6 ¹⁾	95. 10. 16 ²⁾	96. 7. 1 ³⁾	97. 3. 1 ⁴⁾	98. 1. 1 ⁵⁾
1급	394	414	453(+30) (<20만)	486(+30) (<20만)	532(+30)
2급	394	414	423 (20~50만)	456 (20~50만)	502
3급	394 (75만 이하)	414 (75만 이하)	412(-11) (50~60만)	426(-60) (>50만)	475(-30)
4급			393(-30) (>60만)		
등외	383(-11)	383(-31)			

1)지방율 3.4% 기준

2)세균수 3급 기준

5) 4)와 동일함

나. 유방염 치료

체세포수가 50만 이하인 소의 경우 특별한 치료를 하지 않으나, 50만 이상인 경우 CMT검사에 의거, 준임상형유방염과 임상형유방염의 경우 항생제 치료를 3~4일간 하고, 이에 따른 휴약기간인 3일 동안 우유를 납유하지 못하므로 폐기처분해야 된다. 또한 유방염에 감염된 젖소는 따로 분리하여 치료해야 하므로 농가에서 추가적인 노동력이 소요된다. 그리고 유방염이 계속될 경우 이를 도태하게 되는데, 미국에서는 젖소 도태중 27%, 한국에서는 13%가 이로 인한 것이다(낙농육우, 1999, 7월호, 98쪽).

다. 첨가제에 의한 기대수익

사료첨가제를 사용하는 목적은 여러 가지가 있으나, 그 중요한 이유로는 유량증가(57%), 유방염예방(56%), 번식질환예방(36%), 기타질병예방(16%), 기타(4%)등을 들 수 있다. 사료첨가제는 목장규모가 클수록, 목장주의 학력이 높을수록, 그리고 젊은 계층일수록 사용빈도가 높다(Table 40). 이처럼 사용하는 사료첨가제는 중도, 비타민 린칼, 미네랄블럭등 다양하다.

Table 40 사료첨가제 이용현황. 1998

(단위 : %)

구 모	이용률	학 력	이용율	연령	이용율
1 규모(1-10두)	46.4	초졸이하	66.1	29세이하	78.0
2 규모(11-20)	61.2	중졸	68.1	30-39세	79.7
3 규모(21-30)	72.5	고졸	74.5	40-49세	73.1
4 규모(31-40)	76.5	대졸이상	74.9	50-59세	64.0
5 규모(41두이상)	81.1			60세이상	57.7
평균	70.9		70.9		70.9
농가수	2,728		2,728		2,728
전체농가	3,847		3,847		3,847

자료 : 서울우유, 1998년 목장종합실태조사.

광물질인 맥반석을 이용한 실험결과 냉각기내 체세포가 A, B, F 목장에서는 첨가 급여시 약 20만 이상 감소되었고, C, D 목장에서는 체세포수가 69만, 66만에서 66만, 60만으로 약 3~6만 정도 감소함을 나타냈다. 이는 체세포수가 50만 이상인 목장을 대상으로 한 것이며, 체세포수가 낮은 목장에서는 최저 2만에서 최대 15만 정도 감소한 것으로 조사되었다.

이와같은 효과가 모든 젖소에 적용될 수 있을까 하는 의문에 대해서 소의 발육상태, 체질 그리고 종류에 따라 다른 결과를 가져올 수 있다. 따라서 여기서는 이를 확률로써 이를 해결하고자 한다.

맥반석급여에 따른 체세포수 감소에 효과를 줄 수 있는 젖소를 전체 착유우 중에서 50%가 있다고 가정할 경우, 개별 착유우의 유질 향상에 따른 수익은 체세포등급 상향에 따른, 즉 3등급에서 2등급 또는 2등급에서 1등급으로 될 때 30원의 가산금을 받게된다. 이를 위해서는 모든 젖소의 체세포수 분포를 알아야 하는데 검정우의 경우는 알 수 있으나, 비검정우의 경우는 알 수 없다. 따라서 냉각기에 따른 체세포에 의거, 지불한 유대를 기준으로 등급을 1등급 20%, 2등급 50%, 3등급 30%로 단순화했다.

이것은 최근 추세상 약간 유질이 향상되고 있음을 의미한다. 그러면 체세포수가 10% 감소할 때 2등급 우유에서 1등급 우유로 될 확률은 2등급 우유 50%중 5%이며, 3등급 우유가 2등급 우유로 될 가능성은 3등급 우유 30%중 3%이다.

결국 전체 우유등급 상승으로 프리미엄 30원을 받을 수 있는 농가는 약 8%에 달한다. 그런데 맥반석으로 효과가 있는 착유우가 50%이므로 추가적인 프리미엄을 받을 수 있는 농가는 4%에 불과하게 된다. 한편 유량에서의 기대 수익은 일상형 유방염과 준임상형 유방염으로 인한 유량 감소량을 약 10% 개선할 수 있는 수준이다. 폐기 우유와 진료비 역시 유방염으로 인한 손실의 10%를 절약할 수 있을 것으로 추정된다.

라. 유방염으로 인한 경제적 손실

유방염은 임상형 유방염과 준임상형 유방염으로 나뉘어 진다.. 경제적 손실을 산정한 기준은 “98년 축산물 생산비 조사보고”의 통계수치를 이용하였다. 임상형 유방염으로 인한 연간 손실액은 445만원, 그리고 준임상형 유방염으로는 약 79만원의 손실을 발생하여 농가의 총손실액은 약 524만원을 기록하고 있다(Table 41).

이를 두당으로 환산하면 착유우당 약 26만원의 손실을 나타낸다. 이것은 젖소 두당 연간 우유판매 조수입 351만원(축산물 생산비 조사보고, 1998)을 기준으로 할 때 약 7.4%의 손실을 의미한다. 이를 방지할 때 얻을 수 있는 이익은 두당 26만원을 의미하며, 이것은 우유 1kg당 유대를 약 43원 가량 상승시키는 효과에 해당한다. 이는 실제로 착유 위생 관리로 96년 경기도 지역의 유대가 충청도 지역에 비해 평균 25원 높았고 (주의석, 1997) 이를 유량까지 생각하면 43원의 플러스 효과가 있을 수 있다. 이를 우리나라 전체 낙농가에 적용시키면 연간 약 821억원의 이익을 의미한다. 이는 98년 낙농가의 유대 판매 총수익 1조 1천억원의 7.4%에 해당된다.

Table 41 유방염으로 인한 연간 농가 손실

구 분	산 출 근 거	금 액
임상형유방염		
① 유량감소	$6100\text{kg}(\text{년간산유량}) \times 0.06(\text{유량감소량 } 6\%) \times 1.41(\text{발생두수}) \times 575\text{원}(\text{유대})$	296735(5.7)
② 폐기우유	$20\text{kg}(\text{일일우유량}) \times 7\text{일}(\text{투약+휴약기간}) \times 1.41(\text{발생두수}) \times 575\text{원}(\text{유대}) \times 12\text{월}$	1362060(26.0)
③ 수의사진료 및 약품비	$5\text{만원}(\text{두당치료비}) \times 1.41\text{두}(\text{발생두수}) \times 12\text{월}$	846000(16.1)
④ 대체우경비	$0.13(\text{도태율}13\%) \times 1.41\text{두}(\text{발생두수}) \times 70000\text{원}(\text{도태우-구입우}) \times 12\text{월}$	1539720(29.4)
⑤ 노동시간증가	$0.4\text{시간}(\text{치료+착유}) \times 1.41\text{두}(\text{발생두수}) \times 60000\text{원}(\text{일당노임}) \times 12\text{개월}$	406080(7.8)
준임상형유방염		
⑥ 유량감소	$20\text{두}(\text{평균착유우}) \times 0.2(\text{유방염감염율}) \times 0.03(\text{평균우유감소량}3\%) \times 6100\text{kg}(\text{년간산유량}) \times 575\text{원}(\text{유대})$	420900(8.0)
⑦ 체세포페널티	$20\text{두}(\text{평균착유우}) \times 6100\text{kg}(\text{년간산유량}) \times 0.1(\text{페널티발생율 } 10\%) \times 30\text{원}(\text{페널티})$	366000(7.0)
합계	임상형 4450595 준임상형 786900	5237495(100.0)

주 : 착유우 20두 기준, 305일 착유기준.

2. 국민 경제에 끼치는 영향

점토광물의 사료화는 낙농가의 경우 체세포수 감소에 따른 유대수입과 그에 따른 제반비용을 절감할 수 있다. 또한 맥반석, 조라이트, 벤토나이트의 경우 첨가제로서 기존에 사용하고 있는 중조와 산화마그네슘의 일부를 대체하여 사용할 수 있으므로 추가적인 비용이 발생되지 않는다. 가격면에도 중조나 산화마그네슘과 비교할 때 유사한 수준이다. 중조의 경우 현재 1kg당 220원, 그리고 산화마그네슘이 320원이며 점토광물의 현재가격도 이와 비슷하다. 그러나 점토광물이나 첨가제의 경우 일반사료와는 달리 불완전 경쟁시장이므로 현재의 가격에서 어느 정도의 절감할 수 있는 여지가 있다.

전체 국민경제에서 볼 때 점토광물의 사용으로 위생적인 우유가 생산되고 생산량이 증대되면 긍정적인 효과가 될 수 있다. 반면에 이를 생산하는데 따른 비용은 경제적 후생의 손실을 의미한다. 예를 들어 광물질이므로 이를 생산하기 위해 산을 훼손해야하며, 이를 다시 복구하는데 드는 비용과 이를 분쇄하는데 드는 비용등 사회적 비용이 발생하는 것이다. 한편 점토광물을 이용한 토양개량효과를 일부 볼 수 있으나 이는 현재 우리나라에서 생산되는 축분이 전체경지면적에 사용할 수 있는 양보다 훨씬 많아 환경오염을 일으키고 있는 상황에서 어떤 특별한 경제적 의미를 부여받지는 못한다.

3. 점토광물의 사료화에 따른 손익분석

가. 점토광물 생산비용

점토광물을 생산하는 데는 일정지역에 대한 광업권 또는 소유권을 가지고 있어야 한다. 이후 일정지역에서 광물질에 대한 경제성이 있음을 판단한 소유주는 이를 채굴할 수 있다. 여기서는 점토광물을 채굴하기 시작한 때부터를 비용계산 시점으로 하고 있다. 우선 채굴장비는 구입하여 사용할 수도 있고 임대하여 채굴할 수도 있는데, 소규모 생산이므로 임대하여 생산하는 A업체를 기준으로 산정하였다. 하루 20톤의 점토광물을 생산하기 위해서는 덤프트럭 1대, 굴착용포크레인 1대, 작업인력 5인, 현장소장 1인이 필요하다.

그리고 이를 생산한 다음 사료로 사용하기 위해서는 분쇄를 하는데 톤당 약 13만원의 비용이 소요되며 생산한 다음 1포대 당 포대포장비 300원, 그리고 1톤용 파레트비 6000원이 소요되고 서울근교까지 운반하는데 10톤당 45만원이 소요된다. 물론 1톤단위로 대한통운을 이용한 택배를 할 경우는 5만원이 든다.

점토광물 25kg짜리 1포를 생산하기 위한 변동비로는 장비 임대비와 인건비로 약 1,500원이 소요되며, 이를 포장하는데 약 450원, 그리고 운반하는데 125원이 든다. 결국 변동비로 25kg 1포당 3,075원의 변동비가 소요되며, 기타관리비와 고정비 그리고 산림훼손복구비까지 포함할 때 6,250원이 소요되는 셈이다. 이는 kg당으로 환산하면 약 250원이 소요된다. 여기에서 위의 가정은 생산량에 따라 달라질 수 있다. 일반적으로 변동비는 생산량의 규모에 따라 변하지 않으나, 광물의 경우 일반 공산품과는 달리 생산량이 일정하지 않기 때문에 생산위치와 지반의 구성에 따라 생산량이 변할 수 있다. 한편 인건비와 차량임대비는 생산량에 관계없이 지불되어야 하는 비용이므로 여기서는 변동비로 계상하였다.

나. 점토광물의 사료화에 따른 수익

점토광물의 사료화에 따른 수익은 기존의 첨가제를 대체할 때 나타나는 효과와 유사하다. 단지 추가적으로 체세포수의 감소와 대체재로서 사용함에 따라 유방염 감소에 따른 경제적 효과로 앞에서 계산한 것과 같이 우유 1kg당 약 22원에서 43원까지의 이익을 낼 수 있다.

다. 손익분석

기업의 비용수익분석은 다음과 같은 가정하에 단순화시킨 것이다. 총비용을 고정비와 변동비로 분류하고, 변동비는 생산수준의 변동에 비례하여 증감하며 고정비는 현재의 생산규모 아래에서 일정하다. 총수익은 판매수량에 판매가격을 곱하여 산출되고 판매가격은 일정기간동안 일정하다. 매출액에서 변동비를 공제한 잔액이 고정비를 회수하는데 충분한가를 파악하고, 이 잔액으로 고정비를 회수하고도 남으면 이익이다. 손익분기점을 구하는 공식은 다음과 같다.

FC

$$BEPq = \frac{FC}{P-V} \quad (1)$$

P-V

BEPq : 손익분기점 생산량

FC : 고정비

P : 판매가격

V : 단위당 변동비

위의 손익분기점의 변동에 영향을 주는 요인으로는 ①제품의 가격이 변동하는 경우 ②단위당 변동비가 증감하는 경우 ③고정비의 증감이 이루어지는 경우가 있다. 여기서는 유방염을 예방함에 따라 우유가격이 프리미엄을 받던가, 또는 패널티를 지불하지 않는 경우를 가정하여 제품가격이 상승할 때를 가정했다. 점토광물을 첨가제로 할 경우 사료가격에는 큰 영향을 주지 않거나 변동폭이 1%미만이기 때문에 이를 변동비의 증감요인으로 보지 않았다. 또한 토지에 영향을 줌에 따라 고정비의 증감에 주는 영향을 무시해도 될 정도이므로 여기서 고정비의 증감에는 변화가 없는 것으로 가정했다.

FC

$$BEP(Q) = \frac{FC}{P(1+r)-V} \quad (2)$$

P(1+r)-V

r = r% 가격인상

여기서 판매가격이 상승하면 그만큼 손익분기점이 낮아지고 안전한계율은 그만큼 높아지므로 목장경영의 안전도가 양호해진다. IMF 때는 변동비가 커짐으로 손익분기점이 높아지고 목장경영의 안전도는 악화되어질 수 있다. 손익분석을 위해 손익분기점의 산출은 이익이 0이 되는 생산량 수준을 결정하였지만, 이익계획을 위해서는 일정한 목표이익(target profit)를 달성하기 위한 조업도를 예정할 필요가 있다. 농업에서는 기회비용의 개념으로 자본이자를 정기예금이자로 계상하여 손익분기점을 계상했다. 이를 산출하는 공식은 아래와 같다.

$$BEP(R) = \frac{FC + R}{P - V} \quad (3)$$

이를 계상하기 위해 3개년도 축산물 생산비 조사보고를 이용하였다(Table 42). 이 자료를 이용하여 손익분기점을 구함에 있어 유우 조수입 중에서 우유판매수입만을 계산하기 위해서는 손익분기점에서 우유판매수입 비율만을 곱하여 계산하였다. 우유 판매수입비율은 1998년이 제일 높은 0.9676으로 이는 당시 소값 하락이 큰 원인이 되었다. 이를 근거하여 계산한 손익분기물량은 1996년은 6,819kg, 1997년은 7,640kg, 1998은 4,568kg으로 나타났다. 한편 점토광물을 이용하여 유질향상에 따른 가격상승 효과가 5% 있을지를 가정할 때의 손익분기량은 식(2)를 이용하여 계상할 수 있다.

Table 42 우유 생산비

(단위 : 원)

구 분	1996	1997	1998	평균
변동비(kg당)	260	297	310	289
두당유대(kg당)	475	494	575	515
생산량(kg)	5898	5927	6099	5975
표준편차	152	170	316	213
두당고정비	1648035	1636221	1256265	1513507
우유판매수입비중	0.8896	0.9252	0.9676	0.9275

자료: 축협 중앙회, 축산물 생산비 조사보고

그 결과 손익분기량은 1996년 6,140kg, 1997년 6,824kg, 그리고 1998년은 4,070kg으로 낮아진다. 이러한 결과는 점토광물의 이용에 따른 효과로 측정될 수 있다. 그러나 점토광물을 일정량 대체제로 사용할 수 있는 양은 전체 사료량의 2% 내외이며, 가격 효과 역시 10% 이내에서 절감하거나 상승시킬 수 있기 때문에 변동비에는 큰 영향을 주지 않는다. 이것은 점토광물 이용량의 한계를 의미한다.

라. 불확실성하의 손익분석

지금까지 분석한 손익분석은 미래 사료의 판매량, 단위당 판매가격, 단위당 변동비,

고정비 등을 확실하게 예측할 수 있다고 가정하여 이루어진 것이다. 그리고 과거의 낙농경영환경 하에서 측정된 단위당 판매가격과, 변동비, 고정비 등이 미래에도 그대로 유지될 것으로 가정하고 분석하였다. 그러나 실제로는 미래의 불확실한 경제환경과 시장상황에 따라 비용과 판매가격 그리고 매출액이 크게 변화될 수 있다.

따라서 미래 이익계획을 수립하고 목표이익을 달성할 가능성에 대한 분석자료를 얻기 위해서는 미래의 판매량과 단위당 판매가격, 변동비, 고정비 등의 예측치를 구하여 적용해야 한다. 미래의 불확실성을 가정하여 분석상 고려되는 변수에 확률을 부여한 기대치를 이용하여 손익분석을 하는 것을 불확실성하의 손익분석(cost benefit analysis under uncertainty)라 한다. 여기서 고려되는 변수인 미래의 판매량, 단위당 판매가격, 단위당 변동비, 고정비 등에 확률을 부여하고 기대손익분기점 또는 기대이익을 계산할 수 있다. 통계적 분석방법으로 고려되는 변수가 불확실한 상황에서 정규확률분포(normal probability distribution)를 보인다는 가정하에 손익분석을 시도한다. 모든 변수가 불확실성하의 확률변수이지만 불확실성이 가장 큰 생산량(판매량)만을 확률변수(random variables)로 보고 분석하는 방법과 모든 변수를 확률변수로 보고 분석하는 방법이 있다. 여기서는 우선 판매량만을 확률변수로 보고 분석을 한다.

우선 우유생산을 하는데 있어 kg당 유대와 변동비, 고정비는 확실한 것으로 주어지고 생산량만이 정규분포를 이루는 확률변수일 경우 목표이익의 기대치($E(\pi)$)와 표준편차 ($\sigma(\pi)$)는 다음과 같이 표시된다.

$$\pi = q \cdot (P-V) - FC \text{ - - - - - (4)}$$

$$E(\pi) = E(q) \cdot (P-V) - FC \text{ - - - - - (5)}$$

$$\sigma(\pi) = \sigma(q) \cdot (P-V) \text{ - - - - - (6)}$$

$E(\pi)$: 이익 π 의 표준편차

$E(q)$: 판매량의 기대치

$\sigma(q)$: 판매량의 표준편차

P : kg당 판매가격

V : kg당 변동비

FC : 고정비

여기서 판매량의 평균과 표준편차의 모수를 추정할 수 있고 이들이 정규분포를 이루면 $[q \sim N(\mu, \sigma)]$ 로 나타낼 수 있다. 그러므로 $q \sim N(\mu, \sigma)$ 는 $\pi \sim N[(p-v)\mu - FC, \sigma]$

로 표시할 수 있다. 정규분포의 특성에 따라 실제 판매량(q)이 특정판매량(q*)이하일 확률은 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$P(q \leq q^*) = P\left(\frac{q - \mu}{\sigma} \leq \frac{q^* - \mu}{\sigma}\right) = P\left(Z \leq \frac{q^* - \mu}{\sigma}\right) \dots \dots \dots (7)$$

위 식에서 $\frac{q - \mu}{\sigma}$ 값은 표준정규분포(standard normal distribution)에서의 Z값을 의미한다. 정규분포를 평균 $\mu=0$, 표준편차 $\sigma=1$ 이 되도록 표준화한 표준정규분포에 따른 Z값을 계산한다면, 이로부터 판매량이 손익분기점에 달성할 확률이나 목표이익을 달성할 확률을 구할 수 있다. 여기서는 앞에 예시한 우유생산비 자료를 이용하여 1999년 낙농가의 손익분기점에 도달할 확률과 이익이 20만원 이상인 확률을 계상해 보고자 한다. 우선 1999년 우유 두당 판매량을 6100kg으로 예상하고 있으나 젖소의 능력에 따라 이보다 증가할 것으로 여겨진다. 기대생산판매량의 표준편차는 316kg으로 추정하고 판매량의 분포는 정규분포를 이룬다고 가정한다.

$$\text{기대이익 } E(\pi) = 6100 \times (575 - 310) - 151350 = 102,993$$

$$\text{기대이익의 표준편차 } \sigma(\pi) = 316 \times (575 - 310) = 83,740$$

따라서 이익의 확률분포는 $\pi \sim N(102,993, 83,740)$ 이다.

$$P(\pi \geq 0) = P\left(Z \geq \frac{0 - 102,993}{83,740}\right) = P(Z \geq -1.23) = 89.07\%$$

따라서 1999년에 낙농가가 손익분기점에 도달할 확률은 89.07%이다. 그리고 이익이 20만원 이상될 확률은

$$P(\pi > 1000000) = P\left(Z > \frac{200,000 - 102,993}{83,740}\right) = P(Z > 1.16) = 12.3\% \text{이다}$$

제 4 절 결 론

점토광물의 사료화 및 경제성 평가를 위해 우선 우리 나라의 사료수급의 현황과 문제점을 살펴보았다. 국민소득이 증대됨에 따라 축산물의 소비가 증가하였고 이에 따라 곡물수입이 증대하여 전체 곡물자급도는 30%수준으로 낮아졌다. 배합사료에 사용하는 여러 가지 원료 중 무기물(minerals)은 4% 내외이며 이중 첨가제로서 광물질이 차지하는 비중은 배합사료 원료의 1-2%에 불과하다. 물론 이러한 배합비율 역시 사료용도에 따라 다르다. 점토광물은 일부 수입되고 있으나 사료용으로 현재 사용되지 않고 있으며 일부가 공업용으로 사용된다.

단미사료 시장은 특히 협소하여 완전경쟁이 아닌 불완전경쟁시장의 특성을 지녔기에 가격에서 보다 폭넓은 변화의 요인이 생산량의 변동에 따라 발생할 수 있다. 한편 이러한 점토광물을 젖소에게 공급했을 시에 체세포수 감소에 의한 유량증대와 유질개선 효과를 가격으로 환산하면 kg당 약 22-43원의 증가를 보이고 있다. 이는 착유우 두당 약 26만원의 조수의 증대를 기대할 수 있으며, 낙농가 호당 약 524만원의 조수입 증대를 꾀할 수 있는 것이다. 이는 두당 우유판매수입 351만원의 7.4%이며 낙농가의 조수입인 우유판매 및 부산물 판매수입액 363만원의 7.2%를 의미한다. 따라서 전체농가의 수입이 약 821억원 증대될 수 있는 것으로 계상되며, 이는 1998년 우유판매수입 1조1천억의 7.4%에 해당된다.

국내산 점토광물 맥반석, 조라이트, 벤토나이트는 생산과정과 생산량에 따라 가격에 차이가 있으나, kg당 250원을 기준으로 할 때 중조나 산화마그네슘의 가격과 유사한 수준이다. 점토광물의 크기와 순도에 따라 그 가격에서 큰 차이를 보이고 있으나 사료용으로 사용할 수 있는 정도의 크기와 순도가격은 그리 높지 않은 편이다.

점토광물을 사료화로 할 경우와 점토광물을 이용하지 않을 경우 농가에서의 손익분기점에는 일정한 규모의 차이를 보이고 있다. 연도에 따라 다르나 1998년을 기준으로 볼 때 손익분기량이 4,568kg에서 4,070kg으로 낮아졌다. 이는 판매가에서 약 5%의 차이를 보여주고 있지만 목장의 안전 한계율(margin of safety ratio : M/S비율, 1-손익분기점율)이 12.2% 초과하게 되어 목장의 안정성이 높아지게 되었다. 한편 모든 다른 변수 유대와 고정비, 변동비가 일정하다고 가정하고 생산량이 변화한다는 가정에 기대이익을 얻을 확률 즉 손익분기점에 도달할 확률은 89.07%이었다. 그리고 두당

수익이 20만원 이상일 확률은 12.3%이었다. 이외의 토지개량효과는 실질적이지만 이를 금전적으로 평가하는 데에는 많은 어려움이 내포되어 있었다. 토지개량 효과가 크게 나타나지 않았으며 이러한 간접적인 효과를 계량화하는 데에는 아직까지는 어려움이 많다. 더구나 현재 정부에서 밭에는 석회질 토지개량제를 그리고 논에는 규산질 토지개량제를 4년에 한 번씩 무상으로 농가에 공급하기 때문에 토지개량 효과를 농가 단위에서 수익으로 계상하는 데에는 많은 어려움이 있었다. 이를 개인이 구입할 때에는 25kg 1포에 1,500원으로 현재의 점토광물가격과 비교할 때 점토광물이 가격면에서 경쟁력을 잃게 된다. 또한 점토광물을 첨가한 사료를 사용했을 때 현장 실험 결과 축사의 악취제거 효과가 일부 나타났는데 이를 계량화하기에는 어려웠던 관계로 경제성 평가에 반영하지 못하였다. 차후의 연구에서는 이러한 점이 보완되어야 한다.

참고문헌(총괄)

1. Abdullah N., H. Hanita, Y.W. Ho, H. Kudo, S. Jalaludin and M. Ivan. 1995. The effects of bentonite on rumen protozoal population and rumen fluid characteristics of sheep fed palm kernel cake. *AJAS* 8(3):249-254
2. Abe M., H. Shibui, T. Iriki, and F. Kumeno 1973. Relation between diet and protozoal population in the rumen. *Br. J. Nutr.* 29:197-202
3. Abou Akkada A.R., E.E. Bartley, and L.R. Fina 1968. Ciliate protozoa in the rumen of the lactating cow. *J. Dairy. Sci.* 52(7):1088-1091
4. Ankrah P., S.C. Loerch, K.A. Kampman and B.A. Dehority 1990. Effect of defaunation on in situ dry matter and nitrogen disappearance in steers and growth of lambs. *J. Anim. Sci.* 68:3330-3336
5. Arambel M. J., R. D. Wiedmeier, D. H. Clark, R. C. Lamb, R. L. Boman, and J. L. Walters. 1988. Effect of sodium bicarbonate and magnesium oxide in an alfalfa-based total mixed ration fed to early lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 71:159.
6. Arnold, V., Nutzen-kosten Analyse II : Anwendung In : Hdww Bd.5. Goettingen. 1980
7. Aslam M., W.B. Tucker, J.F. Hogue, R.K. Vernon, and G.D. Adams 1991. Controlled ruminal infusion of sodium bicarbonate. 2. Effects of dietary and infused buffer on ruminal milieu. *J. Dairy. Sci.* 74:3496-3504
8. Bartholomew. W. V. 1965. Mineralization and immobilization of nitrogen in the composition of plant and animal residues. In *Soil Nitrogen*(W.V. Bartholomew, and F.E. Clark) pp285~ 306. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
9. Beauchemin, K.A. and J.G. Buchanan-smith 1989. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and supplementary long hay on chewing activities and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:2288-2300
10. Bird S.H., R.A. Leng 1978. The effects of defaunation of the rumen on the growth of cattle on low-protein high-energy diets. *Br. J. Nutr.*40:163-167
11. Bringe, A. N. and L. H. Schultz. 1969. Effect of roughage type or added bentonite in maintaing fat test. *J. Dairy Sci.*, 52:465.
12. Britton R.A., D.P. Colling and T.J. Klopfenstein 1978. Effect of complexing sodium bentonite with soybean meal or urea in vitro ruminal ammonia release and nitrogen utilization in ruminants. *J. Anim. Sci.* 46(6):1738-1747

13. Burkitt, W.H. 1972. Low fat milk. The bentonite. Montana Farmer-Stockman
14. Coleman G.S. Judith I. Laurie and Janet E. Bailey 1977. The cultivation of the rumen ciliate entodinium bursa in the presece of entodinium caudatum. J. Gen. Micro 101:253-258
15. Coppock C.E., G.T. Schelling, F.M. Byers, J.W. West, J.M. Labore, and C.E. Gates 1986. A naturally occurring mineral as a buffer in the diet of lactating dairy cows. J. Dairy. Sci. 69:111-123
16. Counotte G.H.M., A. Lankhorst and R. A. Prins. 1983. Role of DL-lactic acid as an intermediate in rumen metabolism of dairy cows. J. Anim. Sci., 56:(5)1222.
17. Counotte G.H.M., A.Th. vant Klooster, J. van der Kuilen and R.A. Prins 1979. An analysis of the buffer system in the rumen of dairy cattle. J. Anim. Sci. 49(6):1536-1544
18. Dairy Journal. 1994. No. 7. 체세포수 감소에 미치는 맥반석의 영향.
19. Dehority B.A. 1984. Evaluation of subsampling and fixation procedures used for counting rumen protozoa. Appl. Environ. Microbiol 48(1):182-185
20. Dehority B.A. 1985. Classification and morphology of rumen protozoa. Ohio agricultural research and development center, OSU.
21. Dehority B.A., and D.B. Purser. Factors affecting the establishment and numbers of holotrich protozoa in the ovine rumen. Michigan Agricultural experiment station Journal Article No. 4733.
22. Dehority B.A., and Wilson R. S. Mattos 1978. Diurnal changes and effect of ration on concentrations of the rumen ciliate charon ventriculi Appl. Environ. Microbiol. 36(6):953-958
23. Dehority B.A., Anthony P. Grifo, Jr., Patricia A. Tirabasso, and francis L. Fluharty 1992. Relationship between rumen bacterial concentrations and total numbers. J. Dairy Sci. 75:3452-3454
24. Dijkstra Jan 1994. Simulation of the dynamics of protozoa in the rumen. Br. J. Nutr. 72:679-699
25. Erdman, R. A., R. W Hemken and L. S. Bull. 1982. Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for dairy postpartum lactating dairy cow : Effects on production, acid-base metabolism and digestion. J. Dairy Sci., 65:712-731.
26. Erdman, R.A. 1988. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: a review. J.Dairy Sci. 71:3246
27. Ffoulkes D., and R.A. Leng 1988. Dynamics of protozoa in the rumen of cattle.

- Br. J. Nutr. 59:429-436
28. Forsberg Cecil. W., Lance K.A. Lovelock, Lee Krumholz, and Jock G. Buchanan-smith 1984. Protease activities of rumen protozoa. *Appl. Environ. Microbiol.* 47(1):101-110
 29. Forsberg. C.W., B.Crosby and D.Y. Thomas 1986. Potential for manipulation of the rumen fermentation through the use of recombinant DNA techniques. *J. Anim. Sci.* 63:310-325
 30. Galyean M.L. and R.C. Chabot 1981. Effect of sodium bentonite, buffer salts, cement kiln dust and clinoptilolite on rumen characteristics of beef steers fed a high roughage diet. *J. Anim.Sci.* 52(5):1197-1204
 31. Ghorbani, G.R., J.A. Jackson, and R.W. Hemken 1989. Effect of sodium bicarbonate and sodium sesquicarbonate on animal performance, ruminal metabolism, and systemic acid-base status. *J. Dairy. Sci.* 72:2039-2045
 32. Gittinger, J. P., *Economic Analysis of Agricultural Projects.* John Hopkins Uni. Press.1984
 33. Godfried D. Vogels, Wilfried F. Hoppe, and Claudius K. Stumm. 1980. Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. *Applied and environmental microbiology* 40(3):608-612
 34. Ha, J. K. 1989. Mode of action and supplemental effects of buffers in ruminats. *Korean J. Amin. Nutr. Feedstuffs.* 13 : 208.
 35. Ha, J.K., R.J. Emerick and B. Embry. 1983. In vitro effect of pH variations on rumen fermentation and in vivo effects of buffers in lambs before and after adaptation to high concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 56(3):698-706
 36. Harrison J.H., R.E. Riley, and K.A. Loney 1989. Effect of type and amount of buffer addition to grass silage-based total mixed rations on milk production and composition *J. Dairy. Sci.* 72:1824-1830
 37. Harrison, D. G., D. E. Beaver, D. J. Thomson, and D. F. Osbourn. 1975. Manipulation of rumen fermentation in sheep by increasing rate of flow of water from the rumen. *J. Agric. Sci.,* 85:93.
 38. Hesse. H., *Nutzen-kosten Analyse I : Theorie,* In : Hdww Bd. 5. Goettingen. 1980.
 39. Hogue J.F., W.B. Tucker, M.T. Van Koevering, R.K. Vernon, and G.D. Adams 1991. Controlled ruminal infusion of sodium bicarbonate. 1. Influence of postfeeding infusion interval on ruminal milieu. *J. Dairy Sci.* 74:1675-1683
 40. Horn G.W., J.L. Gordon, E.C. Prigge and F.N. Owens 1979. Dietary buffers and ruminal and blood parameters of subclinical latic acidosis in steers. *J.*

Anim. Sci. 48(3):683-691

41. Hsu J.T., G.C. Fahey Jr., N.R. Merchen and R.I. Mackie 1991. Effect of defaunation and various nitrogen supplementation regimens on microbial numbers and activity in the rumen of sheep. *J. Anim. Sci.* 69:1279-1289
42. Ivan M., M de S. Dayrell, S. Mahadevan, and M. Hidioglou, 1992. Effect of bentonite on wool growth and nitrogen metabolism in fauna-free and faunated sheep. *J. Anim. Sci.* 70:3194-3202
43. Ivan, M., M de S. Dayrell, and M. Hidioglou, 1992. Effect of bentonite and monensin on selected elements in the stomach and liver of fauna-free and faunated sheep. *J. Dairy Sci.* 75:201-208
44. Jacques K.A., D.E. Axe, T.R. Haris, D.L. Harmon, K.K. Bolsen, and D.E. Johnson 1986. Effect of sodium bicarbonate and sodium bentonite on digestion solid and liquid flow and ruminal fermentation characteristics of forage sorghum silage-based diets fed to steers. *J. Anim. Sci.* 63:923-932
45. James Linda G., and James E. Wohlt 1985. Effect of supplementing Equi-valent cation amounts from NaCl, MgO, NaHCO₃ and CaCO₃ on nutrient utilization and acid-base status of growing dorset lambs fed high concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 60(1):307-315
46. Jasaitis D.K., J.E. Wohlt, and J.L. Evans 1987. Influence of feed ion content on buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. *J. Anim. Sci.* 70:1391-1403
47. Johnson M.A., T.F. Sweeney, and L.D. Muller 1988. Effects of feeding synthetic zeolite A and sodium bicarbonate on milk production nutrient digestion, and rate of digesta passage in dairy cows. *J. Dairy. Sci.* 71:946-953
48. Jouany Jean pierre 1996. Effect of rumen protozoa on nitrogen utilization by ruminants. *American Institute of Nutrition* 1335s-1346s
49. Jouany. J.P., C. Martin. 1997. Effect of protozoa in plant cell wall and starch digestion in the rumen. *Japan scientific societies press, tokyo* 11-24.
50. Kimble, J. M., R. J. Bartlett, J. L. McIntosh, and K. E. Vanney. 1973. Fate of nitrate from manure and inorganic nitrogen in a clay soil cropped to continuous corn. *J. Environ. Qual.* 1: 413-415
51. Kirk, R.E. 1956. *Encyclopedia of chemical technology. The international Encyclopedia.* INC. New York. 12:295~8.
52. Krogh N. 1961. Studies on alterations in the rumen fluid of sheep, especially concerning the microbial composition, when readily available carbohydrates are added to the food. III. Starch. *Acta Vet. Scand.* 2:103.
53. Le Ruyet, P., W. B. Tucker, J. F. Hogue, M. Aslam, M. Lema, I. S.

- Shin, T. P. Miller, and G. D. Adams. Influence of dietary fiber and buffer value index on the ruminal milieu of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 75:2394.
54. Leng R.A. 1982. Dynamics of protozoa in the rumen of sheep. *Br. J. Nutr.* 48:399-415
 55. Leng R.A., D.Dellow, and G. Waghorn 1986. Dynamics of large ciliate protozoa in the rumen of cattle fed on diets of freshly cut grass. *Br. J. Nutr.*56:455-462
 56. Little, I. M. D., Mirrles, J. A., Project appraisal and planning for developing countries. London. 1982
 57. Lofgren, P. A., and R. G. Warner. 1970. Influence of various fiber sources and fractions on milk fat percentage. *J. Anim Sci.*, 53:296.
 58. Margaret J. Eadie and J.C. Gill 1971. The effect of the absence of rumen ciliate protozoa on growing lambs fed on a roughage-concentrate diet. *Br. J. Nutr.* 26:155-167
 59. Martin L. C., A. J. Clifford and A. D. Tillman. 1969. Studies on sodium bentonite in ruminant diets containing urea. *J. Anim. Sci.* 41:396.
 60. Martin L.C., A.J. Clifford, and A.D. Tillman 1969. Studies on sodium bentonite in ruminant diets containing urea. *J. Dairy. Sci.* 29:777-782
 61. May-Schillok.1999. Product Information of Bionit-S. AGRIMONT. pp 1~5.
 62. Mayers, R. J. K., C. A. Campbell, and K. L. Weier. 1982. Quantitative relationships between net nitrogen mineralization and moisture content in soil. *Can. J. soil. Sci.* 62 :111- 124
 63. McCullough H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clin. Chim. Acta.* 17:297.
 64. Miller T. P., W. B. Tucker, M. Lema, I. S. shin, J. F. Hogue, and G. D. Adams. 1993. Influence of dietary buffer value index on the ruminal milieu of lactating dairy cows fed sorghum silage and grain. *J. Dairy Sci.*, 76:3571.
 65. Murphy, M.R., P.E. Drone, Jr., and S.T. Woodford 1985. Factors stimulating migration of holotrich protozoa into the rumen. *Appl. Environ. Microbiol.* 49(5):1329-1331
 66. Noll, F. 1974. in *Methods of Enzymatic Analysis*(Bergmeyer, H.U., ed.), 2nd ed., 3, 1475.
 67. NRC. 1991. Nutrient requirement of domestic animal. Nutrient

- requirements of sheep. 6th ed., National Research Council. National Academy of Science. Washington, D.C.
68. Nuzback D.E., E.E. Bartley, S.M. Dennis, T.G. Nagaraja, S.J. Galitzer, and A.D. Dayton 1983. Relation of rumen ATP concentration to bacterial and protozoal numbers *Appl. Environ. Microbiol* 46(3):533-538
 69. Ogimoto Keiji, Soichi Imai. 1981. Atlas of rumen microbiology. Japan scientific societies press, japan.
 70. Ottenstein, D. M. and D. A. Bartley. 1971. *Anal. Chem.*, 43, 952.
 71. Penson, J. B JR., Oral C. JR., Parr Rossen III, C., Introduction to Agricultural Economics. Prentice-Hall. 1995
 72. Rindsig, R. B., L. H. Schultz and G. E. Shook. 1969. Effects of addition of bentonite to high-grain dairy rations which depress milk fat percentage. *J. Dairy Sci.*, 52:1770.
 73. Ritson, C., Agricultural Economic Analysis of Agricultural Projects, John Hopkins Uni. Press. 1984
 74. Russell J.B. and H.J. Strobel 1988. Effects of additives on in vitro ruminal fermentation : A comparison of monensin and bacitracin, another gram-positive antibiotic. *J. Anim. Sci.* 66:552-558
 75. Russell, J. R., A. W. Young and N. A. Jorgensen 1980. Effect of sodium bicarbonate and limestone addition to high grain diets on feedlot performance and ruminal and fecal parameters in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 51(4):996-1002
 76. Ruyet, P. Le., W.B. Tucker, J.F. Hogue, M. Aslam, M. Lema, I. S. Shin, T.P. Miller, and G.D. Adams 1992. Influence of dietary fiber and buffer value index on ruminal milieu of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:2394-2408
 77. Ryan R. K. 1964. Concentrations of glucose and low-molecular weight acids in the rumen of sheep following the addition of large amounts of wheat to the rumen. *Amer. J. Vet. Res.* 25:646.
 78. Slyter L. L., M. P. Bryant and M. J. Wolin. 1966. Effect of pH on population and fermentation in a continuously cultured rumen ecosystem. *Appl. Microbiol.* 14:573.
 79. Stewart, C. S. 1977. Factors affecting the cellulolytic activity for rumen contents. *Appl. Environ. Microbiol.* 33:497.
 80. Stokes, M.R., L.L. Vandermark, and L.S. Bull. 1986. Effects of sodium bicarbonate, magnesium oxide, and a commercial buffer mixture in early

- lactation cows fed hay crop silage. *J. Dairy Sci.* 69:1595
81. Teather, R.M., S. Mahadevan, J.D. Erfle, and F.D. Sauer 1984. Negative correlation between protozoal and bacterial levels in rumen samples and its relation to the determination of dietary effects on the rumen microbial population. *Appl. Environ. Microbiol.* 47(3):566-570
 82. Thomas, J.W., R.S. Emery, J.K. Breaux, and J.S. Liesman 1984. Response of milking cows fed a high concentrate, low roughage diet plus sodium bicarbonate, magnesium oxide, or magnesium hydroxide *J. Dairy Sci.* 67:2532-2545
 83. Tucker W.B., G.A. Harrison, R.W. Hemken, and R.J. Harmon 1988. Efficacy of simulated, slow release sodium bicarbonate in stabilizing ruminal milieu and acid-base status in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 71:1823-1829
 84. Tucker, W.B., J.F. Hogue, M. Aslam, M.Lema, M. Martin, F.N. Owens, I.S. Shin, P. Le Ruyet, and G. D. Adams 1992. A buffer value index to evaluate effects of buffers on ruminal milieu in cows fed high or low concentrates, silage, or hay diets. *J. Dairy Sci.* 75:811-819
 85. Ushida K., C. Kayouli, S. De Smet, and J.P.Jouany 1990. Effect of defaunation on protein and fiber digestion in sheep fed on ammonia-treated straw-based diets with or without maize. *Br. J. Nutr.* 64:765-775
 86. Veira D.M. 1986. The role of ciliate protozoa in nutrition of the ruminant. *J. Anim. Sci.* 63:1547-1560
 87. Vicini, J.L., W.S. Cohick, J.H. Clark, S.N. Mccutcheon and D.E. Bauman 1988. Effects of feed intake and sodium bicarbonate on milk production and concentrations of hormones and metabolites in plasma of cows. *J. Dairy Sci.* 71:1232-1238
 88. Walz, L.S., T.W. White, J.M. Fernandez, L.R. Gentry, D.C. Blouin, M.A. Froetschel, T.F. Brown, C.J. Lupton, and A.M. Chapa. 1998. Effect of fish meal and sodium bentonite on daily gain, wool growth, carcass characteristics, and ruminal and blood characteristics of lambs fed concentrate diet. *J. Anim. Sci.* 76(8):2025-31
 89. West J.W., C.E. Coppock, D.H. Nave, and G.T. Schelling 1986. Effect of potassium buffers on feed intake in lactating dairy cows and on rumen fermentation in vivo and in vitro. *J. Dairy. Sci.* 69:124-134
 90. West J.W., C.E. Coppock, D.H. Nave, J.M. Labore, L.W. Greene, and T.W. Odom 1987. Effect of potassium carbonate and sodium bicarbonate on rumen function in lactating holstein cows. *J. Dairy. Sci.* 70:81-90

91. Williams Alan. G., G.S. Coleman. 1992. The rumen protozoa. Springer-Verlag New York Inc.
92. Wolin. M.J., T.L. Miller. 1988. Microbe-microbe interactions. The rumen microbial ecosystem. Elsevier applied science.
93. Xu. S., J.H. Harrison, R.E. Riley, and K.A. Loney. 1994. Effect of buffer addition to high grain total mixed rations on rumen pH, feed intake, milk production, and milk composition. J. Anim.Sci. 77(3):782-788
94. 石川勝美, 岡田芳一, 中村博. 1995. 麥飯石の理化學的特性について. 農業機械學會誌 57(2) : 51~56.
95. 高橋淳根, 高橋 清. 1990. 乳牛に對する麥飯石粉末の飼料添加効果. 畜産の研究 44(1):53
96. 광물과 산업. 1990. 규조토(Diatomite) : 활용분야와 앞으로의 전망. Vol. 3, No. 1. p. 46~51.
97. 광업진흥공사. 1988. 한국의 광상 제 11호 비금속편
98. 김광은, 박상범, 안경모. 1998. 숯과 목초액
99. 김동균, 암석발과 Sound stress에 의한 낙농경영비 손실평가, 「축산경영학회지」 제 10권 1호 1994. 12.
100. 金洙鎭. 1987. 高嶺土鑛物. 제2회 産業素材鑛物學 심포지움. 韓國鑛物學會. p.9~18.
101. 김필주, 정덕영, 장기운, 이병렬. 1997. 우분퇴비 사용후 토양수분 조절에 따른 질소 및 탄소 의 전환. 한국환경농학회지. 16(4): 295-303
102. 농림수산부, 낙농편람 1995
103. 농촌진흥청, 고품질 우유생산을 위한 젖소사양관리 기술 지도지침, 1996.2
104. 농촌진흥청, 낙농. 1992,12
105. 농촌진흥청, 한우.낙농.양돈, 1996.12
106. 대한광업진흥공사. 1988. 한국의 광상. 제11호 비금속편.
107. 文熙壽. 1987. 高嶺土鑛物. 제2회 産業素材鑛物學 심포지움. 韓國鑛物學會. p.41~49.
108. 문희수. 1996. 점토광물학. 민음사.
109. 백승철, 「원가관리회계」, 1997
110. 백우현. 1995. 한국의 원적외선복사체의 분광학적 특성. 第1회 韓·日 遠赤外線 심포지움 proceeding. pp 105~149.
111. 사료자원핸드북. 1976. 한국사료협회.
112. 서울우유. 1998년말 목장종합 실태조사, 1999.4
113. 손용석, 1997. 국내산 점토광물의 사료화 및 환경친화효과에 관한 연구. 중간보고서.

114. 손용석, 1999. 점토광물 급여에 의한 생산성 향상, 제8회 사료가공 단기과정.
115. 손장호, 박창일, 1997. 사료내 맥반석의 첨가가 성장중인 육계의 배설물 수분함량, 장 내 암모니아 함량 및 혈액성상에 미치는 영향. 한국가금학회지 제24권 제4호 : 179~184.
116. 안학수. 1999. 숯, 활성탄, 열초액의 불가사의.
117. 윤상기, 김현숙, 권웅기, 강우성, 차영호. 1996. 젖소에 급여하는 사료의 급여 순서가 사료섭취량 및 반추위내 생리적 변화에 미치는 영향. 한국초지학회지. 163(3):245-252
118. 윤상기, 채현석, 김현숙, 권웅기, 차영호, 신형태. 1995. 농후사료급여량 증가수준이 젖소의 반추위 내 휘발성 지방산 생성 및 protozoa에 미치는 영향. 농업논문집 37(2):513-520.
119. 윤석철, 김병기. 1998. 「경영분석론」
120. 윤순강, 정광용, 류순호. 1993. 혐기 및 호기조건하에서 토양처리된 돈분 중 질소 형태변화. 한국토양비료학회지. 26(2): 121-126
121. 이병석, 백봉현, 김동식, 안정제, 맹원재. 1995. 목건초의 급여수준이 면양의 반추위내 amino acid, VFA 및 turnover rate에 미치는 영향. 농업논문집 37(2):504-512
122. 이상환외 3인, 1999. 혼합사료 투여후 배출된 축분의 토양중 변화, 「한국환경학회지」 (인쇄중)
123. 이종근. 1986. 국내 비금속광물 관련제품의 현황분석 및 수급전망에 관한 연구. 대한광업진흥공사 연구사업보고서. pp 10~18.
124. 李哲遠, 孫錫龍, 韓忠洙. 1995. 세라믹의 상토혼합에 의한 벼 幼苗의 생장효과. 第1회 韓·日 遠赤外線 심포지움 proceeding. pp 49~58.
125. 제주도. 1997. 제주도 통계연보.
126. 조광근, 하종규, 최연호, 한인규, 김준식 1989. 면양에 대한 버퍼제의 급여가 위액 pH와 VFA 조성 및 혈액 성분에 미치는 영향. 한국영양사료학회지. 13(3)156-160.
127. 조광근, 하종규, 최연호, 한인규, 김준식 1989. 젖소에 대한 버퍼제의 종류별 수준별 급여가 우유생산량과 혈액성분 및 소화율에 미치는 영향. 한국영양사료학회지. 13(3) 161-167.
128. 조동삼, 정승근. 1992. Bioceramics에 의한 放射遠赤外線이 作物의 生育, 收量 및 生産物의 貯藏에 미치는 影響. 1991년 産學協同研究課題報告書(忠北大學校 農科大學).
129. 조백현. 1992. 삼정-토양학. 향문사

130. 조재영. 1992. 저작. 향문사
131. 주이석, 1997. 효과적인 착유 위생관리를 통한 유방염 방지대책.
「한국 낙농의 활로개척을 위한 심포지움」 한국낙농학회.
132. 최대웅, 정필균, 엄기태, 박노권, 박선도. 1987. 맥반석(휘록분암)에 대한 광물학적 특성과
농업적 활용가능성에 관한 연구. 한국토양비료학회지. 20(3): 199-204
133. 최태섭. 1997. 천연광물의 원적외선 방사 특성과 이용 기술. 韓國鑛物學會 創立
十週年 記念 産業鑛物 심포지엄 Proceeding. pp 46~73.
134. 축산신문, 낙농년감 1996.
135. 축협중앙회, 축산물 생산비 조사보고, 각년도
136. 축협중앙회, 축산물 수급 및 가격자료, 각년도
137. 토양화학분석법. 1988. 농업기술연구소.
138. 통상산업부. 1995. '94 광산물수급현황. 자원정책실 보고서.
139. 통상산업부 · 대한광업진흥공사. 1997. 광물자원 매장량 현황.
140. 한국동력자원연구소. 1995. 자원총람.
141. 한수인. 1997. 점토광물 급여가 면양의 반추위 내 대사에 미치는 효과. 고려대학
교 대학원
석사학위 논문.
142. 한인규, 육종용, 최윤재, 류연선. 1983. 반추가축사료에 있어서 buffer제의 종류별
첨가효과. Korean J. Anim. Sci. 25(2): 138-145.
143. 한인규. 1994. 사료자원 핸드북. pp 420~424.
144. 韓忠洙, 趙誠瓚, 崔泰燮, 伊藤和彦. 1995. 遠赤外線輻射의 加熱·乾燥 特性. 第1回
韓·日 遠赤外線 심포지움 proceeding. pp 13~30.
145. 한홍을, 김정기 1983. 유우의 유방염에 의한 경제적 손실추정 「농촌경제」 Vol.
4(1): 41-50.