

# 옥수수주정박(DDGS)의 사료적 가치



백인기 교수  
중앙대학교  
미국곡물협회 자문위원

## 미국산 DDGS의 물리화학적 특성

DDGS의 물리 화학적 특성은 제조공급원에 따라 차이가 있으며 이런 차이는 사료적 가치와 취급 특성에 영향을 미친다. 고려해야 할 특성으로는 색깔, 냄새, 입자도, 밀도, pH, 유동성, 저장 안정성 및 흡습성 등이 있다.

### 1. 색깔

DDGS의 색은 매우 어두운 갈색에서 매우 밝은 노란색으로 다양하다. DDGS의 색깔에 영향을 주는 요인들은 다음과 같다..

- \* 사용되는 곡물의 자연적인 색,
- \* 주정박이 최종적으로 건조되기 전에 첨가되는 solubles의 양,
- \* 건조 시간과 건조 온도.

옥수수 알곡의 색깔은 품종에 따라 다르기 때문에 DDGS의 최종 색깔에 영향을 미친다. 옥수수와 수수 혼합곡류로부터 생산된 DDGS는 옥수수 DDGS보다 다소 어두운 색깔을 띄는데 이는 대부분의 수수가 구리색을 띄기 때문이다.

주정박을 최종건조하기 전 distiller's grain에 solubles를 상대적으로 많이 첨가하면 DDGS의 색은 어두워진다. Noll 등 (2006)은 최대가능 solubles첨가량의 0, 30, 60, 그리고 100% 를 최종 건조과정 전에 첨가하였을 때 DDGS의 색깔에 미치는 영향을 연구를 했다. 실제 시험에서 solubles의 첨가량은 분당 0, 12, 25, 42gallon의 속도로 첨가하였다. 표1에서 보는 바와 같이 distiller's grain에 solubles의 첨가량이 많아 질수록 밝은 색감(L\*)과 황색감(a\*)은 감소하고 적색감(b\*)은

표 1. 곡물의 가루에 추가된 가용성 물질의 비율에 의한 DDGS의 색 특성의 효과

	0 gal/min	12 gal/min	25 gal/min	42 gal/min	피어슨 상관계수	P 값
색 (CIE Scale)						
L*	59.4	56.8	52.5	46.1	- 0.98	0.0001
a*	8.0	8.4	9.3	8.8	0.62	0.03
b*	43.3	42.1	40.4	35.6	- 0.92	0.0001
밀	10.9	63.8	375			

인용: Noll 등 (2006).

증하는 것을 볼 수 있다. 이와 비슷한 결과가 Ganesan 등 (2005)에 의해서도 보고 되었다.

건식 에탄올제조공정에서 사용되는 건조기 내의 온도는 127~621 °C이다. DDGS가 건조기 안에서 머무는 시간 또한 색깔에 영향을 준다. 일반적으로 건조 온도가 높을수록 그리고 건조기 안에 머무는 시간이 길수록 DDGS의 색깔은 검어진다.

## 2. 냄새

양질의 DDGS는 달콤하고 향긋한 발효취가 난다. 타거나 그을린 냄새가 나는 DDGS는 과열처리된 것이다.

## 3. 입자도, 밀도 및 pH

사료원료의 입자도와 균일도는 가축 및 가금 영양전문가들이 원료를 선별 시 그리고 배합사료나 보충사료를 가공할 때 중요한 고려사항이다. 입자도는 다음사항들에 영향을 미친다.

- 1) 영양소 소화율 - 입자의 크기가 감소되면 영양소 소화율과 사료 효율이 증가한다. 이는 소화에 노출되는 원료의 표면적 증가에 의한 소화효소의 작용면적이 증가하기

때문이다.

- 2) 혼합 효율 - 원료혼합물 내 입자도의 균일성이 높을수록 균일도가 높은 배합사료제조에 필요한 배합시간을 단축시킨다.
- 3) 수송 및 취급과정에서의 분리 - 입자의 크기와 밀도가 다른 원료들을 혼합한 후 수송 및 취급을 하면 입자와 원료의 분리현상이 발생한다.
- 4) 펠렛의 품질 - 펠렛의 품질은 강도와 펠렛의 가루발생정도에 의해 결정된다. 옥수수-대두박 기준 사료의 경우, 낮은 평균의 입자의 크기(400 microns)가 일반적으로 높은 품질의 펠렛을 만든다(가루발생량이 낮음).
- 5) 밀도 - 용적밀도는 단위 용량당 무게 즉 비중이다. 일반적으로 원료나 배합사료의 입자의 크기를 감소시키면 비중을 높일 수 있다.
- 6) 가루사료의 기호성 - 가축에 따라 차이는 있지만 너무 가늘게 분쇄된 사료는 사료의 섭취량을 떨어 뜨리며 굵이통이나 저장빈 안에서 엉켜 붙어 브릿지를 형성한다. 지나치게 굵은 입도의 사료 역시 기호성을

저하시킬 수 있다.

7) 위 케양증 - 돼지에 있어서 사료의 평균 입자도가 감소할수록 위케양 발생율이 증가한다.

용적밀도는 수송차량, 배, 컨테이너, 자루 등에 의한 저장 용량을 결정해야 할 때 고려해야 할 중요한 요인이다. 용적밀도는 또한 수송비 및 저장비용에 영향을 미친다. 용적밀도가 낮은 원료는 단위중량 당 취급비용이 더 많이 든다. 또한 사료를 만들어 출하하는 과정에서 원료의 분리현상에 큰 영향을 미친다. 수송도중에 비중이 높은 원료는 바닥에 가라앉고 비중이 낮은 원료는 위로 뜨게된다.

제조원이 다른 DDGS 샘플들의 입자도와 비중을 비교하기 위하여 Minnesota대학에서 수차례에 걸쳐 실험을 실시하였다. 첫 번째 실험은 2001년 여름에 실시하였는데 Minnesota, South Dakota 그리고 Missouri에 있는 16개의 에탄올공장에서 나온 DDGS sample들을 각각 4.5kg 씩 채취하였다. 이 샘플로부터, 각각 200그램의 subsample들을 채취한 후 5개의 US표준체를 통과시키고 각각의 스크린을 통해 걸리지 않은 DDGS의 무게를 측정하고 기록 하였다. 모든 스크린을 통과한 미세입자는 pan에 담아지고 무게를 잰다. 표준체의 번호는 #10, #16, #18, #20 그리고 #30 이었고 해당 스크린의 구멍크기는 각각 2000, 1180, 1000, 850 그리고 600마이크론( $\mu\text{m}$ )이었다. 모든 체를 통과하여 pan에 모아진 DDGS입자의 크기는 600마이크론 이하였다. 각각의 체에서 분리 수집된 DDGS의 무게는 입자의 분포

도를 계산하는데 사용됐다. 에탄올공장별 DDGS의 평균 입자도를 측정하고 공장별 및 공장간의 변이계수(CV) 그리고 표준편차(SD)를 계산하였다. 이 결과를 표 2에서 보여주고 있다.

용적밀도(파운드/입방피트)는 1쿼터(1/4갤런 또는 약 1.14L)용기에 채워지는 DDGS의 무게이다. 샘플의 색깔 및 덩어리(syrup balls)의 존재여부도 육안으로 평가하였다.

16개 에탄올 공장에서 생산된 DDGS의 평균 입자도는 1,282마이크론(표준편차=305, 변이계수=24%)이고 6번 공장612마이크론으로부터 15번 공장의 2,125마이크론까지 변이가 있었다. 이와 같이 DDGS입자의 평균 크기는 생산공장에 따라 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 참고적으로, 돼지와 가금류에게 급여되는 가루사료의 이상적인 입자도는 600~800마이크론이다. 오직 6번과 7번 공장에서 생산되는 제품만이 비슷한 범위에 들어온다. 다른 모든 공장에서 생산되는 DDGS는 그대로 배합사료제조에 사용하기에는 거칠기 때문에 입자도를 감소시키고 입자의 균일도를 높이며 영양소 이용율을 높이기 위해 적절히 분쇄하여 사용해야 할 것이다. 공장 15의 DDGS입자의 평균크기는 2125마이크론으로 가장 컸는데 syrup balls이 많이 함유된 제품을 생산하는 공장일수록 DDGS의 입자도가 높은 경향이 있었다.

용적밀도의 평균은 35.7 파운드/입방피트(표준편차=2.79, 변이계수=7.8%)이고 변이 범위는 30.8~39.3 파운드/입방피트 이었다. 그렇지만 입자의 평균크기와 용적밀도 사이의

표 2. 2001년 에탄올공장간의 DDGS 입자도의 평균과 변이 그리고 용적밀도

공장	입자의 평균 크기	표준편차	전용적 밀도	변동계수 %	입자의 68%가 포함되는 범위	
1	1398	2.32	36.3	0.17	603	3243
2	1322	2.00	39.2	0.15	661	2644
3	1425	1.62	36.8	0.11	880	2309
4	1370	1.84	36.3	0.13	745	2521
5	1255	1.68	33.5	0.13	747	2108
6	612	2.75	39.3	0.45	223	1683
7	974	2.15	36.1	0.22	453	2094
8a	1258	1.70	33.7	0.14	740	2139
8b	1142	1.84	30.8	0.16	621	2101
9	1337	1.78	31.8	0.13	751	2380
10	1488	1.62	38.2	0.11	919	2411
12	1235	1.75	31.4	0.14	706	2161
13	1198	1.87	35.9	0.16	641	2240
14	1229	2.09	39.2	0.17	588	2569
15	2125	1.56	37.6	0.07	1362	3315
16	1148	2.25	35.1	0.20	510	2583
평균	1282.25	1.93	35.7	0.15	697	2406

표 3. DDGS 34개 샘플의 입자도, 용적밀도 그리고 pH - 2004년 분석.

	평균	범위	표준편차	변이계수, %
입자의 크기, $\mu\text{m}$	665	256 - 1087	257.48	38.7
용적밀도, lbs/ft <sup>3</sup>	31.2	24.9 - 35.0	2.43	7.78
pH	4.14	3.7 - 4.6	0.28	6.81

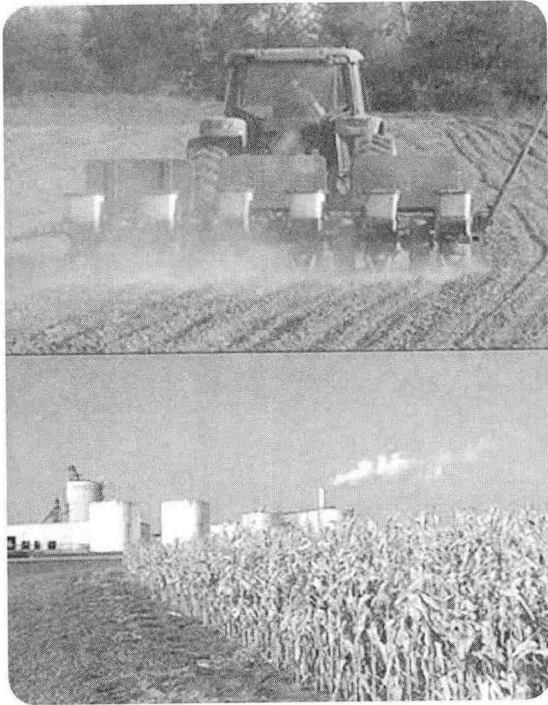
표 4. DDGS 35개 샘플의 입자도, 용적밀도 그리고 pH - 2005년 분석.

	평균	범위	표준편차	변이계수, %
입자의 크기, $\mu\text{m}$	737	73 - 1217	283	38.0
전용밀도, lbs/ft <sup>3</sup>	25.2	22.8 - 31.5	8.6	34.2
pH	4.13	3.6 - 5.0	0.33	7.91

상관계수는 의외로 매우 낮았는데( $r=0.05$ ) 아마 샘플을 채취할 때 가변성의 syrup balls의 함량에 변이가 많기 때문인 것으로 보인다.

2004년(11개주의 에탄올공장에서 생산된

34개의 샘플)과 2005년(35개의 샘플)에 Minnesota대학에서는 DDGS의 영양분석 및 물리적 특성에 관한 두개의 추가적인 실험을 실시하였다. 그 결과를 표4와 5에서 보여주고



있는데 평균 입자도 범위는 665~737  $\mu\text{m}$ 이었고 입자도의 범위는 73~1217  $\mu\text{m}$ 으로 변이가 매우 컸다. DDGS의 평균pH는 4.1이지만 변이범위는 3.6~5.0이다.

#### 4. 유동성(Flowability)

유동성은 과립상 고체나 분말이 수송이나 저장 공간으로부터 방출 또는 흘러 내리는 성능이라고 정의한다. 유동성은 자연물질의 고유한 성질이라기 보다는 여러가지 상호작용하는 특성들이 물질의 흐름에 동시에 작용함으로써 야기되는 결과이다(Rosentrater, 2006). 유동성은 제품의 수분, 입자크기 분포, 저장 온도, 상대습도, 시간, 적재제품 안의 압력 분포, 수송 중의 진동과 같은 상승작용하는 여러가지 요인들의 수와 저장과정과 기간동안 이들요인들의

작용수준에 따라 영향을 받게 된다(Rosentrater, 2006). 유동성에 영향을 줄 수 있는 다른 요인들로는 유동성 개선제 첨가여부와 단백질, 지방, 당 그리고 탄수화물을 포함한 여러가지 화학적 조성분이다.

간혹 DDGS는 유동성이 좋지 않은 경우가 발생한다(Agricultural Utilization Research Institute:AURI and MN Corn Growers Assoc., 2005;National Corn-to-Ethanol Research Center, 2005). DDGS를 트럭, 기차나 컨테이너에 적재하기 전에 충분히 식히거나 숙성시키지 않고 실었을 때 덩어리가 생길 수 있다. 이것은 DDGS의 유동성 문제와 하역시 문제 발생의 원인이 된다. 유동성의 감소로 인해 DDGS 벌크 저장 컨테이너나 수송차량에서 브릿지 현상이 발생하면 일부 DDGS 고객이나 차량소유주들은 거래를 꺼려한다.

유동성 문제를 야기하는 요인들을 규명하고 이 문제들의 해결방안을 강구하기 위하여 연구가 실시되었다. AURI와 Minnesota 채구 grower's Assoc.(2005)에서 실시한 실험결과에 의하면 DDGS의 상대습도가 60%를 넘으면 흡습성으로 인하여 유동성이 떨어진다고 한다. 환경습도와 DDGS자체의 수분함량이 유동성에 영향을 많이 미치지만 입자도, solubles의 함량, 건조기의 온도, 건조기에서 방출시의 수분함량 등도 영향을 미친다.

에탄올 공장에서 DDGS의 유동성을 향상시키기 위해 시도하는 시행착오적 방법의 실험은 한계가 있다. 발효도의 조절, 수분함량이나 입자도의 조절등의 실험을 하였으나 과학학술지

에는 그 결과가 발표되지 않았다. Iowa Limestone Company Resources(2003)는 유동성 향상제로 석회석을 2%첨가하는 실험을 실시하였다. 실험결과 건조후 DDGS에 탄산칼슘을 첨가시 실험실 조건하에서 휴지각도를 6~12%를 감소시킬 수 있었다. 그러나 산업현장 조건하에서의 유동성에 대한 실험은 시도되지 않았다. 수분함량과 상대습도가 DDGS의 유동성에 중요한 영향을 미치므로 zeolite나 grain conditioner를 사용하면 수분의 이동을 통제수단으로 사용하는 방안도 제시되었으나 구체적인 실험은 없었다.

사료의 유동습성은 다차원적이기 때문에 한 가지 측정방법으로 유동성을 완전히 파악할 수는 없다(Rosentrater, 2006). 벌크원료의 유동성을 측정하는데 전단력 측정장비가 주로 사용된다. 이는 또한 원료의 압력(compaction)과 벌크힘을 측정하는데도 쓰인다(Rosentrater, 2006). 입상 원료의 유동성 측정을 위한 또 다른 방법은 4개의 주요 물리적 특성인 휴지각도(angle of repose), 압축성(compressability), angle of spatula, 그리고 균질계수를 측정하는 것이다 (Rosentrater, 2006).

## 5. 저장안정성

DDGS의 수분함량은 보통 10~12%이므로 배로 운반할 때나 저장시설로 물이 새서 들어오는 일이 없으면 변질의 위험성이 매우 낮다. DDGS의 변질을 막고 저장성을 높이기 위해 방부제와 방미제를 사용한 연구 조사는 없었다.

DDGS의 수분 함량이 12~13을 넘지 않는

한, 수개월간 DDGS의 저장안정성에는 문제가 없을 것이다. 미국곡물협회의 한 현장시험에서 South Dakota에있는 에탄올공장에서 DDGS를 실은 40ft.의 컨테이너가 대만으로 발송되었다. 대만에 도착한 DDGS는 50kg짜리 자루에 담아 젓소사양시험동안 동안 북회귀선 남쪽 20km지점에 위치한 젓소 농장의 창고에 10주간 저장되었다. 저장기간 동안 주변환경의 평균온도는 32°C이상이고 습도는 90%를 초과하였다. DDGS샘플은 농장에 도착 즉시 그리고 10주 저장 후 채취하였다. 시험기간동안 기름의 산패도 측정기준인 과산화물가에는 변함이 없었다. 이는 아마도 옥수수내에 함유되어있는 자연 항산화제가 DDGS가공과정 중 더 많이 증가한 때문인 것으로 추측된다.

## 6. 흡습성

DDGS의 흡습성에 관한 정보는 제한적이다. 그러나 DDGS의 수분함량은 습기가 많은 기후에서 장기간 저장하면 증가할 것이다. 미국곡물협회는 대만에서 실시한 육계실험을 지원했는데 이 실험에서는 2004년 3월 16일에서 6월 10일까지 대만의 한 사료공장에 저장된 DDGS의 수분함량을 조사하였다. DDGS의 수분을 분석하기 위하여 13주의 저장기간 동안 매주 무작위로 샘플을 채취하였다. DDGS의 수분의 함량은 초기에 9.05%에서 시작하여 저장이 끝나는 13주에는 12.26%로 늘었다. 예상한 바와 같이 DDGS의 조단백 함량은 변하지 않았고 아플로톡신도 처음이나 저장이 끝날 때까지 발견되지 않았다. ㉟