

# 양계 사료배합비에 인(P) 소화율과 칼슘(Ca)의 균형이 중요하다

과거에는 양계 사료배합비에서 칼슘(Ca) 요구량 평가에 대한 관심이 거의 없었다. 이것은 사료의 총 칼슘(Ca)의 80~85%를 차지하는 값싼 석회석의 가용성 때문이었다. 그러나 최근 국내 석회석 생산 지형은 과거 소비자 결정권 시장에서 생산자 공급능력 시장으로 재편되고 있다. 2023년 12월, 제 1세대 석회석 공급업체인 한홍실업이 축산 시장 석회석 공급을 갑자기 중단 및 포기를 결정하고, 1980년대 후반부터 업계 2, 3위를 마크하던 청주석회 또한 2019년 충주시 자석면의 자석 광산이 사실상 산업적 폐광을 맞게 되고, 현지 공장이 소재한 광산마저 사실상 원석이 거의 소진된 상황에 놓이게 되었다.

**더**욱 큰 문제는 사료용 석회석 공급가격이 생산비에 한참 아래에 있다는 근원적, 본질적 사업 회의성과 채광/굴진(掘進)이 지하 11~13층까지 내려감에 따라 중금속, 특히 납(Pb)과 비소(As)의 리스크가 너무 커졌다는 품질 관리의 근본적 문제점에 있다.

본론에 들어가기 앞서, '석회석'에 대하여 간단하게 살펴보고자 한다. 필자는 축산 및 사료 영양전문가로서 관련업계에서는 유일하게 미네랄의 생산부터 유통, 판매까지 완벽하게 습득한 바 있다. 이는 모두 스위스 글로벌 다국적 회사에서 8년동안 근무하면서 직접 체득한 결과이다. 필자가 2016년부터 근무했던 회사는 반도체 산업으로 비유하면 '인텔(Intel)'과 같다고 보면 된다. 모든 채광/굴진의 근원적 기술을



1884년부터 개발 및 축적해 왔고, 모든 분체 공정의 원천 기술을 이 회사가 갖고 있다.

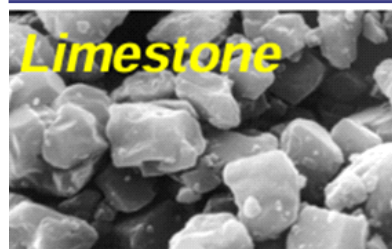
일반적으로 전 세계산업에서 '탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ )'을 '석회석'이라고 명명하고 통용하는 국가는 한국과 일본뿐이다. 당연하게도 한국은 사료 관리법의 근간을 일본의 그것에서 1970년대에 차용해 왔기 때문에 아직도 '석회석'이라 부르고 있다.

석회석은 지질학적 측면에서 크게 3가지로 나눌 수 있다. 그림1은 지각의 연령에 따라 형성된 탄산칼슘을 분류하고 있다. 이 중에서 석회석은 1억~1억 5천만년의 열과 압력을 받아 생성된 탄산칼슘인데, 이로 인해 원석에는 유화철(iron sulfide)이 다량 함유되어 있다. 과거 1970년대 이전에 태어난 베이비 부머 세대 사람들은 놀이터 모래밭에서 자석을 넣었을 때, 새까만 철가루가 자석에 잔뜩 붙어 신기해하던 기억이 있을 것이다. 바로 이 철가루가 유화철인데, 사료 영양학적으로는 섭취 시 변식기관에 큰 피



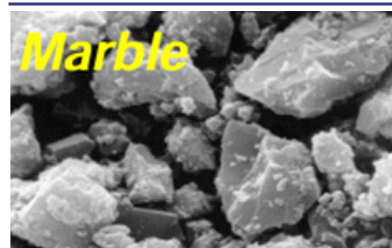
**Chalk**  
초크(Chalk): 미네랄 침전물이 유기물과 함께 압착됨(조개껍질 및 조개류, 플랑크톤 화석)

**지각 연령 8천만년~1억 1천만년**



**Limestone**  
석회석(Limestone): 조개껍질 및 조개류의 유기물과 미네랄 침전물이 보다 더 압착됨

**지각 연령 1억 1천만년~1억 5천만년**



**Marble**  
마블(Marble): 고밀도로 압착된 상태에서 매우 높은 압력과 고온에 의해 초크와 석회석이 재결정화. 매우 순도가 높은 탄산칼슘

**지각 연령 3억~5억년**

그림1. 지각 연령에 따른 탄산칼슘의 분류

해를 줄 수 있기 때문에 사료 관리법으로도 2017년 6월 최대 함량을 500ppm으로 규제하고 있다.

또한, 마블(Marble)과 같이 오랜 세월을 열과 압력으로 태워지지 못해서 남아있는 많은 중금속이 라임스톤(Limestone)에는 잔류되어 있다. 그렇기 때문에, 사료관리법은 6대 중금속을 지정 관리하여 1년에 겨우 2번 사료 검사를 통해 규제하고 있다. 이외에도 숨겨진 또 하나의 문제는, 라임스톤(Limestone)에는 마그네슘(Mg) 함량이 2~3%, 많게는 6~7%까지 산화 마그네슘(MgO) 형태로 들어있다. 많은 양계가들도 이미 알고 있듯이, 마그네슘(Mg)은 산란계와 낙농에서 설사를 일으키는 높은 비중의 매개변수이다. 문제는 이 모든 것들이 지표에 드러나 있는 노천 광산에서는 거의 문제가 되지 않지만, 심부 깊은 곳으로 내려갈수록 원석에 높은 함량이 포함되어 있다는 것이다.

따라서, 현재 탄산칼슘을 필자와 거래했던 사료 회

사들은 매우 높은 수준의 이해도를 바탕으로 품질관리를 진행하고 있지만, 국내 모든 광산이 이미 지하 11층을 넘어 갔기 때문에 사실상 근원적인 품질 관리가 불가능한 상황이다.

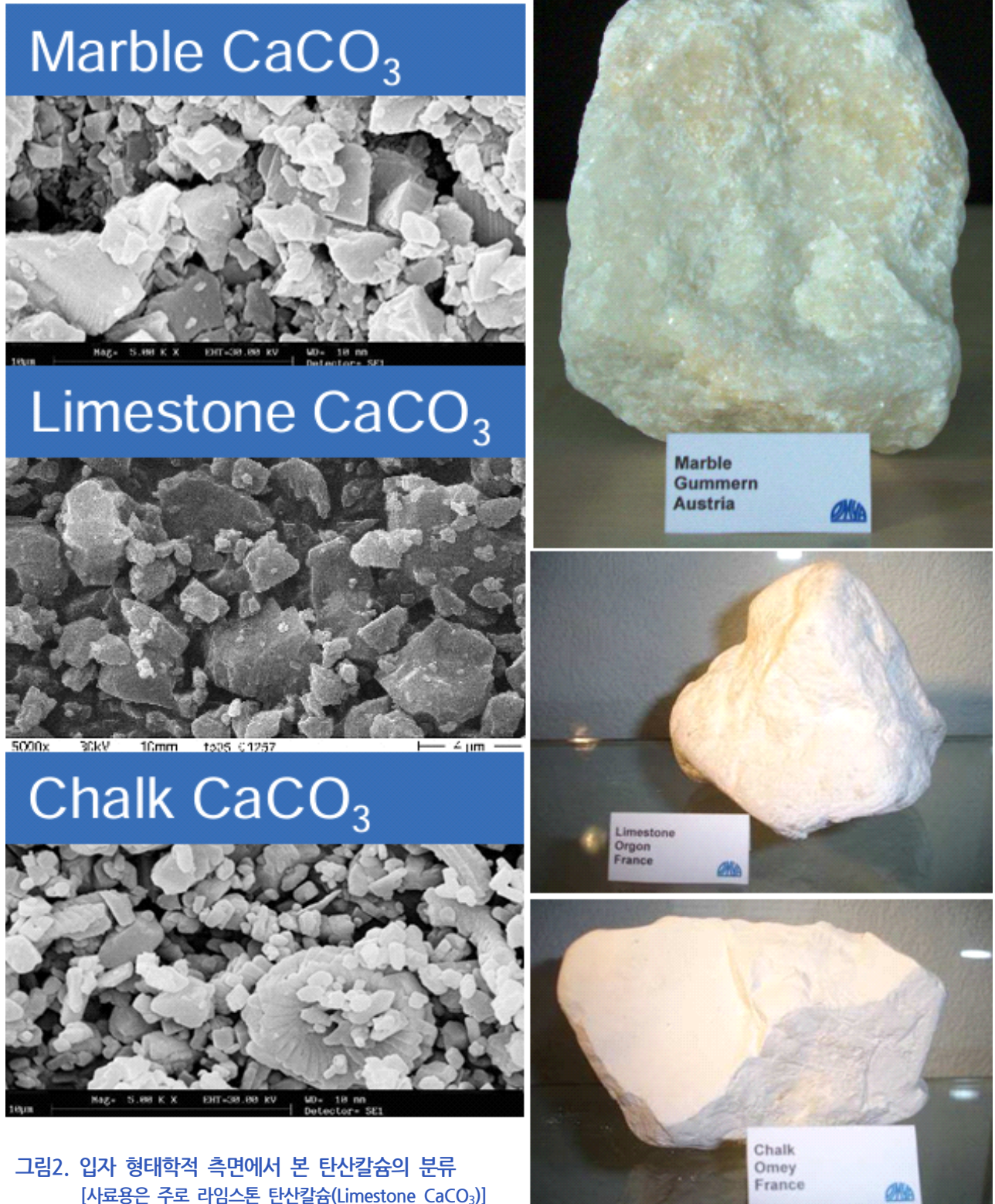
그림2는 파쇄된 탄산칼슘 입자의 현미경 사진이다. 현재 국내에서 사용되는 사료용 탄산칼슘은 중과(10~40mm) 원석을 1차적으로 상어 이빨을 닮은 '조크러셔(Jaw-crusher)'로 파쇄하여, 2차적으로 '햄머-밀(Hammer-mill)'로 파쇄하여 3단 스크린으로 정선하여 생산한다. 필자가 근무했던 스위스 회사는 그림 2의 날카로운 입자를 보다 덜 날카롭게 하기 위해 '임팩트-밀

(Impact-mill)'로 제 2차 파쇄를 하는데, 국내 업체에서는 도입하기 힘든 부분이 시간당 생산성(TPM)이 2~3톤밖에 되지 않기 때문이다.

큰 체구의 산란성계 또는 종계는 현재 3mm 대분 입자를 사용하고 있고, 이것이 근위(Gizzard)의 저작성을 오히려 돕기 때문에 아무런 문제가 되지 않는다. 그러나, 육계와 자돈의 경우 햄머-밀로 날카롭게 각이 버려진 석회석 입자는 파쇄침의 이유가 된다. 이유 자돈은 체구가 있어 좀 덜할 수도 있지만, 150~160g의 1주령 육계는 입불임/전기 교체기와 전후기 교체기에 소낭과 식도를 자극하여 섭취를 기피하는 파쇄침(Scattering)의 원인이 될 수 있다. 사실상 전후기 파쇄침이 극심했던 2019년에 필자는 그와 같은 비교 사양을 통해 직접적으로 경험했는데, 이 부분을 매우 큰 원인으로 판단하고 있다.

이제부터 본격적으로 영양학적 관점에서 최근 몇 년 동안의 연구를 요약하면서, 칼슘(Ca)을 과도하게





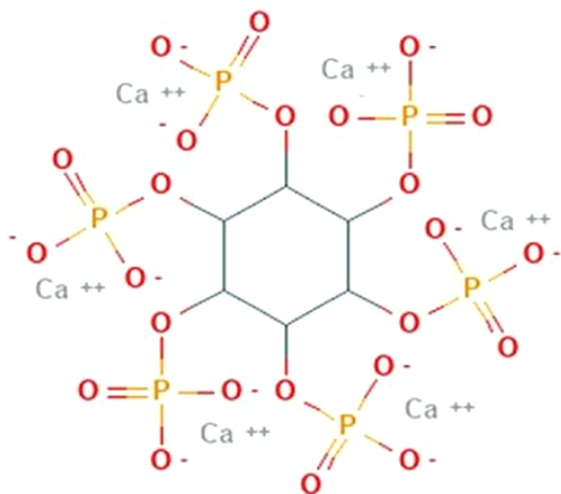


그림3. 칼슘 킬레이트 피테이트(Calcium chelates phytate); 상기 상태의 칼슘은 피타아제에 대한 접근성을 떨어뜨린다.

공급하면 어떻게 가축의 생산성에 부정적인 영향을 미치는지 살펴보고자 한다.

- ① 석회석은 완충물질(Buffer agent)이며, 근위에서 사료의 충분한 산성화를 방해한다.
- ② 과잉 공급한 석회석은 사료 섭취를 감소시킨다.
- ③ 칼슘(Ca)은 촘촘한 접합부에 부정적인 영향을 미쳐 장 무결성을 감소시킨다.
- ④ 과도한 칼슘(Ca)은 사료의 인(P) 소화율을 저해한다.

## 1. 칼슘(Ca)으로 인한 피테이트 분해에 대한 피타아제의 억제

사료내 칼슘(Ca)은 우선 피테이트와 복합체(Co-mplexes)를 형성하며 이러한 복합체는 높은 pH에서 불용성 상태로 유지될 수 있다(그림3).

이러한 침전된 피테이트-칼슘 복합체는 피타아제에 의한 가수분해에 접근할 수 없으며, 이는 방출되는 인(P)의 양을 감소시킨다. 따라서, 칼슘(Ca)을 과도하게 섭취하면 인(P) 소화율이 감소한다. 또한, 석회석 용해의 속도는 피테이트와 함께 킬레이트화

(Chelate)할 수 있는 칼슘(Ca)의 농도를 결정한다. 미세한 석회석(0.6mm이하, 미분)은 일반적으로 굵은 석회석보다 용해성이 높기 때문에 피테이트에 더 빨리 결합한다. 결과적으로, 이와 같은 작용은 거친 석회석(대분)에 비해 인(P) 소화율에 더 강한 부정적인 영향을 미치게 된다.

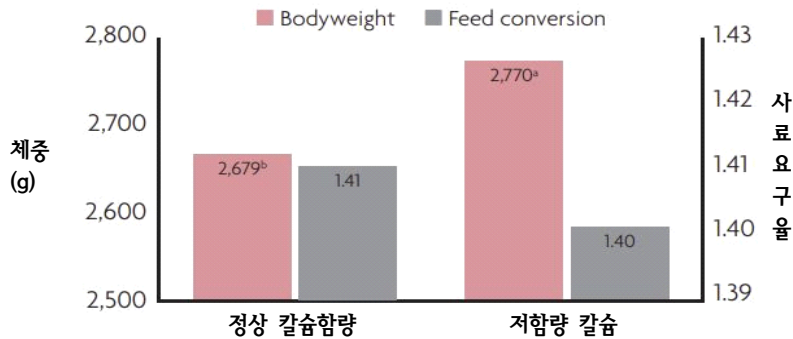
## 2. 칼슘(Ca)과 인(P)은 균형을 이루어야 한다

더 거친 석회석의 선택 외에도, 사료의 칼슘(Ca) 수치를 낮추는 것이 인(P) 소화율을 향상시키는 것에 도움이 된다. 그러나 흡수된 인(P)은 혈액 농도에 하이드록시아파타이트(Hydroxyapatite, 뼈 미네랄)를 형성하기에 충분한 칼슘(Ca)이 존재할 때만 뼈에 유지될 수 있다. 칼슘(Ca) 수치를 낮추면 인(P) 소화율이 향상되지만, 흡수된 인(P)을 유지하는 칼슘(Ca)이 부족하기 때문에 뼈의 인(P) 수치는 여전히 낮을 수 있다. 따라서 칼슘(Ca)이 결핍되면 칼슘(Ca) 수치를 낮춰 인(P) 소화율이 향상되더라도 뼈의 품질이 저하될 수 있다. 이것은 사료의 칼슘(Ca) 수치를 제어되지 않게 낮추면 닭의 운동성(활력)과 생산성이 저하될 수 있음을 나타낸다.

## 3. 육계에서의 연구

2021년 폴란드 바르미아대학교(University of Warmia)와 마주리(Mazury)에서 실시한 35일령 육계 실험에서 실증 사례가 입증되었다.

사료는 1,000FTU/kg의 새로운 고유 열 안정성 피타아제(OptiPhos® Plus)로 재배합되었고, 해당 인(P) 매트릭스 값만 사용하고 비전분다당류 분해효소(NSPase) 복합체(Hostazym X)가 사료 위에 탑드레싱으로 추가되었다. 두 가지 다른 칼슘(Ca) 처리로 실험을 구성했다;



(※ 표본오차  $p<0.05$ 에서 a, b는 현격한 차이를 보인다)

그림4. 35일령 육계의 체중 및 사료요구율에 대한 칼슘(Ca) 수치 감소의 효과

- ① 일반 칼슘(Ca) 농도: 입불임, 전기, 후기에서 각각 8.5, 7.0 및 6.0g/kg으로 제조
- ② 낮은 칼슘(Ca) 농도: 입불임, 전기, 후기에서 각각 6.5, 5.0 및 4.0g/kg으로 제조

전반적인 기술적 성능은 매우 우수했으며(EPEF > 500), 이는 높은 육계 생산성 확보에 대한 효소의 사용 당위성을 보여준다.

칼슘(Ca)의 다음과 같은 효과를 주목할 수 있다:

- ① 낮은 칼슘(Ca) 수치는 정상적인 칼슘(Ca) 수치를 공급할 때와 비교하여 훨씬 더 높은 최종 체중을 제공했다. 사료요구율(FCR)은 낮은 칼슘(Ca) 수준에서 더 높은 출하체중에도 불구하고 영향을 받지 않았다(그림4).

② 칼슘(Ca) 및 인(P) 소화율(35일령)은 낮은 칼슘(Ca) 함유 수준에서 가장 높았다.

③ 골 회분 분석(21일령)에 따르면 경골회와 경골재의 칼슘(Ca) 및 인(P) 수치는 낮은 칼슘(Ca) 농도에서 더 낮았다. 그 영향은 작았지만 유의미했다(표1).

낮은 칼슘(Ca) 수치가 기술적 성능을 최적화하고 인(P) 소화율을 개선하지만 뼈 회분을 감소시킨다는 사실은, 칼슘(Ca) 수치가 너무 낮으면 혈중 칼슘(Ca) 수치가 너무 낮아 뼈 형성이 비효율적이라는 것을 보여준다. 이는 또한 생산성을 최적화하는데 필요한 것에 비해, 최적의 뼈 성장을 위한 칼슘(Ca) 요구 사항이 더 높다는 것을 나타낸다.

## 4. 결론

- ① 칼슘(Ca) 수치를 낮추는 것은 동물의 성능뿐만 아니라 칼슘(Ca) 및 인(P) 소화율에도 많은 긍정적인 영향을 미쳤다.
- ② 칼슘(Ca) 수치를 낮추면 뼈 형성에 영향을 미치며, 이는 뼈 형성을 위한 칼슘(Ca) 요구량이 최적의 생산성을 위한 칼슘(Ca) 요구량에 비해 더 높다는 것을 보여준다. 🦴

표1. 칼슘(Ca) 및 인(P) 소화율, 경골 회분 함량, 정상 및 낮은 칼슘(Ca) 수준에서 경골 회분의 칼슘(Ca) 및 인(P) 함량

처리구	회장 소화율(%)		정강이(경골, 비골) 회분(%)	정강이 뼈 건물내 칼슘(%)	정강이 뼈 건물내 인(P)(%)
	칼슘(Ca)	인(P)			
정상함량 칼슘	50.2 <sup>b</sup>	54.5	48.4 <sup>a</sup>	18.6 <sup>a</sup>	10.1 <sup>a</sup>
저함량 칼슘	64.1 <sup>a</sup>	60.6	46.8 <sup>b</sup>	17.8 <sup>b</sup>	9.8 <sup>b</sup>

(※ 각 행의 a,b 수치는 표본오차  $p<0.05$  수준에서 매우 현격한 유의미한 차이를 보인다)