

## 호스지표살포기의 악취감소효과 분석

오인환 · 김기덕

건국대학교 자연과학대학 생물산업기계공학과

## Effect of the Hose Slurry Spreader on Odor Reduction

Oh, I. H. and Kim, K. D.

Dept. of Agricultural and Biosystems Engineering, Konkuk University

### Summary

For the odor test, it was chosen the conventional spreader, the hose spreader, and its combination with disk harrow and spring harrow as a slurry spreader.

By the odor tester (Kalmor- $\Sigma$ ) with dairy slurry, the conventional spreader has the average  $\Sigma$  value of 270, which means that one feels substantial odor and torment. In the cases of hose spreader and its combination with disk harrow,  $\Sigma$  value was 217 and 182 respectively, which means a normal person does not smell any odor.

Spreading the swine slurry with a conventional spreader shows  $\Sigma$  value of 440, which means one feels unpleasant. The hose spreader shows  $\Sigma$  value of 258, which lies in the limit one feels some odor and torment. Its combination with disk harrow has  $\Sigma$  value 184, which means that a normal person can not smell any more. For the conventional spreader, the odor intensity indices from air dilution sensual test and 3 point odor bag as a sensual test were 66.9 and 35.4 respectively. On the other hand, the indices were 9.65 and 11.10 by hose spreader and its combination with disk harrow, which were lower than that of the regulation for industry. Therefore, the developed hose spreader showed an excellent effect on decreasing odor. The correlation between the results from odor tester and 3 point odor bag has shown 0.997 by swine slurry.

(Key words : Slurry spreader, Sensual test, Odor tester, Odor intensity index)

### 서 론

가축분뇨의 살포시에는 악취가 발생하며, 바람에 의해 휘산되어 민원외 요인이 되고 있다. 축산경영에서 발생하는 악취중, 암모니아의 배출유형별 비교에서 농경지 시용 40%, 축사 35%, 분뇨저장 시설 20%, 방목 5%로

농경지에서의 살포 이용에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것을 알 수 있다(Sommer, 1992). 우리나라의 경우에는 국토면적이 협소하여 농경지 인근에 일반적으로 주거지가 있기 때문에 악취저감 문제는 더욱 중요하다고 할 수 있다 (오 등, 2001). 또한, 국제적으로는 기후협약을 맺어 온실가스의 발생을 줄여

가고자 각국이 노력하고 있는 상황에서 암모니아가스의 방출은 억제되어야 한다.

가축분뇨에서 악취를 감소하는 방법으로 미네랄 성분이 주로 된 첨가제를 사용하여 악취성분을 흡수감소하는 방법이 있으나 효율면에서 일률적이지 못하며 체계의 비용이 추가로 든다(Bundy and Hoff, 1998). 슬러리를 호기성 처리하여 악취성분을 변화 또는 휘산시키는 경우도 있으나 질소성분이 암모니아가스의 형태로 대기중으로 날아가기 때문에 대기오염과 비료성분의 손실을 초래한다(이 등, 1999). 그 외에도 액비살포기의 종류와 살포방식에 따라서도 악취발생 정도가 달라진다. 기존의 충돌방식이나 고압분사방식은 바람의 영향을 많이 받으며 악취입자를 멀리까지 휘산시키게 한다(Gronauer et al., 1994). 이와같은 이유로 독일의 액비규정에서는 살포방향이 상향하는 살포장치의 사용을 금하고 있다. 따라서, 살포시 악취를 감소시키는 방법의 개발이 필요하며 토양표면에 근접하여 살포하는 호스지표살포기의 악취감소효과를 관행살포기와 비교하여 규명하고자 한다.

### 재료 및 방법

악취의 측정방법으로는 관능법과 냄새측정기를 택하였다. 관능법으로는 공기희석관능법과 3점비교식 냄새봉투법으로 하였다.

공기희석관능법에서는 냄새봉지의 희석배수를 단계별로 증가시키면서 희석하게 된다. 5명의 판정원이 냄새를 맡아 냄새가 나지 않을 때까지 희석배율을 각각 구하게 하여 각 판정원의 냄새감지 한계희석배수 중 최대치와 최소치를 제외한 나머지를 기하평균한 값을 판정인 전체의 냄새감지 한계희석배수로 하였다. 3점비교식 냄새봉투법에서는 3개의 봉지중 한 개를 냄새가 있는 봉지로 하여 판

정원이 알아맞추는 방법으로 평균정답율이 0.58 이상인 경우에는 계속 희석하여 실시한다. 계산식은 아래의 식(1)과 같다. 처음 계산하여 평균정답율이 0.58 이상이면 처음 희석배수의 10배 더한 희석배수로 다시 선택작업을 실시한다. 그리하여 0.58 미만이 되었을 때 식(2)에 의하여 냄새지수가 결정된다.

$$r_1 = \frac{(1 \times A + 0.33 \times B + 0 \times C)}{\text{판정희수}} \quad (1)$$

$$\text{냄새지수 } Y = 10 \log \left( M \times 10^{\frac{r_1 - 0.58}{r_1 - r_0}} \right) \quad (2)$$

A : 정답 수

B : 답없음 수

C : 틀린답 수

M : 당초 희석배수

$r_1$  : 처음 판정작업에서의 평균정답율

$r_0$  : 두번째 판정작업에서의 평균정답율

환경시료용 시료의 채취는 휴대용으로서 20 l/min 이상의 흡인능력을 가진 펌프로 공기를 매우 짧은 시간(6~30초)동안 10 l의 무취성, 보존성을 지닌 시료채취봉지에 채취하였다.

최근에 개발된 냄새측정기(KALMOR-Σ)를 이용하여 악취를 측정하였으며, 공기희석 관능법으로 분석한 결과와 비교하였다. 그 원리는 백금 coil상에 금속산화물 ZnO<sub>2</sub>를 소결시킨 것으로, 이곳에 냄새물질이 흡착하면 환원성 전자가 공급되어 전자밀도가 증가해서 센서의 방열이 길어져 온도가 떨어지게 된다. 온도가 내려가면 백금coil상의 저항치가 내려가서 전류가 흐르기 쉽게 되는데, 이 전류의 증가를 냄새분자의 검지로서 Σ치 표시에 변환한다. 다음 표 1에는 냄새측정기의 기준치와 실용적 의미를 나타내었다.

Table 1. The practical meaning of  $\Sigma$  value

$\Sigma$ Value	Practical meaning	Evaluation
0~180	Fresh air without odor	◎
180~220	No smells by normal person	○
220~250	Some odor, need no ventilation	△
250~350	Feel enough odor, torment	▲
Over 350	Unpleasant	■

슬러리 살포기는 관행살포기, 호스지표살포기, 그리고 호스지표살포기와 디스크헤로우, 스프링헤로우의 조합을 선택하였다 (그림 1). 시료의 채취는 천원목장의 조사료포장에서 슬러리를 살포할 때 바람이 불어오는 쪽을 향하여 시행하였다. 기상조건은 맑은 날이었다.

통계처리에서 각 측정방법 간의 상관관계는 Pearson의 상관계수 r로 보통 나타내었는데 -1부터 +1사이의 값으로 절대값이 클수록 관련성이 크다는 것을 의미한다. 유의수준 p값은 0.05를 기준으로 하여 그 값이 0.05이하일 때 직선적인 관련성을 보인다고 말할 수 있으며 두 데이터간에 선형 상관이 있는 경우 단순선형 회귀분석을 실시하였다.

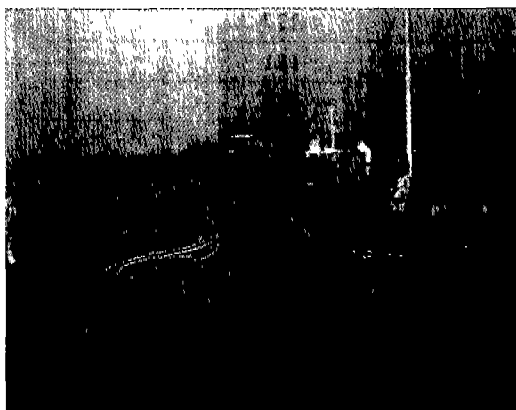


Fig. 1. View of the hose slurry spreader.

### 결과 및 고찰

낙농슬러리로 호스지표살포기, 그리고 여기에 스프링헤로우와 디스크헤로우를 조합한 살포기로 시험을 수행하였다. 냄새측정기로 측정된 수치에서는 스프링헤로우조합형에서 최대 293까지도 되었으나 평균적으로는 230, 250-255, 225로 약간 냄새를 느끼나 환기가 필요치 않은 상태이었다. 각 시험구간에 차이를 확인할 수 없었던 반면에 관능시험법에서는 지표살포기가 조합형보다 높게 나타났다. 공기희석 관능법에서 호스지표살포기는 31.07, 호스지표살포기와 헤로우 조합에서는 11.45로 되어서 방법 간에 차이가 있으나 냄새측정기의 결과와는 일치하지 않았다. 그 이유는 순간적인 풍향의 변동 등 시료채취에서 문제가 있었던 것으로 사료되며, 또 시험구가 호스지표살포기와 그 헤로우조합형으로 악취의 발생정도가 낮은 수준이었기 때문인 것으로도 분석된다.

슬러리 살포시 악취농도의 변화를 알기 위하여 연속적으로도 측정하였다. 악취의 연속 측정 실험에서는 냄새측정기에 의한  $\Sigma$ 치가 관행살포기에서 최대 351까지도 되었으나 평균 270, 호스지표살포기에서는 전수치가 240 미만이었으며 평균적으로는 217, 그리고 호스지표살포기와 디스크헤로우조합에서는 수

Table 2.  $\Sigma$  value of dairy slurry (dry matter 7.3%) by the odor tester

Hose spreader	Maximum	250
	Minimum	210
	Average	230
	After 10 minutes	146~154
Hose spreader Spring harrow	Maximum	293
	Minimum	230
	Average	250~255
	After 10 minutes	160
Hose spreader Disk harrow	Maximum	240
	Minimum	185
	Average	225
	After 10 minutes	149

\* Outside air : standard 100

Table 3. Odor intensity index by air dilution sensual test

Slurry spreader	Air dilution sensual test
Hose spreader	$\sqrt[3]{30 \times 10 \times 100} = 31.07$
Hose spreader + Spring harrow	$\sqrt[3]{30 \times 10 \times 5} = 11.447$
Hose spreader + Disk harrow	$\sqrt[3]{30 \times 10 \times 5} = 11.447$

Table 4.  $\Sigma$  value of dairy slurry (dry matter 8.9%) by odor tester

Conventional spreader	Hose spreader	Hose spreader+Disk harrow
PM05:00 measure time	PM04:00 measure time	PM03:30 measure time
Each 10 seconds	Each 10 seconds	Each 10 seconds
285	213	177
310	207	181
351	210	188
326	212	179
295	235	190
260	240	174
226	222	167
232	211	198
209	201	196
203	214	168
Average 269.7	Average 216.5	Average 181.8

\* Outside air : standard 100

Table 5.  $\Sigma$  value of dairy slurry (dry matter 10.13%) by odor tester

Conventional spreader (lagoon slurry)	Conventional spreader (Fresh slurry)	Hose spreader (lagoon slurry)
PM12:00 measure time	AM12:00 measure time	AM11:00 measure time
Each 10 seconds	Each 10 seconds	Each 10 seconds
346	152	175
541	179	182
569	149	289
718	192	253
635	245	206
531	391	196
622	378	271
648	272	236
526	302	301
427	223	274
478	209	237
568	227	180
630	366	
471	265	
Average 550.71	Average 253.57	Average 233.33

\* Outside air : standard 100

Table 6.  $\Sigma$  value of swine slurry (dry matter 4.0%) by odor tester

Conventional spreader	Maximum	687
	Minimum	194
	Average	440.5
Hose spreader	Maximum	332
	Minimum	185
	Average	258.5
Hose spreader Disk harrow	Maximum	246
	Minimum	123
	Average	184.5

\* Outside air : standard 100

Table 7. Odor intensity index by two sensual tests

	Air dilution sensual test	3 point odor bag
Conventional spreader	$\sqrt[3]{10 \times 100 \times 300} = 66.94$	35.44
Hose spreader	$\sqrt[3]{3 \times 10 \times 30} = 9.65$	11.16
Hose-spreader+Disk harrow	$\sqrt[3]{3 \times 10 \times 30} = 9.65$	11.01

치가 200미만이었으며 평균 182로 나타났다. 관행살포기의 수치 270은 취기를 충분히 느끼고 피로움이 생기는 정도였으나, 다른 두 가지 방법에서는 보통사람의 후각으로는 냄새를 느끼지 못하는 상태로 악취 감소효과가 양호하였다.

우분뇨의 저장상태에 따른 시험에서는 라군에서 혐기발효가 진행된 낙농슬러리를 가지고 관행살포기로 살포하였을 때에는 표 4에서 보는바와 같이 냄새측정기의 수치가 한 때는 최대 718까지도 치솟았으며 평균 551로 불쾌감을 느낄 정도로 아주 높았고, 생분뇨를 가지고 살포하였을 때가 최대 391까지로 되었고 평균 254로 취기를 충분히 느끼는 상태였고, 호스지표살포기로 혐기성 발효된 슬러리를 살포하였을 때에는 최대 301까지도 되었으나 평균 233으로 냄새는 느껴지나 특별히 환기가 필요없는 정도이었다. 동일한 시험재료에서 호스지표살포기가 관행살포기보다 악취가 월등히 적었으며, 슬러리의 비교에서는 혐기발효된 분뇨가 생분뇨보다 악취가 더 심함을 알 수 있었다. 3점비교식 관능측정법으로 생분뇨를 관행살포기로 살포하였을 경우의 냄새지수는 26이었다.

양돈슬러리에서 냄새측정기로 측정한  $\Sigma$ 치는 관행살포기에서 최대 681이었으며 평균 440으로 취기가 불쾌감을 느낄 정도였고, 호

스지표살포기에서 최대 332이었고 평균적으로 258로 냄새를 느끼나 환기가 필요치 않은 상태와 피로움을 느끼는 경계상태였으며, 그리고 호스지표살포기와 디스크해로우의 조합에서는 최대 246이었고 평균 184로 보통사람으로 냄새를 느끼지 못할 정도로 되어서 우수한 악취감소효과를 얻을 수 있었다.

공기회석 관능법과 3점비교식 냄새봉투법에서 보면 역시 관행살포기에서는 냄새지수가 66.9 또는 35.4로 높게 나타났으며, 지표살포기 또는 그 조합형에서는 9.7 또는 11.1로 낮았으며 방법간에 차이는 없었다.

호스지표살포기 또는 그 해로우조합형에서는 냄새지수가 공기회석 관능법과 3점비교식 냄새봉투법에서 각각 9.7 또는 11.1로 부지경계선에서 공업지역내의 사업장과 기타 지역 사업장에 대한 우리나라의 악취규제 허용기준 20, 15보다 낮은 수준을 나타내었다.

Gronauer(1994) 등은 슬러리의 살포시 암모니아의 휘산에 관한 시험에서 스프링클러, 충돌관식, 수직살포관의 순으로 암모니아의 휘산이 적었다고 하였다. 신기술인 호스살포기, 슬러리주입기 등에서는 공기와의 접촉이 이루어지지 않기 때문에 암모니아의 휘산이 거의 없다고 하였다.

낙농슬러리와 양돈슬러리의 냄새측정기와 공기회석관능법에 대한 데이터간의 상관분석

Table 8. Correlation between  $\Sigma$  values and sensual tests

	Correlation analysis of dairy slurry (Air dilution sensual test)	Correlation analysis of swine slurry (Air dilution sensual test)	Correlation analysis of swine slurry (3 point odor bag)
Correlation Coefficient(r)	0.644	0.944	0.977
Test statistic(t)	1.189	4.028	6.509
Degree of free	2	2	2
P value	0.35634	0.05646	0.0228

에서는 p값이 각각 0.35634, 0.05646으로 기준 유의수준인 0.05보다 높기 때문에 유의한 직선적인 관련성을 보인다고 말할 수 없다. 낙농슬러리의 경우 점정통계량 t값이 1.189로 낮게 나타나는데 공기회석관능법 측정을 위한 시료채취에 문제가 있었던 것으로 사료된다. 양돈슬러리의 경우 상관계수가 0.944로 높지만 선형 상관이 없다고 나타나는 이유는 공기회석관능법에서 냄새의 강약에 대한 시험관정자의 주관이 크게 작용하여 측정된 데이터에 문제가 있는 것으로 사료된다. 양돈슬러리에서  $\Sigma$ 치와 3점비교식 냄새봉투법에 대한 상관관계에서는 예상했던대로 상관계수가 0.977로 높고 p값이 유의수준 0.0228로서 직선적인 관련성을 보인다고 말할 수 있는데, 3점비교식 냄새봉투법이 냄새의 유무로서 시험관정을 하므로 냄새의 강약에 대한 주관성이 크게 배제되었기 때문으로 사료된다.

### 적 요

슬러리 살포기는 관행살포기, 호스지표살포기, 그리고 호스지표살포기와 디스크해로우, 스프링해로우의 조합을 선택하였다.

악취의 실험에서 낙농슬러리를 살포할 경우에 냄새측정기로 측정한 결과에 의하면 관행살포기가 평균 270으로 취기를 충분히 느끼고 괴로움이 생기는 정도였고, 지표살포기, 그리고 지표살포기와 디스크해로우의 조합에서는 각기 217, 182로 보통사람의 후각으로는 냄새를 느끼지 못하는 상태이었다.

양돈슬러리에서 냄새측정기로 측정한 악취강도는 관행살포기에서 440으로 취기가 불쾌감을 느낄정도였고, 지표살포기에서 258로 냄새를 느끼나 환기가 필요치 않은 상태와 괴로움을 느끼기 시작하는 경계상태이었다.

그리고 지표살포기와 디스크해로우의 조합에서 184로 보통사람으로는 냄새를 느끼지 못할 정도이었다. 공기회석 관능법과 3점비교식 냄새봉투법에서 보면 역시 관행살포기에서는 냄새지수가 66.9 또는 35.4로 높게 나타났으며, 지표살포기 또는 그 조합형에서는 9.7 또는 11.1로 낮았으며 방법간에 차이는 없었다. 이상의 결과에 의하면 개발된 해로우조합형, 호스지표살포기의 순으로 악취감소측면에서 탁월한 효과가 있는 것으로 입증되었다.

상관관계 분석에서는 양돈슬러리의  $\Sigma$ 치와 3점 비교식 냄새봉투법에서만 상관계수가 0.997로 유의한 직선적인 관련성을 보였다.

### 인 용 문 헌

1. 오인환 2001. 액비살포기의 작업시 냄새 발생정도에 관한 연구. 제7회 한국축산시설환경학회 학술논문발표회 120-128.
2. 이명규, 허재숙, 태민호, 정진영, 권오중. 1999. 고온호기산화법으로 처리된 양돈분뇨 배출액의 무취화 관리방안에 관한 기초 연구. 축산시설환경학회지 제5권 2호 123-132.
3. Bundy, D. S. and S. J. Hoff. 1998. The Testing Procedures and Results of Pit Additives Tested at Iowa State University. An International Conference on Odor, Water Quality, Nutrient Management and Socioeconomic Issues, July 19-22, 1998 Des Moines, Iowa 279-285.
4. Dewws, T., L. Schmitt, U. Valentin and E. Ahrens. 1990. Nitrogen losses during the storage of liquid livestock manure, Biological wastes, 31, 241-250.
5. Gronauer, A., H. Schoen, N. Claassen and

- J. Boxberger. 1994. Ammoniakverfluechtigung waehrend der Fluessigmistausbringung. Landtechnik 49.Jahrgang 70-71.
6. Hartung, J. and V. R. Phillips. 1994. Control of gaseous emissions from livestock building and manure stores. J. Agric. Engng. Res. 57, 173-189.
7. Isensee, E. and R. Thamsen. 1984. Verteilgenauigkeit fuer Guellewagen. RKL-Schrift 4.2.0. 889-916.
8. Luoma, T. S. 1982. Ausbringen und Verteilen von Fluessigmist - KTBL-Schrift 279, Landwirtschaftsverlag GmbH Muenster-Hiltrup.
9. Sommer S. G. 1992. Ammonia volatilization from cattle and pig slurry during storage and after application in the field. The Danish Institute of plant and Soil Science. Denmark.