Ⅵ. 양돈장 냄새 저감방안

악취방지법이 시행된 이후 악취의 관리체계가 지역적이면서 악취 배출원을 없애는 방향으로 이루어지고 있기 때문에 악취와 밀접한 관계가 있는 축산은 이 법의 직접적인 영향권 내에 있다. 더욱이 환경문제 해결에 대한 요구와 관심이 주변 및 사회 전반에서 증대되고 있다. 또한 과거에는 돈사와 멀리 떨어져 있던 주거지가 이제는 도시화, 아파트 단지화로 돈사와 인접하게 되고 돈사에서 발생되는 악취문제로 일반인들의 불평과 불쾌감 표시 민원은 날로 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 양돈장에서 악취문제는 또 하나의 환경문제로 해결을 해야 되는 주요 사안으로 자리 잡고 있다. 한편 이제는 농촌마을 주민이라 하더라도 양돈장에서 발생되는 악취를 인내하지 않는 경향 때문에 향후 관련 민원은 더욱 증가할 것이라고 예상된다. 그러나 양돈산업이 우리사회에 미치는 공익적 기능과 사회적인 기여도까지 무시되어서는 안되며, 축산 악취문제는 어느 특정그룹만의 문제가 아닌 우리 전체의 문제로 받아들이고 문제해결을 위한 대책을 강구해야 한다. 더불어 세계는 하나라는 취지아래 환경지표의 설정을 통한 환경수준을 국제무역과 연계시키려는 세계적인 흐름 속에서 국내 축산업이 경쟁력이 있는 산업으로 그 기틀을 마련하기 위해서도 친환경 축산업으로의 방향전환은 필연적이라 할 것이다. 이와 같은 방향전환만이 양돈산업의 장기적인 성장 및 영속성을 보장 받을 수 있다. 따라서 양돈장 악취저감 방안으로 사료배합과 연계된 냄새조절 전략, 환경개선제 이용 냄새저감 방안, 돈사시설 개선에 의한 냄새저감 가능성 검토, 돈분뇨처리 및 관리개선에 의한 냄새저감, 돈분뇨 액비저장조 및 액비 시용시 냄새저감 방안 등 연구결과에 대한 자료정리보고와, 악취방지법의 법적, 제도적 개선사항에 대하여 종합하였다.

1. 사료배합과 연계된 냄새조절 전략

과거에는 돼지의 생산성 극대화가 가장 중요한 과제이었으나, 현재는 영양소 (특히 아미노산, 인 및 미량광물질 등)의 과잉공급과 이로 인한 환경오염문제가 큰 관심이 되고 있다. 일반인들의 부정적인 시각과 더불어 점차 엄격해지고 있는 환경적인 제약조건들로 인하여 섭취된 영양소의 축적을 통한 생산성 향상뿐만 아니라 영양소의 배설량을 효율적으로 줄일 수 있는 방법에 대한 관심과 고민을 하지 않을 수 없게 되었다.

환경오염 문제에 대한 인식의 고조로 인해, 앞으로 사료제조는 가축의 생산성 극대화만을 위해 설계될 수는 없을 것이다. 그 이유는 분뇨 처리 및 환경 부담금 비용이 점차 증가함에 따라 가축의 최대 성장을 위해 투여되는 영양소 단위 당 비용이 점차 증가되기 때문이다.

사료관리 측면의 친환경 양돈사료 설계방향은 한국형 돼지의 영양소 요구량을 기초로 하고 오염물질 배설량 감소방안을 우리 현실에 적합하도록 하는 조정을 통해 악취발생량을 감소시킬 수 있도록 하여야 할 것이다

가. 배출된 영양소의 작용

사료를 통해 공급된 영양소는 가축의 소화기내에서 일정량 소화 흡수된 후 나머지는 분뇨를 통해 배설되어 생태·환경계로 배출되어진다. 결국 영양소 이용성 정도가 축산으로 인한 환경오염 부하량과 직결된다고 할 수 있다.

돼지로부터 배출되는 영양소 중 환경계에서 가장 문제가 되는 것은 질소와 인 성분으로서, 질소의 누출은 지하수 중의 질산염 농도를 증가시키고 이 질산염은 우물이나 유출수 등을 통하여 지표수에 흘러들어 가게 된다.

질산염은 헤모글로빈이 산소를 조직에 운반하는 능력을 감소시킴으로서 어린아이들의 경우 청색증을 유발하는 것으로 잘 알려져 있다.

인은 토양분자에 포함되어 지하수로 누출되지 않고, 토양분자와 함께 개울과 호수 그리고 강으로 흘러들어 수질을 오염시키고 조류 및 수중식물의 성장제한요소로 작용한다. 통상적으로 인은 조류 및 수중식물의 성장 촉진에 있어 유기탄소화합물의

100배, 질소의 5배 정도로 높은 효과를 갖는다.

이들 조류가 수중에서 과다하게 성장하게 되면 어패류에 유독한 독소를 생산하고 물에서 악취를 발생시키며, 조류가 사멸한 후 부패하게 되면 생존 시보다 광합성 작용에 의해 생산했던 이상의 용존산소를 소모하게 되고, 호수바닥에 침전된 조류가 혐기상태에서 분해되면 유화수소 등의 유해가스를 생성하는 등 수질을 극도로 악화시키는 원인이 된다.

나. 돼지의 영양소 이용률에 대한 이해

사료로부터 악취발생을 줄이기 위해서는 우선 돼지의 영양소 이용률에 대한 이해가 필요하다. 돼지의 영양소 이용률 및 배설량은 사료의 품질과 원료의 조성, 사료 섭취량, 사료 내 영양소 수준 및 균형, 돼지연령, 품종 및 사양 환경 등과 같은 많은 요인에 의해 영향 받는다.

어떠한 이상적인 조건하에서도 돼지는 섭취한 영양소를 100% 이용할 수 없다. 일반적으로 시판되는 돼지사료의 영양소 이용률은 섭취한 사료 대비 각 성분별 이용률은 질소 30-55%, 칼슘 30-50%, 인 20-50%, 칼륨 5-20%, 나트륨 10-25%, 마그네슘 15-30%, 구리 5-30%, 아연 5-30%, 망간 5-10%, 철 5-30%이며, 섭취량 대비 배설량의 비율은 질소가 45-60%, 칼슘과 인은 50-80%, 나트륨, 마그네슘, 구리, 아연, 망간 그리고 철은 70-95% 정도이다.

돼지의 영양소 배설량을 증가시키는 가장 직접적인 원인은 소화흡수 능력 이상의 과도한 영양소가 사료에 존재하기 때문이다. 영양학자와 사료배합 담당자들은 이러한 과다 영양소를 원료의 변이 등의 이유로 발생될 수 있는 영양소 부족을 피할 수 있는 안전장치라고 인식하고 있다. 실제로 미국 내 주요대학과 사료회사에서 적용하고 있는 사료 내 영양소 수준은 NRC (1998)에서 권장하는 영양소 수준보다 훨씬 높다. 한 미국 내 대학의 조사보고에 의하면, 미국 내 대학과 사료회사가 적용하고 있는 모돈과 비육돈 사료 내 광물질 수준이 NRC (1988) 대비, 칼슘 161-192%, 인 140-155%, 나트륨 147-190%, 칼륨 390-423%, 마그네슘 400-525%, 구리 440-667%, 철 470-776%, 망간 770-3,100% 그리고 아연 298-334% 정도인 것으로 조사되었다.

소화이용률이 높은 원료를 선발하고 사료 내 과다한 성분함량을 줄임으로서 분뇨를 통한 환경오염 물질 배출량을 줄이는 가장효과적인 수단이 될 것이다.

다. 영양소 배설을 최소화 하기위한 영양학적 접근방법

□ 원료사료의 선발

돼지의 영양소 이용성을 높이기 위해서는 소화율이 높은 원료를 선정하여 사료를 배합하는 것이 매우 중요하며, 동일한 사료 원료 간에도 원료사료의 전 처리 및 가공방법에 따라 영양소의 이용성이 큰 차이를 보인다.

□ 사료첨가제의 이용

<효소제>

생물공학 기법의 발달에 힘입어, 최근에는 과거에 비해 보다 경제적인 비용으로 효소제의 생산이 가능해 졌으며, 많은 상업용 가축사료에 효소제가 첨가되고 있다. 일반적으로 가축사료에 효소제 사용 이유를 다음과 같이 요약해 볼 수 있다.

효소제를 사용하면 동물의 내생 소화효소에 의해 분해하기 어려운 곡물의 저장성 탄수화물부분과 단백질의 이용성을 높일 수 있다. 가축사료의 가장 기본원료가 되는 대부분의 곡류는 이들이 갖고 있는 섬유소 함량, 특히 섬유성 다당류, 셀룰로오스, 펙틴, 헤미셀룰로오스, 글리코프로틴, 리그닌 및 비전분성 다당류 (NSP) 등에 의해 그 영양적 가치가 감소하게 된다.

원료사료가 갖는 총에너지와 외견상 대사 에너지가의 차이는 바로 실제 동물의 생산 목적에 부합될 수 없는 에너지의 양을 의미하며 이러한 차이는 이들 섬유소 및 섬유성 탄수화물을 분해할 수 있는 적절한 외인성 효소의 사용에 의해 감소 될 수 있다.

효소제의 사용에 의해 전분, 단백질 및 지방과 같은 영양소의 이용률을 개선하여 원료사료의 에너지가치를 올릴 수 있다. 이러한 이유로 사료배합 시 원료사료의 변이나 비교적 품질이 떨어지는 다양한 원료의 적용 시 효소제를 사용하게 된다.

효소제는 동물의 소화기관에서 분비하는 내생 효소들이 분해 할 수 없는 원료사료 성분의 특정 결합부위를 분해시킴으로서 더 작은 분자 단위의 영양소가 다시 내생효소들에 의해 세분화 될 수 있게 할 수 있다.

실제로 적절한 효소제를 사료에 첨가하면 곡류의 내배아 세포벽 다당류를 일부

분해할 수 있기 때문에 비전분성 다당류의 분해를 통한 일정양의 에너지 이용성을 높일 수 있다.

적절한 효소제의 사용은 동물사료의 원료가 갖고 있는 많은 항 영양적 인자를 효과적으로 억제함으로써 원료사료의 가치를 증대시킨다. 이러한 항 영양인자는 다른 영양소의 소화 및 흡수를 억제할 뿐 아니라 소화기관내 통과속도를 변화시키며, 하부장기에서 미생물에 의한 발효를 증가시키는 등 많은 소화 장해를 일으키게 된다.

따라서, 사료 내 이러한 항 영양 인자가 많으면 많을수록 배설되는 분뇨의 양이 증가할 뿐 만 아니라 성장지연, 가스 발생량 증가, 설사 등으로 동물의 생산성에 부정적인 영향을 미치게 된다.

양돈 사료에서 현재까지 가장 중요한 효소제는 미생물 기원 인 분해 효소인 파이테이즈라고 할 수 있다. 파이테이즈는 사료의 주요 원료인 곡류의 종실 내 주요한 인 함유 구성 물질이며, 기본적으로 식물체 내에서 발아를 위해 인을 저장하는 생리적 작용을 한다.

양돈 사료의 주요 원료는 곡류와 종실 및 그것의 부산물인데, 문제는 이러한 사료에 존재하는 인 중 60-90%가 돼지가 잘 이용할 수 없는 파이테이즈 형태로 존재한다. 따라서 이러한 유기태 형태의 인을 돼지가 이용하도록 하기 위해서 파이테이즈와 같은 효소에 의해 무기태 인으로 분해되어야 한다.

만약 이러한 파이테이트를 효율적으로 분해할 수 있는 인 분해 효소의 도움이 없다면, 사료 내 많은 인이 소화, 흡수되지 못하고 배설되게 되며, 이렇게 배설되는 인은 결국 하류나 하천의 부영양화를 초래함으로써 생물의 근원인 수자원을 오염시키게 된다.

돼지의 소화관 내에서도 이러한 유기태 인을 분해 할 수 있는 파이테이즈가 소화관 내, 원료 사료 내, 장내 미생물, 외부 유래 미생물에 의해 분비되지만, 네 가지 종류의 파이테이즈 양이 적어 단위동물의 파이테이트 이용성을 개선하기에는 부족하다.

그러나 최근에 미생물 유래 파이테이즈가 영양소 배설량 감소에 미치는 효과에 대한 많은 연구를 통해 파이테이즈의 첨가가 영양소 특히 인의 배설량을 크게 줄일 수 있다는 사실이 밝혀졌다.

또한 유기태 인을 무기태 형태로 변화시키는 기능 이외에 파이테이트와 결합되어 있는 난용성 단백질, 아미노산 및 미량 광물질 복합체를 분해하여 이들 영양소의

이용성 또한 증가시킬 수 있다는 사실을 확인하였다.

이외에 사용되는 효소제는 주로 비전분성 다당류를 분해 할 수 있는 효소제들이 주를 이룬다. 자이라네이즈와 β-글루카네이즈는 밀이나 보리에 주로 들어 있는 비전분성 다당류를 분해할 수 있는 대표적인 효소이다. 이 밖에는 어린 자돈의 전분 이용성을 높이기 위해 아밀라제가 사료에 첨가되기도 한다.

이 들 대표적인 효소들은 한 가지 효소만을 함유하는 단일제품과 여러 효소의 역가를 동시에 갖는 복합제 형태로 사료에 첨가되고 있다.

표 1-1은 효소제의 첨가가 돼지의 생산성에 미치는 영향에 관한 연구결과들을 요약해서 나타내고 있다. 표에선 보는 바와 같이 적절한 효소제의 첨가가 돼지의 생산성을 개선시켰다는 연구결과는 많이 있다.

<표 1-1> 효소제의 첨가가 돼지의 생산성에 미치는 영향

효소제	첨가량	돼지체중 혹은 연령	개선율 (%)		연구자
			일당증체량	사료효율	
복합효소제[1]	0.2%	97 일	+8.00	+13.03	노 등
복합효소제	0.2%	0-18 주	+16.44	+0.47	민 등
복합효소제	0.075%	35 일	+9.13	+0.17	한 등
복합효소제	0.125%	35 일	+9.13	+0.82	Han 등
자이라제[2]	1.0%	38 kg	-	-	Vandelholm 등
복합효소제[3]	0.1%	10 kg	+5	+7	김 등

* 아밀라제, β-글루카나제, 프로티아제, 셀루라제, 펙타제 함유 복합 효소제.
* 단일 효소제.
* α-갈락토시다제, 갈락토만나제, 자이라나제, β-글루카나제 함유 복합 효소제.

양돈 사료에 외인성 기원 효소제의 첨가 효과를 연구한 많은 결과들을 보면, 특히 성장률 개선 측면에서 볼 때 다소 일관성이 없다. 이러한 이유는 원료사료의 조성, 돼지의 연령, 효소의 열안정성, 산 안정성 등 많은 요인에 의해 효소제의 효과가 영향을 받을 수 있기 때문이다.

그러나 정도의 차이는 있으나 적절한 효소제 첨가가 사료의 영양소 이용률을 개선시킬 수 있다는 사실은 일반적으로 받아들여지고 있다.

따라서, 앞으로 양돈 사료에 이러한 효소제 첨가는 생산성 개선 측면이외에도, 원료사료의 변이나 변화에 따른 사료의 품질 유지나 영양소 배설량을 줄일 수 있는

환경 친화적 측면에서 그 사용 당위성이 더 증가하는 추세이다.

<합성아미노산>

돼지가 필요로 하는 아미노산 요구량에 대한 정확한 정보를 통해 아미노산 및 단백질 수준을 적절히 하여 사료를 배합하고, 이로 인해 영양소 배설량을 감소시킬 수 있다. 이러한 정확한 아미노산 요구량에 대한 정보는 '이상 단백질' 혹은 '균형 아미노산'의 개념을 적용할 수 있다. 이상단백질이란 동물의 유지 및 성장에 필요한 모든 아미노산들이 정확한 비율로 균형 있게 구성되어진 단백질을 의미한다.

돼지의 질소 손실의 많은 부분은 소화 및 흡수의 비효율성과 관련이 있으며, 또한 흡수된 이후에 질소가 체 단백질 합성에 효율적으로 이용되지 못할 때 많은 질소의 손실이 발생하게 된다.

사료 배합 시 단백질요구량의 일부를 합성 아미노산으로 대체하는 것은 동물의 분뇨 내 오염물질 배설량을 줄일 수 있는 매우 효과적인 방법이다. 합성아미노산을 사용하면 사료 단백질을 절약하는 효과가 있다. 이는 값비싼 동물성 단백질을 이용하는 대신 저렴한 식물성단백질을 이용하고 0.1-0.2%의 합성아미노산을 첨가함으로써 전체 조단백질 수준을 2-3%정도 낮출 수 있는 것을 말한다.

지난 20년간 이루어진 저 단백질 사료에 합성아미노산 첨가가 돼지의 성장 및 영양소 배설에 미치는 영향에 관한 연구결과들이 표 1-2 에 요약되어 있다. 표 1-2에서 나타난 바와 같이 적절한 수준의 합성 아미노산을 첨가하면 사료 내 단백질의 수준을 2-4% 정도 낮추어도 성장률이 떨어지지 않으면서도 질소 배설량을 상당히 줄일 수 있음을 알 수 있다.

이유자돈 사료에서 조단백질 16%에 0.1-0.4%의 라이신을 첨가하여 성장능력과 질소 배설량에 가장 좋은 영향을 미치는 수준을 결정하는 실험을 실시한 바 성장능력은 라이신 0.1% 첨가로도 조단백질 18%와 비슷한 효과를 얻었으며, 영양소 배설량은 라이신 0.2% 첨가구에서 가장 많이 감소하였고, 질소 배설량은 사료의 조단백질 함량이 낮아짐에 따라 17.7% 감소하였으며, 인 배설량은 20.9% 까지 감소하였다는 연구결과도 있다.

또한 최근 한 연구에서는 합성아미노산을 첨가하여 사료 내 단백질 수준을 낮추면, 질소 배설량을 줄일 수 있을 뿐 아니라 분뇨의 부피까지 줄일 수 있는 효과가 있다고 하였다.

<표 1-2> 돼지의 성장 및 영양소 배설에 미치는 합성아미노산의 첨가 효과

조단백질 수준 (%)	첨가수준 (%)				체중 (kg)	증체량 (%)	사료 효율 (%)	배설 (%)*		
	라이신	메티오닌	트레오닌	트립토판				건물	질소	인
18-16	0.10	-	-	-	9-25	+2.8	+1.5	-16.7	-10.6	-14.7
18-16	0.20	-	-	-	9-25	-1.3	+0.0	-22.5	-17.7	-20.9
18-16	0.40	-	-	-	9-25	+1.5	+1.0	-16.3	-4.0	-15.8
14-14	0.15	-	-	-	25-30	+14.5	-	-	-33.7	-
14-14	0.30	-	-	-	25-30	+36.0	-	-	-31.7	-
14-14	0.45	-	-	-	25-30	+42.3	-	-	-38.5	-
16.9-15.6	0.24	-	-	-	44.2	-	-	-	-13.9	-
14.6-13.5	0.22	-	-	-	84.1	-	-	-	-19.3	-
16-12	0.34	-	0.16	0.07	22.3	-3.6	-4.0	-4.4	-29.3	-
18-15	0.28	-	-	-	14-26	-8.7	-7.1	-0.1	-6.7	+1.6
18-15	0.28	0.04	-	-	14-26	-7.1	-6.2	-1.1	-7.6	-0.6
18-15	0.28	-	0.12	-	14-26	-3.5	-3.5	-4.7	-11.0	-1.4
18-15	0.28	0.04	0.12	-	14-26	+0.2	-1.0	-7.3	-17.2	-0.6
18-15	0.28	0.04	0.12	0.02	14-26	+0.6	-1.0	-7.9	17.7	-0.6

* 저수준의 단백질 함량이 고수준 보다 영양소 배설량이 감소되는 효과

사료 내 단백질 수준을 낮추는 것은 주로 대두박의 함량이 낮아지는 것을 의미하는데, 대두박에는 약 2.0-2.2%의 칼륨이 들어있어서, 사료 내 대두박 첨가수준을 낮추고 필요한 아미노산 수준을 합성아미노산을 통해 맞추어 주면, 결과적으로 사료 내 칼륨의 수준이 낮아지고, 따라서, 칼륨의 배설량도 줄어들게 된다.

또한 이렇게 사료 내 단백질 및 칼륨의 수준이 낮아지면 돼지의 음수량이 감소하는 효과도 기대할 수 있어 결과적으로 분뇨의 부피가 줄어들게 된다.

□ 적절한 사료의 가공

사료의 영양소 이용률을 높일 수 있는 매우 효과적인 방법 중의 하나는 적절한 사료의 가공이다. 사료의 영양소 이용률 향상을 위한 대표적인 사료가공 방법으로는 사료의 입자도 감소, 펠렛팅, 익스트루딩 및 익스펜딩 가공 등을 들 수 있다.

사료의 입자도 감소는 사료의 소화율을 증가시키는 매우 중요한 사료가공방법 중 하나이다. 곡류사료의 입자도를 줄이는 것은 표면적을 넓게 함으로써 소화효소에 의한 작용범위를 넓힘으로써 소화율을 개선시킬 수 있다. 거칠게 분쇄된 사료에 비

해 약 400㎛으로 일정하게 사료를 분쇄시켰을 때 사료의 소화율이 크게 증가하며, 분쇄기의 종류와 상관없이 사료의 입자도를 작게 하면, 거친 사료에 비해 건물 및 질소의 분 배설량이 각각 20, 30% 줄어들 수 있다.

펠렛 가공은 사료 이용률을 효과적으로 향상시키며, 건물, 질소 및 인의 배설량을 감소시킬 수 있다. 한편 영양소 소화율 개선 이외에 사료 허실율을 줄일 수 있는 효과가 있어 가축의 사료 효율을 개선시키는 이점이 있다.

돼지에 있어 펠렛 가공의 효과에 관한 많은 연구 결과들을 종합해 보면, 펠렛 사료는 가루사료에 비해 기호성이 더 높을 뿐만 아니라 사료효율을 크게 개선시킬 수 있으며, 단백질 소화율까지 향상시킬 수 있다고 판단된다.

또 다른 사료 가공방법인 익스트루딩과 익스펜딩은 펠렛 사료의 품질을 향상시키기 위해 주로 이용되고 있는데, 가공 온도가 매우 높기 때문에 이러한 사료가공에 따른 소화율의 영향은 사료의 조성에 따라서 달라질 수 도 있으며, 오히려 과열처리로 인해 소화율이 낮아질 수도 있음에 주의해야 한다.

적절한 사료 가공방법이 갖는 또 하나의 중요한 이점은 원료 사료 내 항 영양인자의 함량을 줄일 수 있다는 것이다. 콩과 같은 대부분의 두과목초 종실들은 항 영양인자들을 함유하고 있다. 단백질의 소화 및 흡수는 사료 내 이러한 항 영양인자들에 의해 방해받는다.

따라서 적절한 사료가공방법을 통해 사료 내 항 영양인자를 제거하는 것은 돼지의 질소 이용률을 향상시킬 수 있으며, 이는 결국 배설되는 질소량을 줄일 수 있게 된다.

□ 적절한 사양방법

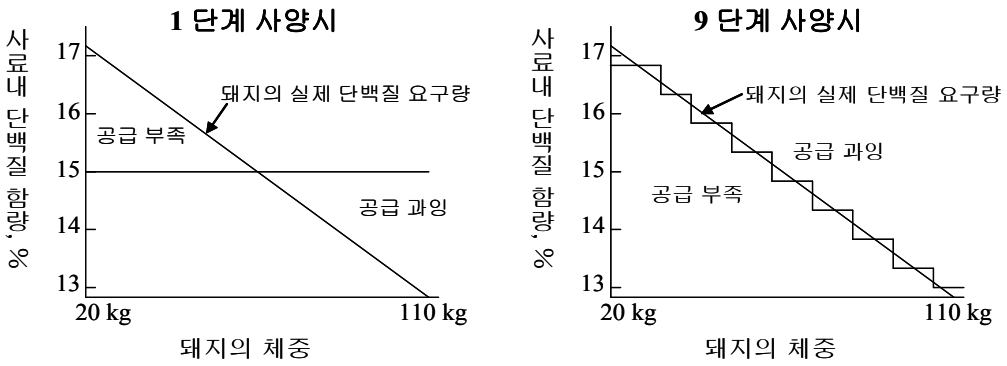
<단계별 사양>

최근에 단계별 사양이 동물의 연령 및 생리적 상태에 보다 적합한 영양소를 함유한 사료를 급여함으로써 질소 및 인의 배설량을 크게 줄일 수 있다는 점이 알려지면서, 단계별 사양은 환경 친화적인 사양급여 방법으로서 많은 관심을 갖게 되었다.

단계별 사양이란 돼지가 필요로 하는 영양소 요구량을 보다 정확하게 맞추어 급여하기 위해 일정한 사양기간을 단계적으로 세분화하여 여러 종류의 사료를 급여하는 것을 말한다.

현재의 사양방법으로는 성장에 따라 급속도로 변하는 돼지의 영양소 요구량을 맞추기 어렵다. 돼지의 성장단계를 여러 단계로 나누어서 사료를 급여하는 것은 돼지가 필요로 하는 영양소 요구량에 더 가까운 사료를 급여할 수 있으며, 이는 경제적일 뿐만 아니라 환경적인 측면에서도 큰 이점을 갖게 된다.

그림 1-1에서 보는 바와 같이 육성·비육돈 단계를 1단계로 사양하는 경우와 9단계로 세분해서 사양하는 경우를 비교하면 어떤 것이 돼지의 실제 단백질 요구량에 가깝게 단백질을 공급할 수 있는 방법인지를 알 수 있다.



<그림 1-1> 육성·비육돈에 대한 단계별 사양방법의 비교

실제로 비육기간동안 한 가지 종류의 사료만을 급이했을 때에 비해 두 단계로 성장 시기를 나누어 두 종류의 사료를 급이 하면 질소의 배설량을 6% 줄일 수 있었으며, 단계별 급이 방법을 통해 돼지의 나이 및 체중에 맞는 사료를 급여한 결과 질소 배설량은 14% 감소하고, 질소 축적량은 10% 향상되었다는 연구 결과도 있다.

최근 국내에서도 오염물질 배설량 감소를 위한 단계별 사양의 적용에 관한 연구가 활발히 이루어 졌으며, 단계별 사양방법이 돼지의 성장능력의 감소 없이 오염물질의 배설량을 효과적으로 줄일 수 있는 방법임을 확인시켜 주고 있다.

<암·수 분리 사육>

암·수 분리 사육 또한 돼지의 질소 및 인의 배설량을 감소시키기 위해 필요한 효과적인 사양방법이 된다. 일반적으로 암퇘지에 비해 거세돈이 더 많은 사료를 섭취하고 더 빨리 자란다는 것은 잘 알려진 사실이다.

한편 암퇘지는 거세돈에 비해 사료효율이 더 좋으며, 근육 축적률은 높은 반면, 지방 축적률은 낮다. 이와 같이 암퇘지는 거세돈에 비해 근육 축적률이 높고, 사료 섭취량이 낮기 때문에 많은 연구자들은 성장 및 도체 정육률을 극대화하기 위해서는 거세돈에 비해 암퇘지의 사료 내 조단백질 수준이 더 높아야 한다.

따라서 암퇘지와 수퇘지를 분리하여 각각의 요구량에 맞는 사료를 급이 하는 것이 암·수를 혼합해서 사육하는 것 보다 효과적이라고 할 수 있다. 즉 암·수의 영양소 요구량이 다른데 이들을 혼합 사육하여 동일한 사료를 급여하는 것은 영양소의 비효율적인 낭비를 통해 분뇨의 배설량을 증가시키는 결과를 낳게 된다.

특히 앞에서 언급한 단계별 사양방법을 적용할 때에는 암·수 분리 사육이 병행되어야 한다. 암·수가 혼합사육 되는 경우에 단계별 사양방법을 통해 단백질 수준을 점차 낮추어 사료를 급여하게 되면, 일정기간 동안은 거세돈의 경우는 단백질 요구량에 맞는 사료가 공급될 수 있으나, 상대적으로 단백질 요구량이 높은 암퇘지의 경우는 같은 기간 동안 단백질 요구량 이하의 사료를 섭취하게 되는 경우가 발생될 수 있다. 이 경우 암퇘지는 유전 능력만큼의 살코기 함량이 증가되지 않기 때문에 자칫 성장률 감소와 수익감소를 초래 할 수 있음을 유념해야 한다.

□ 기타(액상사료 급여)

액상사료 급여 또한 악취를 줄이기 위한 방안으로 시도되었는데, 물과 사료를 4:1 혹은 3:1로 혼합하여 만든 액상사료는 가루사료를 급여한 경우에 비하여 자돈 슬러리에서 발생되는 암모니아, 황화수소 등의 악취 유발 가스 발생량이 13% 및 31%에 그쳤고, 상부 공간의 악취 저감을 위한 액상사료 급여는 악취 유발 가스 발생이 8% 및 23%에 그쳤다. 일부 연구결과들이 암모니아와 악취를 직접 연계하여 고찰하지는 않았으나, 일반적으로 암모니아 저감은 악취 저감을 위한 효과적인 방안으로 받아들이고 있다.

2. 환경개선제 이용 냄새저감 방안

가. 냄새저감 원리

미생물을 이용한 악취제어 원리는 미생물의 접목 방법에 따라 상이하게 달라질 수 있다. 악취물질에 따라서는 세균총의 변화로 악취물질이 포함된 물질상의 변화가 유도됨으로서 악취물질의 감소가 이루어지거나 때로는 미생물이 직접적으로 악취물질을 자화시키거나 하여 악취물질을 없앨 수 있고 악취물질의 전구체를 미생물의 먹이체로 이용해버림으로서 추후 대사과정에 발생될 수도 있는 악취물질의 량을 줄어들게 한다든지 하여 미생물을 이용하여 악취물질의 저감에 활용하게 된다.

특히, 각종 미생물을 이용하여 공기 중의 악취물질을 인위적으로 제어할 수가 있는데 과거로부터 악취의 확산방지에 토양의 효과를 적극적으로 활용하였던 것과 같이 자연계에서 미생물에 의한 생물화학적 산화분해에 의해 일어나는 탈취현상을 인위적으로 조정 관리하여 효율화할 수 있다. 여기서 이용되는 미생물은 악취물질을 산화 분해함으로서 에너지를 얻어 증식한다. 그리고 악취물질을 구성하는 C, H, N, S 등의 물질 중 일부는 미생물 자체의 균체를 구성하는 성분이 되지만 대부분은 미생물에 의해 산화되어 CO_2, H_2O, NO_3, SO_4 등으로 바뀌어진다.

예를 들면 시스테인이나 메치오닌 등의 분해로 인하여 생성된 황 화합물은 슈도모나스 균에 의하여 산화되어 SO_4로 분해되고 더불어 에너지와 산이 형성이 된다. 황화수소의 제거에는 이 물질에 대한 기질선호성이 매우 뛰어난 것으로 보고된 티오바실러스균 등으로 활용할 수가 있고,

암모니아의 경우는 물질상의 변화나 미생물의 직접적인 작용으로 제거될 수 있는데 특히 나이트로소모나스 균의 산화작용으로 의해 암모니아가 NO_2와 에너지, 산으로 되는 기전을 통해 암모니아가 제거된다.

탄화수소류와 난분해성 악취물질과 같은 복합유기산의 취기제거에는 바실러스균 등을 이용하여 제거시키는 것으로 보고되고 있다. 이처럼 미생물은 혐기적인 상태나 호기적인 상태의 어느 상에서도 악취물질을 섭취하여 생물학적으로 분해하는 기전을 가지면서 자체 에너지원으로 이용하게 된다.

<그림 2-1> 일반적으로 유통되고 있는 미생물(좌: 세균류, 우: 곰팡이류)

나. 환경개선제로 사용가능한 미생물

환경미생물제제로서 사용가능한 미생물은 일차적으로 가축 장기 내 서식하고 가축에게 유기성이 구명된 미생물로서 주로 사료첨가제로 이용되고 있는 사용가능한 미생물 군으로 집약되어 질 수 있다.

1) 장내 미생물의 역할

장내 미생물은 가축이 섭취한 사료의 영양분을 이용하여 증식하면서 사료의 소화흡수를 돕고 비타민을 합성하며 장내 병원성 세균의 증식을 억제하고 장관 면역기관을 자극하여 면역기관의 발달을 촉진하는 등 닭의 건강유지와 성장에 중요한 역할을 한다.

그러나 유해균들은 독성물질을 생성하고 영양분을 유해물질이나 불필요한 물질로 만들어 소화기관의 형태적 발달과 면역기관 발달에 악영향을 미치고, 섭취한 사료의 대사작용 및 영양소 요구량에 차질을 가져옴으로서 성장장애를 가져오며, 외부 침입 미생물에 의해 해로운 영향을 받기 쉬운 등 가축에게 해를 입히고 있다.

정상가축의 장내에는 이렇게 서로 상반된 작용을 하는 유익균과 유해균이 공존하면서 세력균형을 이루고 있어 장내질서가 유지되는데 질병감염이나 항균제의 투여, 각종 스트레스 등에 의해 유익균이 감소하면 유해균이 증가하게 되어 가축은 쇠약해지고 성장이 지연된다. 따라서 가축의 건강을 유지하고 생산성을 향상시키기 위해서는 장내 유해균을 최대로 억제하여야 한다.

장내 미생물의 변화에 영향을 미치는 요인은 무수히 많지만 크게 요약하면 숙주의 생리, 사료, 사료첨가물 및 사육환경 요인 등에 의하여 변하게 된다. 따라서 사

료 또는 사육관리 면에서 장내균총의 균형을 정상적으로 유지시키려고 하는 대책을 세우는 것이 가축의 생산성을 높이는데 중요하다. 기온이나 습도의 급격한 저하에 의해서 사료섭취량은 증가하고 또한 환기, 채광 등의 요인도 사료의 섭취량에 영향을 주기 때문에 장내균총의 변동을 가져온다.

가축이 지속적으로 스트레스를 받으면 Corticosteroids의 분비가 증가되며 결과적으로 mucin의 분비가 감소된다. mucin은 유산균의 열량 공급원인데 mucin의 분비가 감소되면 이를 이용하는 혐기성균, 특히 유산균의 수가 감소하고 상대적으로 대장균(*E. coli*) 수가 증가하여 장염을 일으키고 설사를 유발하게 된다. 불규칙적인 사료급여법은 개체에 따라서 소화장애를 일으키는 원인이 된다. 따라서 규칙적인 급여가 일정한 정상균총을 유지시키고 가축의 발육에 좋은 결과를 가져온다.

다. 생균제로 사용되는 미생물

생균제로 가장 많이 이용되고 있는 세균은 유산생성균으로 주로 *Lactobacillus*와 *Streptococus*이다. *Lactobacillus* spp중에는 *L. acidophillus, L. bulgaricus, L. plantarium, L. casei* 그리고 *Streptococcus* spp 중에는 *S. faecium, S, thermophilus, S. diacetilactus* 가 주요 균종이다.

포자형성 간균인 Bacillus 속 균으로는 *B. subtilis, B. cereustoyoi, B. toyoi* 등이 있는데 이들은 호기성, 통성혐기성균이고 중온 및 고온성으로 내열성이 강하다. 이들은 일반적으로 amylase와 protease를 분비하며 산과 암모니아를 생성하고 일부는 항생물질(subtilin, bacillomycin)을 생산하기도 한다.

Bifidus 균은 그람양성간균으로써 소화기관내에 우수 균종으로 존재한다. Bifidus 균은 amines 생성을 방지하며 소장상부에 정착, 증식하여 설사와 장염이 유발하는 세균의 증식을 억제한다.

포자형성 간균인 *Clostridium butyricum*은 젤라틴 액화력이 있고 전분 및 당을 분해하여 알콜, 아세톤, 유기산을 생성한다. *Clostridium butyricum miyairi*도 이용되는데 통과균으로 체내에 오랫동안 잔유하지 않으며 젖산균 증식인자를 보유하고 있어 젖산 생성균을 증식시키나 저급지방산(아세테이트, 낙산 등) 등을 생성함으로서 병원성 세균들의 발육을 억제하는 작용을 한다.

곰팡이류는 Aspergillus oryzae가 이용되는데 여러 가지 단백질 및 탄수화물 분해 효소를 생산하며 다른 생균제와 복합제로 사용된다. 효모로서는 유포자 효모인 Saccharomyces와 무포자 효모인 Torulopsis가 이용되고 있는데 특히 *S. cerevisiae*는 yeast culture로 하여 많이 이용되고 있다.

<표 2-1> 동물산업에 이용되는 미생물

Aspergillus niger[a]	*Lactobacillus casei*
Aspergillus oryzae[a]	*Lactobacillus cellobiosis*
Bacillus coagulans	*Lactobacillus curvatus*
Bacillus lentus	*Lactobacillus delbruekii*
Bacillus licheniformis[a]	*Lactobacillus fermentum*
Bacillus pumilus	*Lactobacillus lactis*
Bacillus subtilis[a]	*Lactobacillus plantarum*
Bacteriodes amylophilus	*Lactobacillus reuterii*
Bacteriodes capillosis	*Leuconostoc mesenteroides*
Bacteriodes ruminocola	*Pediococcus acidilacticii*
Bacteriodes suis	*Pediococcus cerevisiae (damnosus)*
Bifidobacterium adolescentis	*Pediococcus pentosaceus*
Bifidobacterium animalis	*Propionibacterium freudenreichii*
Bifidobacterium bifidum	*Propionibacterium shermanii*
(presently Lactobacillus bifidus)	*Saccharomyces serevisiae*[b]
Bifidobacterium infantis	*Streptococcus cermoris (diplococcin)*
Bifidobacterium longum (bifilong)	*Streptococcus diacetylactic*
Bifidobacterium thermophilum	*Streptococcus faecium*
Lactobacillus acidophilus (acidolin)	*Streptococcus intermedius*
Lactobacillus brevis	*Streptococcus lactis (nisin)*
Lactobacillus bulgarican)	*Streptococcus thermophilus(bacteriocin)*

라. 환경개선제의 이용

현재 국내에 유통되고 있는 환경개선제는 토양을 개선시키고 가축분뇨의 퇴비화와 액비화 중의 유기물질의 안정화를 촉진시키며 악취를 줄이는 목적으로 무기물제제, 미생물제제로서 광합성균제제, 일반미생물제제, 효소와 미생물의 복합제 등이 이용되고 있으며 효소제, 활성탄, 목초액, 키토산, 해초 및 과일추출물 등이 사용되고 있다.

효소제의 경우 생화학적 촉매로써 사용되어 왔기 때문에 생체 내 물질대사의 촉매제로써 산화 및 대사작용에 필수적이며 효소 특유의 기질 특이성을 가지고 있어 이를 이용한 환경개선의 목적에 이용하고 있다. 특히, 가축의 생산성 향상 측면에서와 함께 분(糞)량 감소 및 환경오염물질 발생 억제 측면에 주로 사용하고 있다. 최근 개발된 생균제의 경우는 악취물질의 전구체를 먹이체로 한 제제들도 개발되고 있어 그 목적의 다양성을 추구하는 양상을 보이고 있다.

이와 같이 환경개선의 목적에 사용되는 제제들의 그 형태는 고체나 액체 등의 성상으로 유통되고 주로 고체 상태이다. 처리방법으로서는 가축에 급여하거나 축사바닥에 분사를 한다든지, 가축분뇨의 액비제조시나 퇴비 제조시 제조공정에 미생물제제 등의 환경개선제를 함께 첨가한다든지 등의 방법으로 이용되고 있다.

1) 가축에 급여 및 축사내 살포

일반적으로 사료가 잘 소화될수록, 분변내의 악취유발물이 될 수 있는 질소화합물의 량이 적을수록, 악취저감에 유리하다. 간단한 효과검증은 환경개선제 적용 전과 후의 축사내 암모니아 가스 발생량 변화로 알 수 있다. 문제는 그 효과가 즉시 나타나지 않고 서서히 변화되므로 그 동안 계절변화와 축체 이동 등, 환경변화로 인하여 효과를 양축농가가 직시적으로 얻기는 매우 어렵기에 장기적으로 예민한 관찰과 조사가 요구된다.

생균(生菌)으로서 가축에 급여하는 경우에는 악취저감이외에도 자기 역할을 다하고 사멸하게 되었을 경우도 이 미생물은 가축의 단백질원으로도 이용되기 때문에 일석이조의 역할을 한다. 즉, 다시 말하면 효소나 생균 등 미생물과 관련된 제제는 장내 미생물의 성장 및 장내 균총에 직접적으로 관여함으로서 소화에 유용한 미생물을 증가시켜 사료가 잘 소화되게 하고 이로 인해 냄새의 원인물질인 분뇨내 유기물과 질소 등을 낮추는 작용과 더불어 축분내 악취유용미생물의 균총을 높게 함으로서 알취물질의 발현을 감소시키게 한다.

활성탄과 광물질은 돼지의 소화관을 지나면서 소화에 불량한 물질이나 악취발생 원인이 되는 성분을 흡착하고 소화에 유용한 미생물을 조정하여 소화효율을 높이며, 특히 암모니아 가스를 물질 표면의 다공성을 이용하여 직접 흡착하여 악취를 억제하는 기전을 가지고 있다. 즉 축사 내·외부의 악취제거, 사료효율 개선, 장내 유익균종 활성화 및 병원성 세균억제, 육질개선, 축분내 암모니아, 메틸아민 및 휘

발성 지방산 등 악취물질 감소 등을 목적으로 이용되고 있다.

효모균 및 유산균 등 14종 복합미생물제제를 0.1%수준으로 돼지에 급여시 14.1%의 증체효과가 나타났으며 사료효율은 13.7%가 개선되었고 축사내 암모니아가 53%, 저급지방산이 18.3%의 감소를 가져와 환경개선에도 효과가 있는 것으로 판명되었다. 또한 비육돈에 젖산균 농축 생균제를 0.5% 첨가해 주면 일당증체량과 사료효율이 각각 2.7, 8.8% 개선되고, 건물과 질소 배설량도 각각 12.6% 와 4.2% 감소한다고 하였다.

국내외에 유통되고 있는 환경개선제의 대부분은 미생물만 함유되어 있는 것도 있고 비타민, 미네랄, 올리고당(유산균의 영양원) 등을 혼합한 제품도 있다. 어떤 미생물제제에 있어서 미생물이 악취원인물질의 제거의 주요 인자라면 제제 1g당 균수가 최소한 $10^{5\sim7}$이상은 함유되어야 한다. 유효 미생물 수에 의해서 제품의 품질이 달라지고 환경개선제의 효능 및 효과는 축산농가의 여건에 따라서 그 변이가 크게 나타나는 것이 현실이나 이의 사용으로 대상물에 있어서 우점화가 될 때 처리효과는 기대될 수 있다.

2) 가축분 퇴비화시에 환경개선제의 이용효과

유기질 비료 공장의 퇴비화기간은 일반적으로 35일에서 40일간 후숙을 완료하고 제품으로 출하하고 있으나 완숙퇴비에서도 살모넬라균이 완숙퇴비 g당 12개의 콜로니가 검출되고 분성 대장균이 1,200개의 콜로니가 검출되는 경우가 발생하고 있다. 바람직한 축분퇴비로서 유기질 비료가 되기 위해서는 분성대장균 수가 퇴비 1 그람당 500개 이하가 되어야 한다고 학자들은 보고하고 있다.

따라서, 퇴비품질을 우선시하는 퇴비생산 공정이 절실히 요구되는데 미생물제제를 축분 퇴비에 이용시 축분 퇴비화 공정을 단축시킬 수 있는 것으로 보고되어 지고 있다. 축분 퇴비화 미생물의 우점화를 통해서 퇴비화 단계별 병원성 대장균수를 줄여주고 퇴비를 안정화하는데 기여한다.

축분 퇴비에 미생물제제를 첨가함으로서 퇴비화 초기 고온 유지로 병원성 미생물 사멸화 기간이 10일간 단축되며 퇴적더미내의 온도차가 적어 양질의 퇴비 생산이 가능하고 퇴비화 후기 토양 유익균인 방선균의 증가로 작물에 시용시 토양지력 보강되며 퇴비화 공정 중 곰팡이와 베타 글루코시다제의 상관 관계가 0.98로 우수하여 섬유소 분해가 잘되는 것으로 나타나 곰팡이로 인한 작물의 영양이용성이 매우

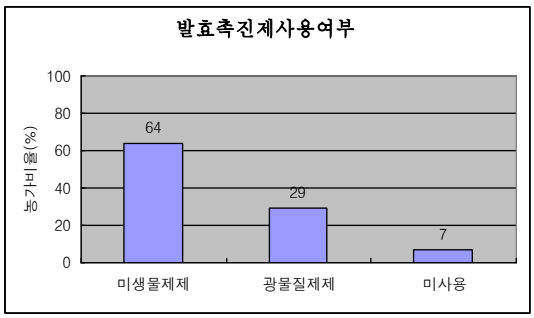
클 것으로 예상된다.

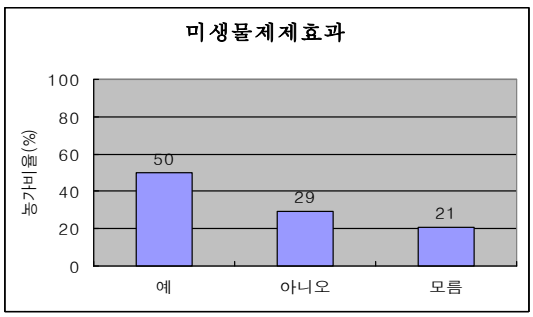
3) 액비화 공정에 환경개선용 미생물제제의 이용효과

액비화 방법은 손쉽게 접근할 수 있는 가축분뇨 이용·처리방법이며 비용 또한 매우 경제적이다. 또한, 액비는 작물생육에 필요한 질소, 인, 칼리 이외에도 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등과 같은 미량원소도 포함하고 있어 비료로서의 가치가 높다고 볼 수 있다.

국내에 설치된 액비 저장조는 2005년 말 기준으로 총 2,200여개로 보고되어지고 있으며 액비의 시용처도 벼, 과수, 시설채소, 전작 등으로 확대 보급되고 있다. 전국 60개 농가를 선정하여 액비 저장조 설치 농가의 실태조사를 보면 액비 발효촉진 및 악취저감을 위해 사용되는 제제부류와 년간 액비 사용 횟수에 대한 응답은 조사농가의 50%가 년간 2회로 액비를 시용하고 있었으며 29%가 1회, 7%가 3회로 조사되었다.

조사농가의 93%가 발효촉진제를 투여하고 있었으며 이중 미생물제제가 64%, 광물질제제가 29%로 사용되고 있었다. 액비 제조시 미생물제제를 투여하는 목적을 묻는 질의에서는 미생물제제 투여 농가의 93%가 액비 제조시 발생하는 악취를 저감시키고 발효를 촉진시키기 위함으로 조사되었다.



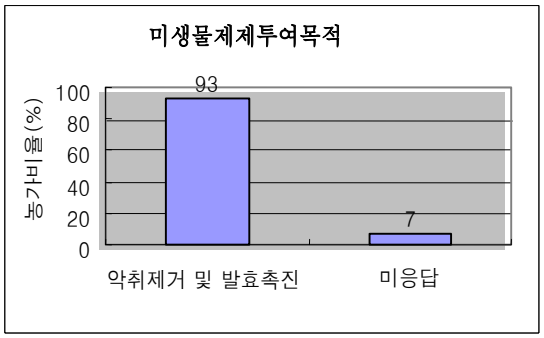


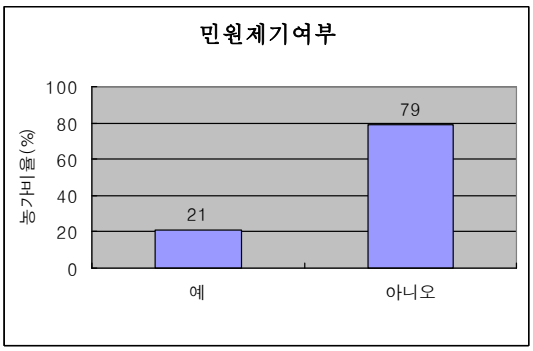
<그림 2-2> 미생물제제의 이용효과

이 중 미생물제제의 효과가 있는 것으로 본다고 응답한 농가가 50%로 가장 많았으며, 효과가 없다고 응답한 농가는 29%, 효과의 여부를 느낄 수 없다고 응답한 농가가 21%나 되었다. 이는 미생물제제에 함유되어 있는 활성미생물수와 미생물 종류에 따라 그 효과가 다르기 때문에 미생물제제의 이용시 적절한 권장량을 사용하도

록 기술지도 할 필요가 있는 것으로 나타났다.

가축분뇨액비에 미생물을 첨가 시 작물의 발아지수가 50%이상 개선시킬 수 있다고 보고된바 있어 작물의 이용성에도 미생물제 처리가 중요한 역할을 하고 있는 것으로 판단된다.





<그림 2-3> 미생물제제 이용목적

마. 유카제

암모니아 방출을 줄이기 위한 방법으로는 사료에 유카 추출물을 사용하는 방법이 모색되어져 왔다. 유카 (Yucca)는 사막에서 자생하는 식물로, 유카 추출물은 사포닌 성분을 함유하게 된다. 이러한 사포닌은 유레아제 활성을 억제시켜 결국 분뇨로부터 발생되는 암모니아를 줄일 수 있으며, 혹은 암모니아와 직접 결합해서 유리암모니아 농도를 감소시키는 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다. 사료나, 축 분에 적절히 사용하는 것은 효과적인 악취제거 방법이 될 수 있다.

또한 사료 내 생균제나 올리고당, 지올라이트 등을 첨가하면 돼지의 소화기관내 미생물총의 변화를 도모하거나, 발생될 수 있는 악취물질들과의 흡착을 통해 악취를 제거할 수도 있다고 알려졌다.

바. 환경개선제용 미생물제제 사용시 주의사항

환경개선제의 효능 및 효과는 축산농가의 여건에 따라서 그 변이가 크게 나타나는 것이 현실이다. 환경개선제를 합리적으로 사용하고 그 효과를 기대하기 위해선

다음의 유의사항을 지켜야 한다.

□ 일반적인 관리요령

○ 공인기관에서 품목등록이 되지 않은 제품은 사용하지 말 것
○ 제품 사용전 사용설명서를 충분히 읽어 본 후 용도 및 첨가율을 준수하여 사용할 것.
○ 제품의 보관은 직사광선이나 습한 곳을 피하여 보관하도록 하며, 제품 구입시 덩어리가 형성되는 등 제품의 이상이나 변질이 발견되면 반품할 것.
○ 제품을 개봉한 후에는 신속하게 사용하도록 하며, 사용하다 남은 제품은 수분이나 공기가 접촉되지 않도록 밀봉하여 직사광선을 피하게 하고 습하지 않은 곳에 보관하며 어린이 손에 닿지 않는 곳에 보관할 것.
○ 미생물제제는 유효기간을 반드시 지킬 것(유효기간을 지켜야 정상적인 효능이 발생함).

□ 가축에 급여시 사용방법

○ 환경개선제를 혼합하여야 할 사료의 선정시 가능한 항생제가 함유된 사료를 배제하고 사료의 형태가 분말사료인 경우, 사료의 빈에서 제품의 권장량을 사료에 균등히 혼합하도록 한다. 단, 펠렛사료의 경우는 두당 일일 사료 섭취량에 준하여 제품의 권장량을 가축에 골고루 먹이도록 할 것.
○ 제품별 정해진 용법, 권장량을 준수하고 지정된 축종에만 사용할 것.
○ 환경개선제를 물에 타서 음수 급여할 경우 깨끗한 음용수를 이용할 것.

□ 가축분뇨 살포시 사용방법

○ 환경개선제를 제품의 용법·용량에 따라 물에 혼합하여 축분 상면에 골고루 닿도록 뿌려주며, 사용하게 될 물은 중성이어야 하며 산성이나 알카리성을 띄는 물은 사용하지 말 것.
○ 악취제거 및 액비 제조용 목적일 때에는 저장조를 교반하거나 폭기시키면서

제품의 권장량을 사용하도록 하며, 축사내의 피트에 이용할 경우에는 축분 상면에 제제가 골고루 닿도록 살포할 것.

○ 환경개선제는 산, 알카리, 일반 소독제 등과 병용하여 사용하지 말것.

□ 소독시 사용방법

○ 환경개선제가 함유된 사료는 가능한 소독 전에 급여하도록 하되 소독실시 후에는 소독약이 완전히 마른 다음에 환경개선제 함유 사료를 급여토록 하여 가능한 소독제가 묻지 않도록 할 것.

○ 소독제를 사용즉시 환경개선제를 뿌리게 되면 그 효과가 감소되므로 축사바닥을 소독하고 난 후에는 통상 4~5일후에 환경개선제를 살포할 것.

○ 소독제의 성분에 따라 환경개선제에 미치는 영향이 달라질 수 있기 때문에 소독제의 성분과 제품에 함유된 미생물의 종류에 따라 사용방법 및 사용시기를 결정할 것

3. 돈사내부 시설 및 관리개선에 의한 냄새저감

돼지가 생활하는 돈사 내 발생하는 냄새를 줄이는 방법으로 환기시템 개선, 먼지 제어, 오존처리, 오일살포, 플러싱, 환경개선제(사료, 분뇨용 첨가제), 기타 악취중화제 살포 또는 분무 등 여러가지 방법들이 제시되고 있다. 따라서 이러한 여러 가지 방법들 중 자기농장의 여건에 맞는 방법을 택해야 한다.

돈사내부에서 냄새 발생원은 분뇨, 분뇨저장조, 돈사 내 피트, 분뇨수거장치, 돈사 바닥, 통로, 사료조 등 돈사내 농장 전역에서 발생하고 있다. 특히, 분뇨에서 발생하는 악취가 가장 비중이 크다. 이는 미생물에 의한 유기물질 내 영양물질이 분해과정 중에서 발생한다.

돈사로부터 발생하는 악취는 여러 가지 악취 원인 물질의 총화로 나타난다. 각 악취 물질마다 악취 발현 강도, 거부감 등에 차이가 있으나 현재까지 분뇨를 분해하는 미생물로부터 생성되는 것으로 연구자들로부터 약간씩 다르나 약 80～200여종의 악취 원인 물질이 양돈장에서 발생하는 악취에 포함되어 있는 것으로 보고하고 있으며 주요 악취의 성분 및 특성은 <표 3-1>과 같다.

휘발성 지방산 중 주된 악취물질로는 초산, 프로피온산, 뷰티릭산, 바레르산, 이소-뷰티릭산, 이소-프로피오산, 이소-바레릭산 등이며, 페놀, p-크레졸, 인돌, 스카톨 등도 돈사의 주요 악취물질로 고농도로 존재한다고 알려졌다.

돈 슬러리 등의 야기되는 악취 물질도 황화합물계, 휘발성 지방산계, 페놀계, 인돌계로 구분 할 수 있는데, 여기에 암모니아와 휘발성 아민계를 추가시키기도 한다.

돈 슬러리 내 고형물이 많을 시에는 황화물계 양이 높게 존재한 반면 고형물 함량이 낮을 때에는 초산과 페놀계가 우세하게 검지되며 황화합물이 돈사에 가장 큰 악취를 내는 물질이다. 한편 축분 중의 휘발성 지방산량 중에서 초산이 차지하는 비율이 60%나 된다고 알려져 있다.

지방산의 경우 수화 반응에 의하여 초산, 뷰티릭산, 프로피온산 등이 생성되며, 단백질과 아미노산은 혐기성 분해를 통해 아민류를 발생시키고, 메칠아민, 에칠아민, 디메칠아민, 트리메칠아민 등은 매우 독하고, 사체 혹은 생선 썩는 냄새와 같은 심한 악취를 생성하게 된다.

인돌과 스카톨은 질소를 포함하는 화합물로 매우 불쾌한 냄새를 가지며 단백질

물질의 혐기성분해 중에도 생성된다. 황화수소는 단백질 혹은 다른 황 함유 유기물의 혐기성 분해와 무 산소 조건하에서 황산염의 환원반응을 통해 생성되며 메틸머캅탄은 호기와 혐기 상태 하에서 아미노산으로부터 생성될 수 있으나 혐기성 상태에서 훨씬 많이 발생되는 특징이 있다.

<표 3-1> 악취물질 성분 및 특성

악취물질 종류	화학식	역치(ppm)	취기의 성질
암모니아	NH_3	0.15	분뇨의 냄새
황화수소	H_2S	0.0005	계란 썩는 냄새
메틸머캅탄	$(CH_3)SH$	0.0001	하수처리 냄새
다이메틸설파이드	$(CH_3)_2S$	0.0001	양배추 썩는 냄새
스카톨	C_9H_9N	0.019	대변 냄새
메틸아민	CH_3NH_2	0.019	쥐 오줌 냄새

<표 3-2> 축산악취 발생원 및 악취강도

발 생 원		악취강도	발 생 악 취
축사내	가축, 채취	약	황화수소, 암모니아, 메틸머캅탄, 트리메틸아민, 다이메틸설파이드
	축사 바닥	중	
	사료(배합)	약	
	쓰레기	강	디메틸아민, 트리메틸아민, 젖산
	하수구	중	
분뇨 시설	분뇨 운반장치	중	암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄, 트리메틸아민, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드
	건조	약～중	
	퇴비 저장시설	약	
	오수 처리시설	약	암모니아, 메틸머캅탄, 황화수소
	분뇨, 오니처리장	중	황화수소, 암모니아
	분 건조기	강	암모니아, 디메틸아민, 젖산, 메틸머캅탄, 트리메틸아민
	분 소각	약～강	암모니아, 디메틸아민, 메틸머캅탄

축산시설에서 배출되는 악취물질의 발생원 및 특징에 대하여 일본 공해대책기술동우회의 악취방지기술 매뉴얼에서 <표 3-2>와 같이 설명하고 있다. 표에서 보는 것처럼 축산에서 발생되는 악취는 대부분이 암모니아, 황화물계인 황화수소, 메틸머캅탄, 다이메틸설파이드. 다이메틸다이설파이드 주 악취물질이다.

발생되는 악취물질의 악취강도는 축사 바닥, 분뇨처리장 등에서 중, 강 이상 발생되는 것으로 보고되고 있다. 이 표에서 보는 것처럼 악취를 줄이려면 양돈장에서 발생되는 분뇨관리 및 처리를 좀 더 효율적으로 하여야 할 것이다.

가. 악취물질 발생농도

사육규모별 악취물질 농도를 분석한 결과 사육규모에 관계없이 암모니아, 황화수소, 메틸머캅탄 순으로 악취물질 농도가 높은 것으로 나타났다.

<표 3-3> 사육규모별 악취물질 농도 (단위 : ppb)

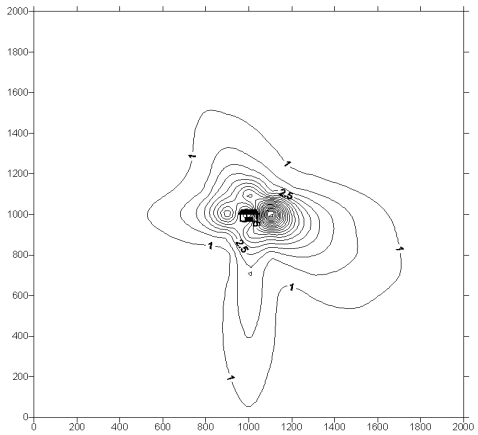
구분	암모니아	황화수소	메틸머캅탄	다이메틸 설파이드	다이메틸 다이설파이드
대규모	5,239.0 (4,932~8,694)	116.1 (70~191)	10.4(2.4~5.2)	3.9(2.4~2.6)	2.3(2.2~2.6)
중규모(1)	8,595.1 (3,072~20,965)	1,042.6 (533~2183)	10.6(9.9~11.5)	2.3(0~3.4)	2.2(2.1~2.2)
중규모(2)	6,766.8 (3,757~11,262)	1,611.6 (29~6,712)	10.9(9.6~12.9)	2.9(0~4.8)	1.8(0~2.4)
소규모	1,846.8 (870~2739)	764.2 (42~2903)	9.8(9.7~9.8)	2.8(2.5~3.1)	1.7(0~2.3)

* ( )는 범위

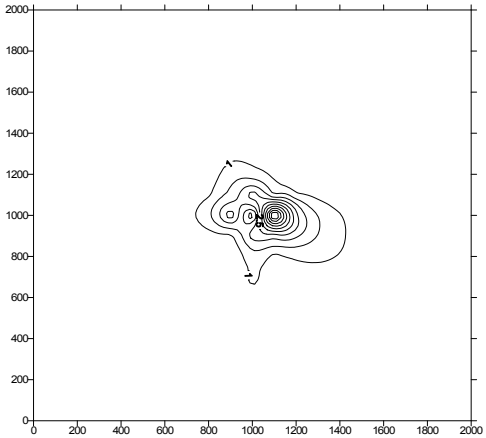
나. 양돈장 냄새 확산 추정

양돈 농가에서 배출되는 악취물질이 대기로 확산되어 주변 어디까지 악취 영향을 미치는지에 관해 알아보기 위해 대규모 농장의 돈사에서 황화수소 배출농도 및 배출유량 자료를 이용하여 배출량을 수정, 모델링을 실시해 보았다. 황화수소와 메틸머캅탄의 배출량을 ISCLT3 모델을 이용 그 결과를 OU(odor unit)으로 표현하여 등농도 곡선을 작성하였다.

ISCLT 모델을 수행한 결과 황화수소는 OU=1의 범위가 남쪽으로 약 1km, 동쪽으로는 약 800m 가까이 확산되는 것으로 나타났으며, 메틸머캅탄의 경우는 OU=1의 범위가 동쪽으로 약 400m, 북쪽으로 약 300m가량 확산되는 것을 알 수 있다. 그러나 본 모델은 수원지역 1년 기상자료를 이용한 장기모델인 ISCLT3 모델을 적용하였기 때문에 단기간에 발생되는 악취는 더 멀리 까지 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.



<그림 3-1> 황화수소의 확산범위



<그림 3-2> 메틸머캅탄의 확산범위

다. 냄새저감을 위한 환기시스템 개선

양돈장 돈사내부에서 발생하는 냄새를 밖으로 배출하는 것은 환기시스템과 밀접한 관계가 있다. 돈사에서 발생하는 냄새를 줄이기 위해서는 돈사의 환기시스템을 개선하여 한다. 따라서 현재 개방식 돈사는 무창돈사로 가능한 개조를 해야 한다.

공기속도의 흐름에 의하여 돈사내 오염된 공기를 빠르게 돈사외부로 배출시켜주는 덕트입기-측벽배기 시스템이 다른 시스템에 비하여 1/3 정도 적게 측정되었다. 그러므로 환기시스템에 의한 암모니아 가스배출은 공기 입기구에 의하여 좌우됨을 알 수 있다<표 3-4 참조>.

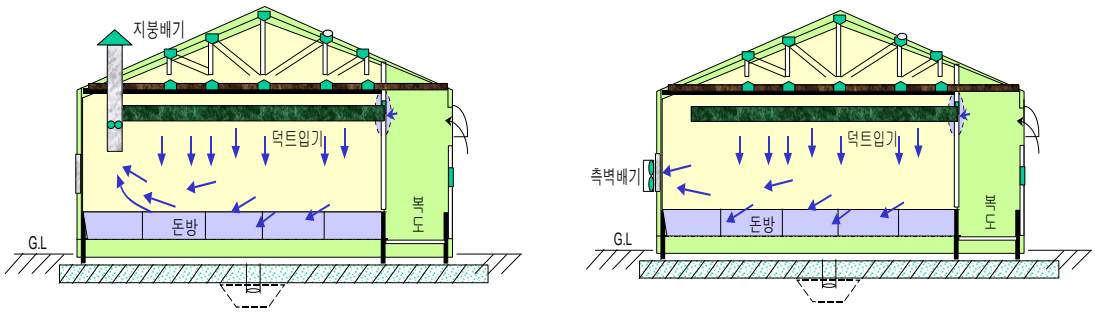
따라서, 무창돈사 환기시스템은 그림 3-3에서 보는 것처럼 측벽 덕트입기 측벽배기로 설치하는 것이 냄새 배출과 배출된 냄새를 저감 하는 시설을 설치하기에 매우 효율적이다.

<표 3-4> 환기시스템별 돈사내부 환기형태별 NH_3 농도(분만·자돈사)

(단위 : ppm)

환기방식		조 사 지 점			평 균
입 기	배 기	前	中	後	
측 벽	지 붕	15	14	16	15
천 정	지 붕	17	15	18	17
덕 트	지 붕	12	13	12	12
덕 트	측 벽	10	8	9	9

* 측정 하(下)지점 : 바닥으로부터 30㎝ 상부지점



<그림 3-3> (측벽덕트입기 → 지붕배기) → (측벽덕트입기 → 측벽배기)

1) 환기시스템 적용 방법

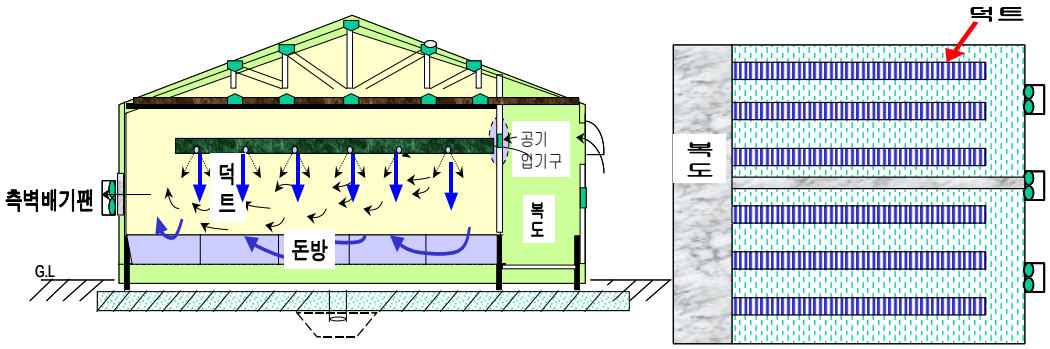
우리나라 대부분의 무창분만·자돈사는 복도를 가지고 있고 폭은 대략 4.6~5.4 m의 폭과 길이는 보통 10~12 m 내외가 대부분이다. 따라서 측벽덕트입기 → 측벽배기 환기시스템이 정착된다면 돈사내부의 냄새는 30~50% 정도의 저감 시킬 수가 있음을 알 수 있으므로 환기시스템의 적용 방법을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 입기시스템 설치방법

돈사폭이 대략 4.6~5.4m의 폭과 길이는 보통 10~12m인 돈방 1동의 환기시스템은 출입문 측벽 좌우 상단과 출입문 상단 복도에서의 덕트를 통한 입기를 실시하고, 돈방 길이가 10m 이내인 경우에는 음압방식 적용이 가능하나 돈사길이가 12m

인 경우에 여름철에는 입기되는 공기의 압력유지를 위한 출입문 복도 상단에 속도 조절이 되는 입기팬을 설치하여 측벽배기팬의 부압을 떨어뜨려 줄 수 있는 양압의 입기가 필요하다.

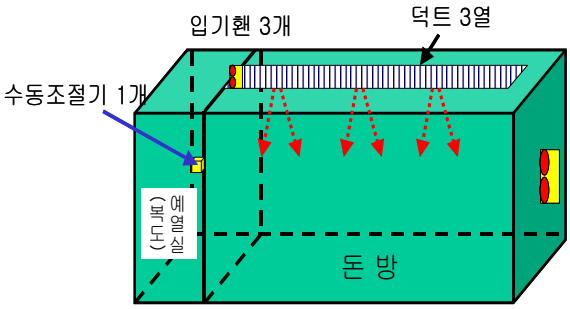
그러나 이러한 시스템의 경우 배기는 자동으로 설정할 수 있으나, 입기는 자동(수동)조절기를 부착하여 현장에 맞게 입기량을 조절하여 주어야 한다. 왜냐하면 겨울철은 거의 음압에 가까운 입기가 되어야 하지만, 여름철은 입기속도를 사육단계별로 조절 강제입기를 실시해주어야 하기 때문이다. 환기시스템의 설치에 있어서 덕트의 설치는 먼저 천장 아래에 플라스틱 주름관 덕트를 설치하는데 이때 덕트 입기 크기는 300mm, 설치높이는 돈방바닥 기준 약 2.2-2.5m 전후에 설치한다. 따라서 덕트입기 3개를 설치할 경우 사계절 모두 사용가능하다. 환기시스템 설치후 환기예상 흐름도는 그림 3-4 에서 보는바와 같다.

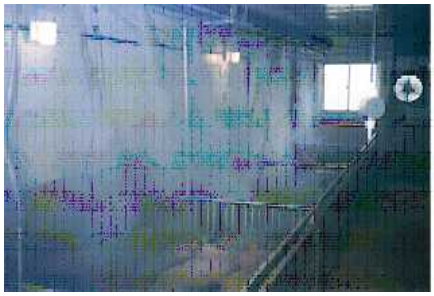


<그림 3-4> 예상되는 공기흐름도 및 덕트설치 단면도

(2) 배기시스템 설치방법

환기팬의 용량은 일반적으로 돈사폭이 대략 4.6~5.4 m의 폭과 길이는 보통 10~12 m인 경우에는 자돈 100두 정도와 분만돈 10두 이내가 사육되므로 환기량(자돈 : 35 cfm/두, 분만돈<이유자돈 포함> : 500 cfm/두)으로 보더라도 5,000 cfm 이므로 배기팬 600 mm의 경우 배기팬 1대가 필요하다. 따라서 돈사폭의 가운데 배기팬 1대를 측벽의 1/3 하단에 설치하여 준다. 배기팬을 1/3 하단에 설치하여 주는 이유는 돈사내부의 온도 변화를 가장 적게 주는 높이임과 동시에 돈사내부의 먼지를 가장 효율 좋게 배출할 수 있는 높이이기 때문이다.





<그림 3-5> 덕트 설치 위치

라. 먼지제어를 통한 냄새저감

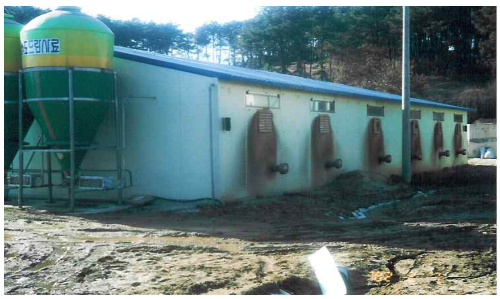
돈사 내 먼지 발생을 저감시키는 것은 작업자의 건강과 돼지의 건강을 좋게 한다. 동시에 배출되는 냄새물질은 먼지에 흡착 멀리 이동한다는 연구보고가 발표되고 있어 먼지제거 노력을 더 한다면 냄새를 멀리까지 이동을 줄이는 하나의 방법일 것이다. 이는 양돈장의 이웃에 사는 일반인들로부터 민원에 대한 압박도 줄일 수 있을 것이다.

악취화합물이 먼지입자와 부착되어 있기 때문에 먼지수준을 감소시키면 악취수준을 감소시킬 수 있음을 우선 이해해야 한다. 실제 산업공정에서는 입자를 공기중에 분사시켜 화학물질과 흡착하도록 하여 먼지를 제거하면 화학물질도 제거되는 dry scrubbing방법을 사용한다. 대부분의 돈사에는 공기중 먼지가 많기 때문에 고농도 악취를 흡착하는 능력도 클 것이다. 그러나 공기중 고농도의 먼지입단은 여과기능을 방해하며, 세립먼지는 원심기로 포획하기 힘들기 때문에 먼지를 제거하는 일이 쉽지 않다.

먼지의 대부분은 돈사에서 배출되고 주변 환경에 분산된다. 1년에 걸쳐 1,000두 비육돈사의 방출 공기에 있는 2mg/㎥의 평균 먼지 농도와 1시간당 200㎥/LU(LU=가축 단위는 500kg 무게와 동일하다)의 평균 환기 속도를 추정하면 1년당 총 먼지 배출량은 500kg 정도이다. 돼지로부터 나오는 호흡 가능한 먼지의 배출량 속도는 한 시간당 60mg/LU 정도이다. 현재 이런 미세한 입자들이 축사주변의 환경에서 얼마나 멀리 분산되는지는 아직 알려져 있지 않다(Hartung, 1998).

먼지발생 및 배출을 최소화하기 위하여 현재 대부분의 양돈장에서는 습식급이기를 주로 설치하여 돼지에게 사료를 급여하고 있다. 건식 급이를 하는 농가는 습식급이를 설치함으로써 돼지가 사료를 먹는 동안 발생하는 먼지를 줄일 수 있을 것이다 .

<그림 3-6>돈사 내 쌓인 먼지



<그림 3-7>환기에 의해 배출되는 먼지

돈사내부에 사용할 수 있는 편리한 공기 여과장치들이 국내에 유통되고 있지만, 너무 많은 먼지들로 인해 통로가 너무 자주 막히므로 양돈장 건물에서는 제대로 실효를 거두지 못하고 있다. 잦은 수리로 인해 여과 효능에 영향이 있고, 경제적인 면에서도 고려해야 된다. 그림에서 보는 것처럼 먼지포집 제거기 등을 설치하면 더욱 효과적일 것이다.

<그림 3-8> 자돈사내 먼지제거기 설치 전경

또한 채유를 돈사내 통로, 마루바닥, 돼지 체표면 등에 소량 분사하면 먼지의 50~80%(질량기준)를 삭감할 수 있다는 보고가 있다. 채유분사는 공기로의 악취화합물의 확산뿐만 아니라 악취를 50%까지 감소시킬 수 있다고 하였다. 이 연구는 돈사내 먼지농도의 감소로 인하여 작업자나 돼지의 건강위해 정도를 감소시킬 수 있다고 주장하였다. 채유를 분사할 때 저속으로 분사하여 표면에서 가능한한 큰 입경을 갖도록 하는 것이 중요하다. 만약 채유를 고압으로 분사하면 입경이 세립화되고, 이

는 작업자나 돼지의 호흡기로 흡입될 가능성이 높다. Midwest Plan Service(AED 42) 는 첫 이틀은 40㎖/m2로 분사하고, 두번째 이틀은 20㎖/m2 로 분사하며, 돼지가 돈사에 체류하는 잔여기간 동안에는 5㎖/m2 분사한다. 중소규모의 돈사에는 수동분사기를 이용하며, 대규모 돈사에서는 자동 분사기를 개발하여 사용하나 아직 상용화 되지는 않았다.

○ 물의 분무 : 계절에 따라 적용할 수 있는 방법으로서 돈사내 물을 분무해 주면 먼지는 70~80% 줄일 수 있고 암모니아 가스도 50~70% 제거할 수 있다. 분무압을 높여서 분무시 분진과 암모니아 제거율은 더욱 향상 될 수 있다.

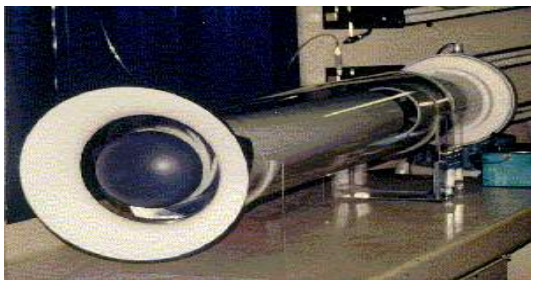
○ 집진 장치 : 돈사에 이용되는 집진기의 요건으로서 집진 효율성이 좋아야 하며 처리 풍량당 시설비가 적게들고 운전관리 경비가 적게들고 환기량에 대한 압력 손실이 적어야 하며 전문적인 지식 없이도 보수관리가 쉬워야 한다.

- 중력집진장치 : 공기중에 함유된 분진의 중력에 의해 자연 침강하도록 하는 방법으로 설비비가 적고 단순하지만 집진효율이 낮고 100㎛ 이상의 큰 입자에만 유효하다.

- 여과 집진 장치 : 필터에 분진 함유공기를 통과시켜 분리 포집하는 방식으로 집진 성능은 높으나 고온 고압에 약하고 필터의 교환 등 보수관리가 어렵다.

- 전기 집진 장치 : 먼지 입자에 전하를 주어 정전기에 의해 분리 포집하는 장치로서 압력손실이 적고 고성능으로서 대형 장치에 적합하다.

- 원심력 집진장치 : 일리노이대학에서 적은 압력차를 이용하여 세립먼지를 제거할 수 있으며, 관리도 매우 쉬운 공기역학적 먼지제거기(aerodynamic deduster)를 개발하였다. 그림3-9에서 보는 것처럼 돈사내 공기를 디더스터에 유입 원심력을 이용하여 먼지입자를 분리 제거하는 방식으로 필터장치를 청소와 교환할 필요가 없어 관리비가 적게든다. 돈사내 공기 순환시스템에 2개로 부착된 디더스터를 설치할 경우 먼지 농도가 50% 감소하였으며, 환기휀으로 부터 배출되는 공기를 정화하기 위하여 확산응고제가 부착된 대형 디더스터는 먼지량을 90%, 암모니아는 57% 감소시켰다고 한다. 또한, 돈사 길이가 24m, 폭은 12m, 돈방바닥은 부분슬랏인 돈사에 육성비육돈 200두를 수용 돈사내 평균 먼지 농도가 돈방바닥으로 부터 0.8m 높이에서 1.7㎎/㎥ 인 돈사내에 디더스터를 설치 실험한 결과 먼지 입자가 10㎛보다 큰것의 분리 효율이 90%, 7㎛ 보다 큰것의 분리효율은 77%였으며 먼지량으로 기준 입자분리 효율은 85% 였다고 한다



<그림 3-9> 먼지집진기

마. 오존처리(ozonation)

양돈장 발생 악취조절을 위한 기술로서 사료조절, 첨가제의 사용과 더불어 비교적 일반화 되어가고 있는 기술이 돈사 내부 혹은 양돈분뇨처리과정에 오존(O_3)을 처리하는 것이다.

자극성 가스인 오존은 최근 돈사 내부와 외부 분뇨 저장조에서 발생되는 악취조절 가능성과 양돈시설 내부 환경의 개선으로 양돈생산성 및 건강상태를 향상시킬 수 있다는 가능성이 제시되어 관심이 높아지고 있다.

오존은 공기정화를 위하여 150년 이상 사용되어 온 기술이며, 음용수의 소독이나, 살균을 위한 용도로 사용되어 왔으나, 경비가 비싸다는 단점이 있어 돈사시설에 대한 접근은 최근에 이루어졌고 이에 대한 연구결과는 아직 제한된 몇 편에 지나지 않고 있다.

오존을 양돈분뇨의 악취제거용으로 사용한 연구결과를 보면, 16개월 동안 암모니아 농도가 겨울철 환기상태에서는 37ppm과 17ppm으로 나타나 최고 50%까지 감소되었으나, 여름에는 14ppm과 12ppm으로 차이가 거의 없었다고 하여 환기와 오존의 효과가 밀접한 관계가 있음을 밝혔다.

돼지의 건강상태에 대하여 오존을 처리하거나 처리하지 않는 37두의 돼지의 호흡기를 조사하였는데, 시험기간 중 최고 오존 농도가 0.2ppm까지 도달하였지만 두그룹 간에 호흡기관의 조직에는 차이가 없었다고 하였다. 사양시험에서는 오존을 처리한 돈사의 돼지가 사료효율은 약간좋았으나 일당 증체에는 차이가 없었다고 하였다. 또 다른 흥미있는 결과는 오존 처리한 돈사의 돼지들이 더 조용하더라는 사실

과 오존 처리한 돈사내 장비들에 대한 부식효과가 더 뚜렷하게 나타나지 않았다는 것이다.

미국에서 발표된 결과에서는 양돈시설에서 발생되는 악취조절을 목적으로 개발, 적용되고 있는 오존 처리 장치의 현장조건에서의 검정을 위하여 터널 환기방식의 비육돈사에서 오존을 0, 0.10 및 0.15ppm 수준으로 처리하고 바닥으로부터 1.8m높이에서 암모니아와 먼지 농도를 조사하였는데, 오존 처리는 암모니아 농도를 58% 감소시켰으며, 먼지는 60% 수준까지 줄어들었음을 확인하였다.

양돈잡지 National Hog Farmer에 소개된 미국의 양돈현장에 적용되어 있는 몇몇 오존처리장치는 양돈시설 내부의 공기를 깨끗하게 하고 먼지를 줄이며, 악취를 현저하게 줄일 수 있다고 하였다. 오존처리 돈사 내에서의 돼지의 성장에 관한 조사에서도 처음에는 아주 좋다고 생각되었으나 마지막에 가서는 대조구도 비슷하게 좋은 성적을 나타내었기 때문에 차이를 찾을 수 없었으나, 오존처리가 성장에 부정적이지는 않다고 하며, 폐사에 대해서는 오존 처리한 돈사에서 약간 개선되는 것으로 보였는데, 오존처리 돈사에서는 출하시까지 한 마리의 폐사도 없었다고 하였다.

미시간 대학의 연구에서는 양돈분뇨처리 과정의 오존처리는 분뇨를 저장하는 동안에 페놀, 인돌 및 기타 대사 산물의 분해를 촉진시켜 결과적으로 악취 저감으로 이어진다고 하였으며, 호기성균, 혐기성균 및 E.coli 같은 병원성 물질이 줄어 오존은 가축분뇨를 처리하는 방법 중에서 악취를 줄이기 위한 다른 화학적 방법보다 훨씬 환경친화적이며 안전하다는 견해를 밝혔다. 그러나 오존처리는 매우 경비가 많이 드는 시스템이다. 경비가 오존처리기술의 적용에 대한 장애물임에는 틀림없다. 경비를 줄이기 위한 방법으로 양돈분뇨의 고형물을 분리하고 액상만 처리한다면 보다 경비를 줄일 수 있을 것이라 하였다.

<그림 3-10> 오존발생기 및 설치 예 (미국 Missouri주)

오존처리로 분명한 가축의 건강상태와 생산능력 개선효과 및 악취저감 효과가 인정된다면 아마도 생산자들은 이 기술을 도입할 것이다. 따라서 저비용으로 오존처리 시스템을 이용할 수 있는 기술에 대한 연구가 있어야 할 것이다.

바. 물 또는 오일, 분무

○ 분만돈사 내에서 식물성 오일살포가 악취, 암모니아, 황화수소를 저감할 수 있는지를 연구하기 위하여(일리노이대학교 2002) 오일살포 전 돈사내 피트를 청소하였으며, 분만돈사내와 밖의 공기를 포집 분석한 결과 오일 살포는 비록 자돈사와 육성비육돈사에서는 효과적이나 분만돈사에 처리는 부적절 한 것으로 보고되고 있다.
○ 물 또는 식물성 오일의 분무가 돈사내 먼지를 조절하는 하나의 방법으로 소개되고 있다.
- 물과 평지 기름(Rspeseed oil)을 섞어 분무한 시험에서 자돈사, 육성돈사, 비육돈사에서 각각 76%, 54%, 52%의 먼지를 줄일수 있음을 확인.
- 캐놀라 오일(Canola oil)을 우사에 분무한 시험에서는 호흡성 먼지와 흡인성 먼지를 각각 81%와 85% 저감시킬 수 있다.
- 그러나 물과 오일을 혼합하거나 오일 단독으로 분무할 때 점성이 물과 달라서 이를 미세하게 분무하기 위한 기술이 필요하며,
- 식물성 오일의 분무에 의한 바닥면의 미끄러움을 극복할 대안이 반드시 제시되어야 할 것임을 지적.
○ 육성비육돈사에 소량의 캐놀라 오일을 분무했을 때 먼지는 71~76% 줄일수 있고 황화수소와 암모니아는 각각 27%와 30% 줄일 수 있다고 보고.
○ 한편 축사내부에 오일을 분무하는 것이 암모니아 농도 저감과는 무관하다는 보고가 있었는데,
- 축사내 오일 분무는 미세먼지 농도를 줄일 수 있으며, 이는 먼지 입자에 암모니아를 포함한 악취물질이 달라 붙어 멀리까지 이동하는 특성에 비추어 축사내부의 임모니아 농도에는 영향을 미치지 않았지만 축사 인근 주민들에 의해 제기되는 민원을 줄일 수 있을 것이라고 하였다.

4. 돈사 외부로 배출되는 냄새 저감

돈사 밖으로 배출되는 악취를 저감하는 것은 대부분 무창돈사에서 돈사 내 오염된 공기와 악취를 외부로 배출시 이용되고 있는 방법들이다. 이 방법들로는 낙수차단벽, 바이오필터 충전 차단벽, 바이오 커튼, 바이오 필터(biofiltration)단, 습식스크러버장치(wet scrubber), 촉매산화법, 흡착법, 소각법, plasma 등의 다양한 방법 등 여러 가지 방법들이 제시되고 있다.

그 중 소각법은 고농도의 오염물질을 함유한 폐가스를 소각시키는 방법으로 오염공기를 효율적으로 처리할 수 있는 방법 중 하나이나 운전비와 시설비가 많이 소요되고 운전이 용이하지 않기 때문에 양돈시설에는 부적합하다.

또한 활성탄 또는 제올라이트와 같은 흡착제가 충전된 충전탑에 악취가스를 통과시켜 악취물질을 제거하는 흡착법의 경우, 흡착제의 재생 또는 교체 비용 등이 많이 소요되기 때문에 양돈시설에 적용하는 것은 부적합하다.

따라서 경제성과 효율성, 조업의 편리성 등을 고려할 때 돈사, 분뇨저장 시설, 폐수처리 시설 등과 같은 양돈시설들에서 배출되는 악취 처리에 적용 가능한 기술은 습식세정법이나 바이오필터법으로 평가되고 있다.

악취저감을 위해 제시된 방법들 중 자기농장에 선택을 위해서는 가능한 개방돈사는 무창돈사로 개조하는 준비도 필요하다. 무창돈사에서 배기팬으로 배출되는 악취를 저감시키기 위해 개방돈사에서보다 효과적일 것이다. 만약 돈사를 신축한다면 무창돈사로 건축하며, 악취저감 시설을 설치한다.

가. 촉매 산화처리

촉매 산화처리 방식은 액상촉매 및 광촉매를 이용하여 악취가스를 흡착/산화 처리는 방식이다. 이러한 처리방식은 현재 국내에서 많은 연구가 진행 중에 있다. 처리장치의 효율은 황화수소의 경우 평균 61%, 암모니아의 경우 평균 81.2% 정도였다. 그러나 액상촉매와 미생물을 이용한 악취제거 장치의 경우 돈사 건축시 부터 악취를 포집하기 위한 포집관을 설치해야만 하며, 정화장치의 높이가 돈사의 높이보다 월등히 높아야 하기 때문에 돈사 내에 설치하기가 용이하지 않다. 따라서 대

규모 돈분 처리장과 사료공장 등에 적용하는 것이 유용하며, 광촉매를 이용한 악취 제거 장치는 촉매독이 없고 TiO_2의 경우 비교적 저렴하며, 제작비용이 적고, 소형화가 가능한 장점이 있으나, 촉매 담체에 대한 개발이 선행되어져야 한다.

<표 4-1> 악취 배출 제어기술 종류 및 특성

처리기술명	기술의 간단한 설명
바이오필터	• 악취가스를 필터에 통과시켜 미생물에 의해 악취물질들을 산화하여 제거하는 방법 • 유지관리비 저렴 • 복합 악취에 대해 처리 성능 우수
활성탄 흡착법	• 활성탄에 악취물질을 흡착하여 악취를 제거하는 방법 • 악취물질 농도가 수 ppm으로 낮은 경우 설치비 등이 저렴하고 장치 간단 • 고농도의 경우 교체 비용 및 폐기물 처리비용 등 유지관리비 매우 높음
생물적 화학적 습식 스크러버	• 악취가스를 충전탑에 통과시켜 물이나 화학물질을 살포하여 화학반응이나 생물방응이 용이하도록 하여 악취 제거하는 방법. • 설치비 및 폐액 처리비용 고가 • 산성 및 염기성 악취물질 동시 존재시 처리 성능 저하
플라즈마	• 악취가스를 플라즈마를 통과시켜 산화하여 제거 • 장치비용 고가, 고농도에서 효율 저하

<표 4-2> 돈사에서 배출되는 악취가스 처리방법 비교

기 술	특 징	장 점	단 점	비 용
Biofilters	• 악취가스를 퇴비, 우드칩, 세라믹 등과 같은 담체에 통과시키면서 생물작용에 의해 악취물질이 분해됨.	• 악취저감 효율이 매우 우수함.	• 압력손실로 인해 특수 fan 설치가 요구되는 경우가 있음.	0.5-0.8 $/pig
Wet scrubbers	• 악취가스를 담체에 통과시키고, 물 혹은 약품을 반응기 상단에서 스프레이함. 생물 혹은 화학적 작용에 의해 악취물질이 분해됨.	• 악취저감 효율이 우수함.	• 시설비와 운전비가 고가. 폐수처리 필요	-

나. 습식 세정기

스크러버는 돈사 배기악취 공기를 세정기에서 악취물질을 흡수, 중화, 또는 산화분해할 수 있는 화학 세정액들과 접촉시켜 처리하는 방법이다. 약액 세정기는 수용성, 산알카리 반응성 가스의 처리에 유리하고 중간 규모의 시설에 적합하다. 설치비가 다소 저렴하긴 하지만 약품 사용에 따른 2차 환경오염 문제의 유발과 운전비가 많이 소요되며, 휘발성 유기화합물들의 처리에는 효과적이지 못한 단점이 있다. 따라서 약액 세정기는 대규모 양돈시설에 적용하기는 부적합한 것으로 사료된다.

바이오스크러버는 악취물질을 분해할 수 있는 탈취 미생물 배양액을 악취를 함유한 배기가스와 접촉시켜 악취물질을 살수액에 용해시켜 탈취 미생물들이 이들 물질을 분해하는 방법이다. 이 방법은 복합 악취물질의 처리에 적합한 것으로 평가되고 있으나, 양돈시설에 적용한 예는 아직은 없는 것으로 보인다.

이들 습식 세정기들은 약 90% 이상의 탈취율이 있는 것으로 평가되고 있다. 세정기는 이산화탄소, 분진, 세균과 곰팡이 포자의 제거에도 효과적이다. 선진외국에서도 양돈시설에 습식 세정기를 광범위하게 사용되지는 않고 있으며, 돈사 악취제거용의 공기 세정기를 현재 개발 중에 있다.

습식가스 세정시스템(Wet scrubber system)이 계속적으로 환기가 되고 있는 돈사에서 냄새를 제거하는 효과가 있음을 보여주고 있다. 습식가스 세정시스템이 작동되는 동안에는 물이 뿌려지면서 먼지 입자들을 제거시키는 휀이 계속해서 움직이게 된다. 특별한 수분제거 시스템이 수분뿐만 아니라 먼지도 함께 제거되도록 하게 해준다. 이러한 방법은 휀의 에너지 효율과 공기흐름을 줄어들게 하지 않으면서 효과를 볼 수 있다.

<그림 4-1> 에서 보는 것처럼 배출되는 먼지를 제거하기 위하여 배기팬에 습식 스크러버를 부착 사용하는 방법으로 팬의 공기유속을 23% 이하로 감소시키나 먼지제거, 수용성인 암모니아 저감율은 약 30～52% 정도이었다고 미국 일리노이대학교에서 보고 하였다. 그러나 발생하는 악취 대하여 확실한 효과, 공기유속 감소 문제 등 가동비용 등 좀더 해결하면 가능성이 있는 것으로 보고 있다.

또 다른 연구에서 돈사의 환기공기를 대기로 배출하기 전에 먼지를 제거하기 위하여 습식 scrubbers를 개발하였다. 실제로 이 시스템은 공기유동을 방해하지 않으며, 물로 세척하면 다시 사용할 수 있는 장점이 있다. 일리노이대학에서 개발한 이

시스템은 팬효율은 1.5% 밖에 감소시키지 않으나 공기중 먼지는 질량기준으로 80%까지 감소시킨다. 물은 공기중의 수용화합물을 흡착하므로 습식 scrubber는 공기와 물의 접촉시간, 물사용량 등에 따라 공기중의 전휘발 유기화합물의 1/3~2/3을 제거할 수 있음을 보고하였다.

<그림 4-1> 측벽 배기팬에 부착 먼지와 악취제거 예

다. 낙수 차단벽

<그림 4-2>처럼 무창돈사에 부착된 배기팬으로 부터 2~3m 내외 후방에 두꺼운 판자를 수직으로 설치한 후 다공성 차광막천을 사각으로 만들어 약 20㎝ 정도앞쪽에 수직판자에 연결 설치한다. 차광막천 상단부에는 유공파이프를 부착한다. 유공파이프에 5㎜ 크기 구멍을 10㎝ 간격으로 설치 낙수가 흐르게 한다. 낙수는 집수 통으로 순환시키도록 하면 배출된 먼지가 부착 침전되고 악취물질을 저감시킬 수 있을 것이다.

<그림 4-2> 무창돈사의 배기팬 앞에 설치한 먼지와 암모니아 제거 방법

돈사내에서 배출되는 암모니아도 줄일 수 있는 효과도 있다. 단 겨울철에는 물이 얼기 때문에 얼지 않도록 해야 되는 문제점이 있다. 또한 돈사시설이 개방인 경우 돈사내에서 발생 배출되는 악취를 저감하기에는 한계가 있다.

라. 바이오 필터 차단벽

양돈장 발생 먼지와 악취물질은 기류를 타고 농장 밖으로 확산된다. 차단벽은 이런 기류를 타고 확산, 사람의 주거 지역에 도달할 수 있는 먼지와 악취물질을 차단하기 위하여 사용된다. 돈사에서 먼지와 악취물질이 포함된 공기가 배출되는 팬과 일정한 거리를 두고 차단벽을 설치하여 배출되는 악취성분이 이 차단벽에 부딪쳐 확산이 약화되는 원리를 이용한 것이다.

차단벽은 배기팬으로 부터 4~6m 떨어진 곳에 돈사 측벽높이와 비슷한 높이로 설치한다. 미국에서 시험결과를 보면 터널환기 돈사에서 발생되는 악취와 먼지농도를 완화하기 위한 목적으로 차단벽을 설치하면, 주변의 주택가에서 느끼는 악취강도를 상당히 줄일 수 있었다고 하였다.

국내에는 아직 바이어필터 차단벽 이용이 거의 없는 것으로 알려져 있다. 악취 민원이 많은 지역이나 주거지역과 인접한 양돈장 혹은 분뇨처리시설의 경우 차단벽은 악취확산을 차단 민원을 줄이기 위하여 적극 검토할 필요가 있을 것으로 보인다.

<그림 4-3> 바이오 필터를 충전한 앞에 차단벽 설치 예

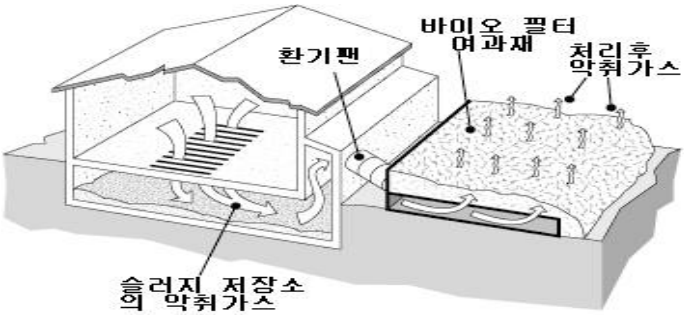
마. 생물학적 바이오필터 이용 냄새저감

배출되는 악취를 처리함에 있어 가장 효율적이고 경제적인 방법은 바이오필터이

며, 선진국에서 가장 많이 이용되는 방법으로. 돈사에서 발생한 악취를 탈취하기 위한 생물학적 여과(일명 : 바이오필터) 기술은 악취를 미생물, 산소, 수분 및 영양물질 등이 충족되어 있는 충전물질에 통과시켜 물과 CO_2 등 무해성분으로 전환시키는 공정으로써 1960년대 후반에 독일의 축사에서 최초로 이용되었고, 1984년에 스웨덴에서 사용되었다(Bohn, 1996).

생물학적 여과장치인 바이오필터 시스템은 필터의 재질로 이용되는 톱밥, 우드칩, 왕겨 등이 대기 중으로 개방이 되어 있으면 개방형 바이오필터라 하고 이들이 밀폐되어 있으면 밀폐형 바이오필터로 불리어진다.

생물여과단 <그림 4-4>과 같이 밀폐형 사육시설 중 슬러리 피트에 적용하고 있는 환기시설에 생물여과장치를 부착하는 방식으로 암모니아 및 황화수소를 처리할 수 있는 저감방법이다. 여과물질은 다공성이 있어야 되며 혼합배양토, 목편, 부피성 톱밥, 퇴비 등을 이용하며 두께는 25～50 cm 정도로 <그림 4-4>과 같이 설치한다.



<그림 4-4> 생물여과장치 악취처리 방식

생물여과의 설치규모는 환기량 0.4885m^3/s당 생물여과 면적이 4.6～8.0m^2가 일반적으로 요구된다. 그러나 현재 농가에 적용중인 시설의 환기용량은 대부분의 경우 생물여과에 필요한 환기량에 미치지 못하고 있어 생물여과 적용 시에는 추가적인 설비가 필요하다.

시설내의 부유먼지가 생물여과장치 환기팬에 부착팬 결과적으로 환기량의 감소로 인해 제거효율이 감소할 수 있어 먼지제거 과정이 추가적으로 필요할 수 있다. 악취감소는 50～90% 라고 보고 되고 있다.

미국 미네소타주립대학의 연구결과 겨울철 밀폐환기 적용시 최대 악취물질 95%의 저감효과가 있는 것으로 조사되었다. 여름철의 경우는 내부 온도 상승에 따라 환기

량을 늘리는 방식을 적용하고 있었다. 또한 생물여과 장치는 덮개시설을 적용한 퇴비 저장조에도 적용할 수 있다.

1) 개방형 바이오필터 설치방법

국내 무창돈사 측벽 배기휀에 부착된 개방형 바이오필터는 <그림 4-5>와 같다. 이 때 개방형 바이오필터의 충진(充塡)물질을 통과하는 악취가스는 밀폐형 바이오필터와 마찬가지로 확산, 흡착 그리고 생물학적 분해 단계를 거치게 된다.

주요구성은 공기저류부, 메인부(바이오필터), 배출부로 되어 있다. 개방형 바이오필터에 이용되는 필터에 여재는 왕겨, 볏짚, 톱밥 및 우드칩을 사용한다..

<그림 4-5> 개방형 바이오필터 시스템

돈사 측벽에 부착된 배기휀 및 바이오필터 여과상 특징은 <표 4-3>과 같다. 설치방법은 2m(가로)×2(세로)×0.6(높이)크기로 제작된 개방형 바이오 필터 시스템을 측벽 배기팬에 각각 크기가 700 mm 인 자바라 덕트를 공기저류부에 연결 바이오 필터를 배출되는 공기가 통과 하도록 하면 된다.

<표 4-3> 제원 및 특징

구 분		제 원
바이오필터상	폭, mm	2,000
	길이, mm	2,000
	높이, mm	600
자바라 덕트	크기, mm	700

2) 개방형 바이오필터 설치효과

바이오필터에 부자재를 충진하여 한 여름철 최대 배기 시 바이오필터 외부로 배출되는 공기 속도 측정은 외기의 영향을 받지 않도록 필터상의 높이가 60cm 인데 비하여 충전된 필터여재는 최대 30cm였으므로, 필터 상부 10cm 지점에서 측정하였다. 조사한 결과는 <표 6-8>과 같으며 볏짚(.0.72 ㎧), 우드칩(0.64 ㎧), 왕겨(0.48 ㎧), 톱밥(0.17 ㎧)순으로 측정되었다. 바이오필터 외부 공기속도는 아래 <표 4-4>과 같게 나타났다.

<표 4-4> 바이오필터 여재 종류별 공기투과 속도 (unit : ㎧)

구분	공기 속도
왕 겨	0.48
볏 짚	0.72
톱 밥	0.17
우드칩	0.64

* 측정돈사 : 고상식돈사

실험기간 동안 초기 5일째 부자재에 따른 가스 및 먼지의 변화는 <표 4-5>에 나타나 있다. 가스검지기(GV-100)에 의한 간이 측정시 암모니아(NH_3) 농도는 볏짚(7 ㎎/ℓ), 왕겨(4 ㎎/ℓ), 톱밥(3 ㎎/ℓ) 및 우드칩(3 ㎎/ℓ)로 측정되어 부자재 사이의 공극율이 높은 볏짚이 높게 나타났다. 황화수소(H_2S) 측정결과 암모니아와 동일하게 공극율이 높은 볏짚이 1 ㎎/ℓ로 검출되었으나 나머지 부자재는 검출되지 않았다.

<표 4-5> 바이오필터 통과 후 악취가스 농도

구분	NH_3, ㎎/ℓ	H_2S, ㎎/ℓ	Dust, ㎎/m^3	CO_2, ㎎/ℓ
돈사내부	13	4	93	780
왕 겨	4	N.D.	53	510
볏 짚	7	1	99	550
톱 밥	3	N.D.	38	380
우드칩	3	N.D.	41	470

* Measured by gas chromatography , 측정돈사 : 고상식돈사

부자재에 따른 필터외부에서의 먼지측정 결과 볏짚(99 ㎎/m3), 왕겨(53 ㎎/m3),

톱밥(38 ㎎/m3) 및 우드칩(41 ㎎/m3)으로 측정되어 볏짚은 여재 특성상 함유하고 있는 자체 먼지가 볏짚간의 넓은 공극에서 발생하는 먼지 및 돈사내부의 먼지가 혼합되어 필터 외부로 배출되어 돈사내부보다 높게 측정되었다.

이산화탄소의 측정결과 필터 외부에서의 부자재별 변화(380～550 ㎎/ℓ)는 큰 차이가 없었다.

가스분석기를 이용하여 암모니아 악취가스 농도 변화를 측정한 결과 <표 4-6>에 나타내었다. 암모니아 가스농도 변화는 돈사내부에서는 측정일이 7일(7.6 ㎎/ℓ), 21일(12.3 ㎎/ℓ) 및 36일(51.9 ㎎/ℓ)로 측정되어 기간이 경과함에 따라 돼지에서 배설하는 분뇨량의 증가와 분뇨 자체의 분해에서 생성되는 발효에 의하여 암모니아 가스농도는 아주 많이 증가하는 경향이었다.

그러나 바이오필터의 여재를 거쳐서 배출되는 암모니아 가스 농도는 실험 기간이 경과함에 따라 일률적으로 증가하지 않고 어느 일정 시점을 기준으로 균일하게 배출되는 현상이 나타났다.

특히 우드칩은 7일(2.2 ㎎/ℓ), 21일(17.6 ㎎/ℓ)에 암모니아 배출농도가 증가하였다가 36일(10.7 ㎎/ℓ)에는 감소한 것으로 나타났는데, 이것은 여재 특성상 일정한 돈사의 배기속도 유지 및 미생물이 증식하기 좋은 환경이 형성되어 악취가스를 미생물의 산화분해 과정에 의해 탈취된 것으로 보아 돈사의 암모니아 가스농도 저감물질로 우수한 것으로 판단되었다.

<표 4-6> 일령 경과에 따른 악취저감 결과 (단위 : ㎎/ℓ)

구 분	실험기간		
	7 days	21 day	36 day
돈사내부	7.6	12.3	51.9
왕 겨	2.7	19.2	35.3
볏 짚	4.3	7.5	21.5
톱 밥	1.8	5.5	12.3
우드칩	2.2	17.6	10.7

* Measured by gas chromatography, 측정돈사 : 고상식돈사

가스분석기를 이용하여 황화수소 악취가스 농도 변화를 측정한 결과는 <표 4-7>과 같다. 돈사에서 발생하는 악취배출 원인물질로 명확한 물질은 알려져 있지 않지

만 대략 복합화합물 중 황(S)화합물이 주류를 이루기 때문에 황화수소를 분석하였다.

황화수소(H_2S) 가스농도 변화는 돈사 내부에서는 측정일 7일(32.8 ㎎/ℓ), 21일(52.2 ㎎/ℓ) 및 36일(48.8 ㎎/ℓ) 경과함에 따라 어느 일정 시점에서 황화수소 가스농도는 증가하지 않았으나 다른 필터 여재에서는 일정한 경향은 보이지 않았다.

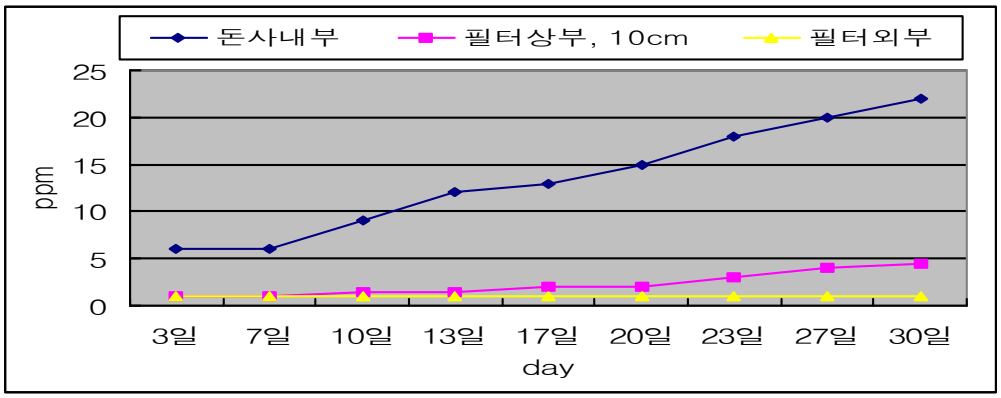
예를 들면 볏짚 같은 경우는 7일(12.3. ㎎/ℓ), 21일(18.3 ㎎/ℓ), 36일(20.1 ㎎/ℓ)에 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 나머지 왕겨, 톱밥 및 우드칩은 돈사 내부와 같은 경향이 나타났다.

이것은 악취물질을 구성하는 C, H, N, S 등의 물질이 미생물에 의해 산화되어 CO_2, H_2O, NO_3, SO_4 등으로 바뀌어져서 다른 질소계 및 유황계 악취물질과 분해 및 혼합되어 악취가스를 생성함을 유추할 수 있었다.

<표 4-7> 실험기간에 따른 H_2S의 농도 변화 (단위 : ㎎/ℓ)

구 분	실험기간		
	7 days	21 day	36 day
돈사내부	32.8	52.2	48.8
왕 겨	6.4	5.2	5.7
볏 짚	12.3	18.3	20.1
톱 밥	6.7	12.1	9.9
우드칩	8.7	4.6	5.2

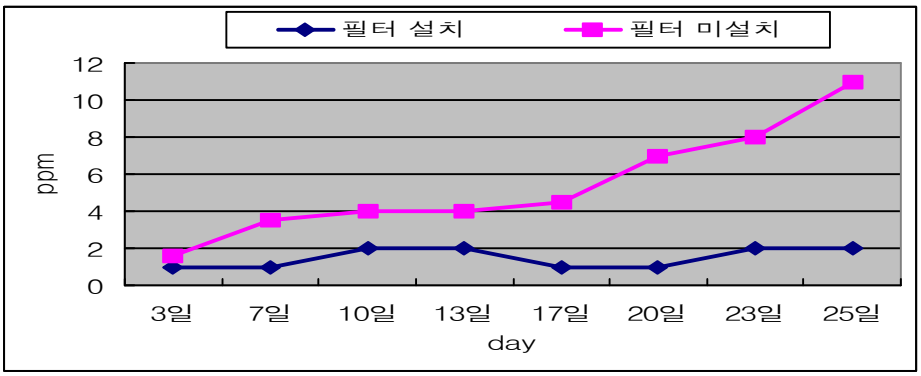
* Measured by gas chromatography, 측정돈사 : 고상식돈사



<그림 4-6> 바이오필터 설치 후 암모니아 농도변화

그림에서 보는 것처럼 바이오필터 매질을 우드칩으로 하여 돈사에 설치한 후 암모니아 저감 효과를 조사 하였다. 그 결과 돈사내부는 지속적으로 암모니아 농도는 증가하는 경향이었으나 바이오필터 상부 10cm 지점에서 측정한 결과 완만한 상승세를 유지한 것으로 나타났다. 이한 점은 바이오필터 외부 즉 돈사 주변에서는 암모니아 농도가 거의 측정되지 않았다.

동일한 무창돈사에 개방형 바이오필터를 한쪽 측벽에 설치 한 것과 설치하지 않은 것을 비교한 결과 암모니아 배출농도는 바이오필터를 부착한 배기구는 악취증가 현상 없이 유지하는 상태였으나, 바이오필터가 부착되지 않은 배기구는 설치기간이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.



<그림 4-7> 바이오필터 설치와 무 설치에서 배출된 암모니아 농도변화

바. 바이오 커튼과 방풍댐 이용 악취저감

1) 설치 방법

미국에서 농장에 설치하여 활용하고 있는 것으로 측벽배기를 하는 무창돈사에 반쪽하우스 형태의 파이프 구조에 차광막처럼 된 커버를 씌워 돈사내에서 배출되는 먼지와 악취를 줄이도록 하는 방법이다.

<그림 4-8> 바이오 커버와 방풍댐 이용 먼지와 악취확산 방지

2) 설치효과

암모니아 농도는 바이오커튼, 방풍댐과 미설치(대조구)에서 뚜렷한 유의적 경향이 없으나 일일에는 약간의 변화를 가능성을 보였으며, 바이오커튼과 방풍벽에서 나타난 측정수치는 아마도 암모니아나 악취를 낮추지 못하나, 바람으로 악취를 대기로 상승시키게 하는 경향으로 악취가 이웃에 도착 전에 더욱더 효과적으로 희석된다고 추정하고 있다. 즉 사람이 지면에서 낮은 악취 농도를 검지하므로 바이오커튼이나 방풍벽에서 가스가 없는 경우로 비유되고 있다.

이 한정된 평가를 기초로, 방풍벽과 혹은 바이오커튼이 임신돈사와 분만돈사로부터 배출되는 악취에 긍정적인 영향이 있다고 결론내리는 것은 불가능 하나, 먼지 측정은 실험 처리별로 방풍벽과 바이오커튼에 남아있는 먼지입자 크기에서 다양한 효과를 보였다고 보고하고 있다.

이 방법은 현재 국내에는 설치되어 있지 않으나 앞으로 검토 후 국내 실정에 맞게 변형해서 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

사. 방풍림 이용 악취 확산의 방지

방풍림(shelterbelts)을 설치 방풍림에 의해 난류가 증가되어 악취공기를 희석시켜

주는 효과의 향상과 악취를 먼 거리 까지 이동 시키는 것의 감소효과, 방풍림 나뭇잎에 의한 악취가스 흡착에 의한 악취저감 효과 등을 볼 수가 있다.

아직 국내에서 검증은 안 되었으나 농장 주변에 방풍림 등을 적절하게 심어 조경하면 돈사로부터 나오는 먼지나 악취물질의 장벽을 만들어 악취를 분산 시킬 가능성이 있어서 악취에 대한 불쾌감을 줄일 수 있다 하고 있다. 단 나무의 성장기간이 필요하다. 적어도 2열의 나무가 필요하고, 3열이 좋다고 추천되고 있다.

추천되는 나무들은 회양목, 노송나무, 산호주, 사철나무, 무궁화나무, 진달래과 나무 등이 악취저감 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

<그림 4-9> 3열 방풍림 설치 예

<그림 4-10> 방풍림으로 사용가능한 수목

아. 악취물질별 악취제어방법 비교

악취물질에 대한 물질별 탈취기술은 최근 다양한 연구 및 실제 산업장 적용에 따라 다양한 보고가 나오고 있다. 악취를 저감시키기 위해 이용되는 탈취 효과와 운전비용 등은 다양하다. 현재 일반 산업장에서 악취물질별로 적용되는 일반적인 탈취기술은 <표 4-8>과 같다. 그리고 국내·외국의 축산농가에서 적용중이거나 연구중인 악취방지시설에 대한 조사결과 다음과 같다.

<표 4-8> 악취 물질별 탈취 방법

물질명	화학식		오존 산화법	흡착법	연소법	생물 탈취법	소취제 분무법
암모니아	NH_3	○	○	○	○	○	○
메틸머캅탄	CH_3SH	○	○	○	○	○	○
황화수소	H_2S	○	○	○	○	○	○
황화메틸	$(CH_3)_2S$	○	○	○	○	○	○
이황화이메틸	CH_3SSCH_3	○	○	○	○	○	○
트리메틸아민	$(CH_3)_3N$	○	○	○	○	○	○
노르말부틸알데히드	$CH_3(CH_2)_2CHO$	×	△	○	○	○	×
이소부틸알데히드	$(CH_3)_2CHCHO$	×	△	○	○	○	×
	$CH_3(CH_2)_3CHO$	×	△	○	○	○	×
이소발레르알데히드	$(CH_3)_2CHCH_2CHO$	×	△	○	○	○	×
톨루엔	$C_6H_5CH_3$	×	○	○	○	△	×
스티렌	$C_6H_5CH=CH_2$	×	○	○	○	△	×
자일렌(크실렌)	$C_6H_4(CH_3)_2$	×	○	○	○	△	×
프로피온산	CH_3CH_2COOH	○	○	○	○	○	○
노르말부티르산	$CH_3(CH_2)_2COOH$	○	○	○	○	○	○
노르말발레르산	$CH_3(CH_2)_3COOH$	○	○	○	○	○	○
이소발레르산	$(CH_3)_2CHCH_2COOH$	○	○	○	○	○	○

* 악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구, 환경부(2001. 5)

5. 돈분뇨 처리 및 관리개선에 의한 냄새저감

가축분뇨처리 측면에서 바라볼 때 양돈분뇨가 가장 많은 비율을 차지하고 있어 양돈분뇨처리의 해결 여부가 우리나라 분뇨처리 문제를 해결하는 가장 큰 열쇠라 할 수 있다. 이중 양돈분뇨를 환경친화적으로 처리하여 토양에 작물의 비료원으로 활용하기 위한 자원화 방식으로는 퇴비화 방법과 액비화 방법이 있다.

퇴비화 및 액비화는 각각의 장단점이 있으며, 이러한 처리방식은 사육규모, 사육방식, 돈사형태 등 농장여건에 맞게 적용되어야 한다. 퇴비화의 경우 일반적으로 퇴비더미 내 환경이 100% 호기성 조건의 경우에서의 유기물 분해는 유해한 냄새를 발생시키지 않는다. 그러나 돈분뇨의 퇴비화과정 중 여러 단계에서 악취가 발생될 수 있는 조건이 조성된다.

공정별로 악취발생 원인을 살펴보면 ① 돈분 자체 내에서 발생되는 경우, ② 돈분뇨의 수집, 운반 및 저장조건하에서 발생되는 경우, ③ 과다한 수분, 부적절한 송풍 등과 같은 부적절한 퇴비조건에서 발생되는 경우, ④ 퇴비화 과정 중 뒤집기에 의한 유기물 입자들이 공극사이에 존재하던 냄새 유발성 물질이 방출되는 경우 등이다.

돼지분뇨의 다양한 퇴비화 공정에서 발생되는 악취는 일반적으로 황, 유기 및 무기질소 화합물, 분자량이 작은 지방산, Terpene, carbonlys 및 Alcohol 등에 기인한다(김남천 등, 1994). 적정퇴비화 공정에서는 유기물의 호기성 미생물학적 분해에 의해 탄소, 질소 및 황 등의 최종산물은 각각 CO_2, NO_3^-, 그리고 SO_4^{2-}로 변환되며, 이들 산물들은 악취를 유발하지 않는다.

그러나 공기유입의 부족으로 인해 적정수준의 호기조건이 유지하지 못하면 퇴비더미 내 조건이 혐기성으로 변화하게 되며, 혐기성미생물에 의해 악취원인물질을 합성, 방출하게 된다. 즉, 퇴비화에서 있어서의 악취유발 물질의 생성은 혐기성 조건에 기인된다는 것으로 알려져 있다.

특히, 돼지분뇨에서 발생되는 악취성분에는 암모니아와 황화수소 그리고 휘발성지방산, 알데하이드, 아민, 멜캅탄, 인돌 및 스카톨 등이 혼합 상태로 존재되고 있으며 이들 성분은 퇴비화시 고농도 다량 배출되기 때문에 악취로 인한 불쾌감이 증가되고 이에 따른 사람과 돼지에게도 스트레스로 작용한다.

돼지분뇨의 악취물질의 생성은 퇴비화과정에서 산소공급과 밀접한 관계가 있으며 퇴비더미내의 산소공급량은 공기 주입량과 산소농도 및 퇴비더미 내 수분함량과 밀접한 관계를 가진다. 일반적으로 퇴비더미 내 공기 주입 율이 증가함에 따라 산소공급 용적량은 증가하며 이러한 증가는 퇴비더미 내 악취를 감소시키고 호기성 미생물의 활성으로 증가시킨다.

퇴비더미내의 공기공급량이 너무 적으면 호기성 미생물의 활성이 저해되어 혐기성 상태로 변하게 되며, 이때에 퇴비더미 내에서 악취성분이 다량으로 발생하게 되는 것이다.

돼지분뇨를 퇴비화 방법을 이용하여 처리하고자 할 경우에 퇴비화과정에서의 냄새발생을 제어하기 위해서는 퇴비더미내 조건을 호기성 상태로 계속 유지하는 것이 가장 중요한 인자로 알려져 있다.

가. 퇴비화과정에서의 악취발생 저감을 위한 기본공정인자 조건

1) 입자크기 조절

퇴비더미내의 호기성 조건하에서 미생물활성이 극대가 될 수 있도록 하여주어야 한다. 그러기 위해서 입자의 크기를 작게 하여 미생물과의 접촉 및 산소의 통기성 등을 증진시켜 주어야 한다. 그러나 퇴비층의 압력손실은 재료입자 크기의 2승에 비례하기 때문에 입도를 너무 작게 하여 공기의 유통에 지장을 초래하게 되면 안된다. 따라서 퇴비원료물질내의 모든 입자들은 미생물의 접촉을 극대화하기 위해서 공기, 물, 영양물이 균일하게 혼합되어야 한다.

2) C/N비 조절

C/N비란 생물학적 분해 가능한 탄소의 양을 질소의 양으로 나눈 값을 말하며, C/N비 조절은 퇴비원료물질 준비단계에서 수행되어야 한다. 주 퇴비화 단계에서 질소는 암모니아 형태로 유실되고 그 결과 C/N비는 증가하며 퇴비화공정의 질소성분은 부족해진다. 주 퇴비화단계 동안 적절한 공기공급을 통하여 과잉의 질소성분이 휘발되는 것을 막아 C/N비를 적절히 유지할 수 있다.

대부분의 호기성 퇴비화장치에서 소비된 탄소의 2/3는 이산화탄소의 형태로 날아가 버리고 1/3만 살아있는 세포내에서 질소와 결합 되는 것으로 알려져 있다. C/N

비의 적정범위는 25~40정도가 적장하며, C/N비는 분해가 진행됨에 따라 점차 낮아진다.

3) 퇴비더미내 함수율 조절

퇴비원료 물질의 함수율 조절은 미생물의 활성을 위해서 매우 중요하다. 함수율 조절방법은 적용되는 퇴비화기술, 퇴비더미의 크기, 뒤집기, 교반방법과 빈도, 공기공급 방법 등의 특성에 따라 다르며, 연속교반과 공기공급시설은 잦은 교반이 퇴비화물질에 산소를 공급해주므로 혐기성조건이 되는 것을 막아주는 기능이 있다. 따라서 초기 퇴비화 수분함량은 65%가 가장 합리적이다.

4) 교반(뒤집기)과 혼합

교반(뒤집기)과 혼합의 목적은 퇴비화물질 전체에 수분이 일정하게 공급되도록 분배하며, 퇴비화물질내의 덩어리를 파괴하고 공기가 한 방향으로 흐르는 것을 막아주고 퇴비화물질내의 모든 물질들을 호기성 조건을 만들어주기 위하여 실시하는 것이다.

퇴비화시설에서 교반과 혼합을 수행해야 할 단계는 ① 새로이 유입되는 퇴비화물질을 위하여 공간이 필요할 때, ② 퇴비화물질의 어느 한부분이 너무 건조하거나 너무 젖어있을때, ③ 퇴비화물질이 덩어리가 형성될 때, ④ 강제송풍시 퇴비화물질 주위에 단회로가 형성되었을 때, ⑤ 퇴비화물질 위에 파리유충이 번성할 때 등이다.

5) pH 조절

돈분의 퇴비화 과정중 pH는 미생물의 종류와 미생물 활성강도, 퇴비화물질의 부식도 등을 나타내며, 낮은 pH의 원인은 퇴비화 초기에 산소공급이 불충분할 때에 발생된다. 이때 악취가 다량 발생한다. 퇴비화시 암모니아 생성은 높은 pH 상태에서 발생하나 호기적으로 퇴비화가 진행되고 온도가 상승하면 퇴비의 pH는 자연적으로 6.0~8.0으로 안정화된다.

6) 공기공급

퇴비더미내 공기공급의 목적은 산소공급과 과잉열을 제거하여 미생물 활동에 적절한 온도 제공하고 혐기성 조건이 되는 것을 방지, 퇴비화물질로 부터 이산화탄소

와 휘발성 유기화합물을 제거 및 유기산에서 나오는 이산화탄소의 의해서 pH가 낮아지는 것을 방지하기 위한 것이다.

미생물의 활성도는 충분한 영양물, 적절한 수분, 적절한 온도조건이면 계속증가하게 되며 산소요구량이 증가하고 신진대사 활동결과 발생하는 열이 퇴비화 물질내 축적되기 때문에 퇴비물질내 온도가 상승 하게 되는 패턴이 반복하면서 퇴비화가 이루어진다. 따라서 미생물 활성이 증가하면 공기공급량도 증가 되어야 한다.

퇴비화 공정이 진행되고 퇴비물질이 안정될수록 분해율은 낮아지며 공기공급량도 감소하게 된다. 만약에 퇴비더미내 조건이 혐기성이되면 유기물 분해는 일반적으로 호기성 분해보다 느리며 악취발생이 이루어지기 때문에 호기화 시켜줌이 무엇보다 중요하다.

7) 발효온도 조절

퇴비더미내 발효온도는 미생물이 유기물을 효과적으로 분해할 수 있는 환경을 유지하고 퇴비화공정에 필요한 시간을 최소하기 위한 것이다. 퇴비더미내 발효온도는 가장 많은 수와 형태의 미생물이 존재하여 유기물을 분해를 최대로 할 수 있는 이상적인 온도의 유지(45~65℃)가 필요하다. 즉, 호기성 퇴비화공정에서 온도는 미생물 활성에 가장 중요한 제어인자 이다.

나. 양돈농가에서의 분뇨처리시 악취 관련 면접조사결과

양돈농가에서의 분뇨처리시 악취 관련 면접조사결과 모돈사, 분만사, 자돈사, 육성비육돈사 분뇨처리 방식중 악취가 가장 많이 발생하는 방식으로는 모두 슬러리 처리방식에서 표에서 보는 것처럼 악취가 가장 많이 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 5-1> 분뇨처리시스템별 악취발생정도

구분	슬러리	스크레퍼	톱밥돈사	인력	미응답	계
모돈사	45.9	17.3	-	20.3	16.5	100
분만사	40.6	11.3	-	18.8	29.3	100
자돈사	36.8	16.5	13.3	16.5	18.8	100
육성비육사	39.8	12.0	13.3	16.5	20.3	100

*축사에서 발생되는 악취의 배출특성과 악취저감을 위한 관리 지침(축산연, 2004)

사육과정에서 악취가 가장 많이 발생하는 작업과정으로는 사료급여중이 2.3%, 분뇨제거중이 84.2%, 소독중이 0.8%, 돈사청소중이 6.8%, 미 응답이 6.0%로 조사되어 분뇨제거 작업 중에 악취가 가장 많이 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 5-2> 돈사내 작업관련 악취발생

구분	사료급여	분뇨제거	소독	돈사청소	미응답	계
비율(%)	2.3	84.2	0.8	6.8	6.0	100

*축사에서 발생되는 악취의 배출특성과 악취저감을 위한 관리 지침(축산연, 2004)

돼지 사육농가에서 생산된 분뇨처리는 퇴비화(교반)과정으로 처리가 46.6%, 저장액비화가 11.3%, 해양투기 24.1%, 활성오니가 2.3%, 미 응답이 15.8%로 조사되었으며, 돈분을 퇴비화(교반)과정으로 가장 많이 처리하는 것으로 조사되었다.

<표 5-3> 생산된 분뇨의 처리방법

구분	퇴비화	저장액비	해양배출	정화처리	미응답	계
비율(%)	46.6	11.3	24.1	2.3	15.8	100

*축사에서 발생되는 악취의 배출특성과 악취저감을 위한 관리 지침(축산연, 2004)

돈분 처리과정중 악취가 가장 많이 발생하는 방식으로는 교반식 퇴비화가 43.6%, 저장액비화가 10.5%, 슬러리가 32.3%, 미응답이 13.5%로 조사되어 교반식 퇴비화가 악취가 가장 많이 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 5-4> 생산된 돼지분뇨의 처리방법별 악취발생 정도

구 분	퇴비화(교반식)	저장액비	슬러리	미응답	계
비율(%)	43.6	10.5	32.3	13.5	100

*축사에서 발생되는 악취의 배출특성과 악취저감을 위한 관리 지침(축산연, 2004)

다. 퇴비화시설에서의 악취방지시설 효과

퇴비처리장에서의 악취 방지시설을 설치하여 전·후단 및 퇴비저장소 중앙, 처리시설내 측정지점별 악취물질 측정농도는 다음 <표 5-5>와 같다.

측정결과 퇴비처리장의 경우 산술평균으로 NH_3는 73.2 ppm, H_2S는 32.5 ppb, $(CH_3)SH$는 7.9 ppb, $(CH_3)_2S$는 34.3 ppb, $(CH_3)_2S_2$는 4.4 ppb, CH_3N는 21.5 ppb, $(CH_3)_2N$와 $(CH_3)_3N$는 230.7 ppb, 부틸산은 690.9 ppt, 발레르산은 29.6 ppt, 이소발

레르산은 31.0 ppt가 측정되었고, 중앙값으로 NH_3는 48.0 ppm, H_2S는 31.5 ppb, $(CH_3)SH$는 10.7ppb, $(CH_3)_2S$는 38.2ppb, $(CH_3)_2S_2$는 2.5 ppb, CH_3N는 22.6 ppb, $(CH_3)_2N$와 $(CH_3)_3N$는 105.3 ppb, 부틸산은 36.0 ppt, 발레르산은 29.4 ppt, 이소발레르산은 22.8 ppt가 측정되었다.

<표 5-5> 퇴비처리장내 악취물질 농도

분	NH_3	H_2S	$(CH_3)SH$	$(CH_3)_2S$	$(CH_3)_2S_2$	CH_3N	$(CH_3)_2N$	$(CH_3)_3N$	부틸산	발레르산	이소발레르산
M-P-3	12.5	31.5	10.7	2.6	2.5	18.7	71.8		36.0	N.D	N.D
M-P-4	48.0	52.3	12.9	62.2	10.6	22.6	105.3		1521.7	42.3	45.5
M-L	159.1	13.7	N.D	38.2	N.D	23.1	515.1		16.9	16.4	N.D
범 위	12.5～159.1	31.5～52.3	0.0～12.9	2.6～62.2	0.0～10.6	18.7～23.1	71.8～515.1		16.9～1521.7	0.0～42.3	0.0～45.5
*평 균	73.2	32.5	7.9	34.3	4.4	21.5	230.7		690.9	29.6	31.0
중앙값	48.0	31.5	10.7	38.2	2.5	22.6	105.3		36.0	29.4	22.8

* 단위 : NH_3 (ppm), H_2S, $(CH_3)SH$, $(CH_3)_2S$, $(CH_3)_2S_2$ (ppb), CH_3N, $(CH_3)_2N$ 및 $(CH_3)_3N$(ppb), 부틸산, 발레르산, 이소발레르산 (ppt)
* 평균 : 처리시설내 농도 산술평균
* 우사, 양계사 등에서 발생되는 악취관리지침(환경부, 2004)

돈분 퇴비처리장내에 설치, 가동 중인 악취방지시설의 전·후단의 농도 및 효율을 측정해 보았다.

<표 5-6> 퇴비처리장 악취방지설비 배출농도 및 가동현황

분 류 / 측정지점	NH_3	H_2S	$(CH_3)SH$	$(CH_3)_2S$	$(CH_3)_2S_2$	유속	온도	굴뚝직경
	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	m/s	℃	m
전 단	103.6	6,132.5	766.4	217.1	20.0	11.2	36.4	0.56
후 단 처리효율(%)	21.2 (79.6)	662.2 (89.2)	229.5 (70.1)	63.9 (70.6)	13.7 (31.2)	5	29.9	0.84

* 단위 : NH3 (ppm), H2S, (CH3)SH, (CH3)2S, (CH3)2S2 (ppb), CH3N, (CH3)2N 및 (CH3)3N(ppb), 부틸산, 발레르산, 이소발레르산 (ppt)
* 평균 : 처리시설내 농도 산술평균
* 우사, 양계사 등에서 발생되는 악취관리지침(환경부, 2004)

라. 퇴비화 과정중의 나타날 수 있는 악취 현상과 대책

가축분뇨의 퇴비화 과정 중 발생될 수 있는 악취 현상에 따른 조치사항은 <표 5-7>와 같다.

<표 5-7> 퇴비화 과정의 문제점 및 대책

문 제 점	원 인	확 인 방 안	대 책
- 점진적인 온도 , 교반 혹은 송풍후에 발열 되지 않음	- 발효종료단계 - 수분함량 부족	- 적절한 퇴비화 기간 경과, 적절한 수분, C/N율 20:1이하 - 원재료의 수분압출 불가능	- 수분첨가, 재혼합
- 온도상승 (65℃이상)	- 열제거를 위한 불충분한 송풍 - 적정에서 저수분, 증발냉각 제한 - 너무 큰 더미	- 더미가 습하다 - 수중기가 발생되는 느낌이나 과도하게 습하 거나 건조하지 않음 - 높이 2.4m이상	- 교반 혹은 송풍량 증가 - 수분첨가, 온도조절을 위한 교반과 송풍 - 더미크기 조정
- 극단적 고온 (77℃ 이상), ,후숙,저장	- 열분해(Pyrolysis) 혹은 자연적 연소	- 낮은 수분함량, 더미내부가 타는 듯이 보이고 냄새	
- 후숙, 저장시의 고온과 냄새	- 불안정 퇴비	- 짧은 퇴비화 기간, 혼합후 온도와 냄새 변화	- 더미조정, 필요시 교반
- 암모니아 냄새 발생	- 높은 질소 함량 - 높은 pH - 가용성탄소의 느린 분해	- C/N율 20:1 - pH 8.0이상 - 큰나무입자, C/N율 30:1이하	- 고탄소 조절재 첨가 - 산성재료 혼합, pH저하 알카리성 재료의 제외 - 다른탄소 조절재사용, 혹은 탄소비율 증가
- 계란 썩는 또는 심한악취	- 혐기조건 · 과수분 · 구조성 결여 · 더미밀착 · 불충분함 송풍 - 혐기조건 · 너무나 큰더미 · 송풍 불균일 또는 짧은 송풍	- 저온 - 고온	- 수분조절재 첨가 - 용적재 첨가 - 필요시 재혼합, 용적재 첨가 - 더미 축소] - 재혼합, 재료 검토

<표 5-7> 계속

문 제 점	원 인	확 인 방 안	대 책
- 교반후에만 악취발생	- 냄새나는 원재료 - 불충분한 송풍, 혐기성 내부	- 고온 - 저온	- 교반, 공극증가, 냄새흡수조절재 첨가 - 교반간격 축소, 공극증가
- 열발생 미약	- 원재료의 수분 부족 - 원재료의 수분 과다 - N 부족 또는 분해 느린 단단한 재료 - 구조성 결핍 - 추운기후와 작은 더미 - 심히 낮은 pH	- 원재료의 수분압출불가능 - 축축한상태, 가라앉음 수분함량 60%이상 - C/N율이 50:1이상 목질부가 너무많음 - 빨리 가라앉음, 큰입자가 적거나 수분이 수분이 과습하지 않음 - 1m이하 퇴적높이 - pH가 5.5이하, 쓰레기 유사냄새	- 수분 또는 습한자재 첨가 - 수분조절재 첨가후 재혼합 - N함량이 높은재료첨가, 퇴비화방법전환 - 수분조절재 첨가 - 퇴적높이 증가, 분해가 잘되는물질 첨가 - 석회, 나무재첨가, 혼합
- 덩어리 발생	- 혼합불량, 불충분한 교반 - 공기흐름불균일 - 퇴비화 불량	- 원재료를 퇴비중에서 구분 - 퇴비의 습한덩어리 - 후숙이 열 혹은 냄새 발생	- 퇴비선별, 처음 혼합율 개선 - 퇴비선별, 원재료 파쇄 혹은 선별 - 퇴비화 기간연장
- 온도 불균일 또는 냄새변화	- 혼합불량 - 불균일송풍 또는 짧은 송풍 - 수기가 다른 재료	- 육안으로 수분함량과 원재료차이 식별 - 긴퇴비더미의 온도차이	- 교반 혹은 재혼합 - 송풍파이프 단축, 재혼합

마. 악취물질 처리기술별 장단점 및 비용분석

<표 5-8> 악취물질 처리 기술별 장·단점 및 처리비용의 비교 분석

방법/방식		기술	이점	단점	비용
분뇨처리	깔짚	건조한 깔짚재를 축사바닥에 깔아 분뇨흡수를 촉진	현저한 악취감소 ; 부분적인 깔짚의 퇴비화	깔짚을 채취하거나 구입해서 연중 지속적으로 투입하면 ; 운반할 때 분뇨의 양이 증가한다.	0.38$/생산된 무게. 깔짚 생산지에 많이 의존해야한다.
	퇴비 첨가제	화학적 또는 생물학적 물질을 분뇨에 첨가한다.	악취와 암모니아 배출 감소	악취제거의문점; 실제 적용시 바람직한 결과가 나오지 않을 수 있음.	0.25~1$/돼지 두당(또는 그이상)
	고액 분리	고액분리는 액상 분뇨내부의 악취 유발 물질의 비율을 제거하기 위함이다.	액비저장조에서 악취를 저감할 수 있다. 0.25mm이하 크기의 입자를 제거하는 것이 제안된다.	자본과 운영비용 부담. 부수적으로 생산되는 고형물 관리가 요구된다. .	1~3$/돼지 두당
	퇴비화	생물학적 공정으로 호기성 박테리아가 유기물을 안정적이고 악취가 없는 물질로 변화시킴.	악취 뿐만 아니라 유기물도 제거된다.	자본과 운영비용 부담	0.2~0.4$/돼지두당
	호기성 관리	생물학적 공정으로 호기성 박테이라가 유기물을 산화시킨다.	효과적인 악취, 영양물질, 유기물의 감소	자본과 운영비용 부담	공정에 따라 많은 변형이 있다.
	바이오가스 생산	메탄가스의 발생을 완벽하게 포집하면 유용하게 사용할 수 있다.	효과적으로 악취 방출 감소	큰 자본비용소요 ; 상당한 유지비용이 요구된다.	-

6. 돈분뇨 액비저장조 및 액비 시용시 냄새저감 방안

가. 액비처리 방법에 따른 악취저감

1) 양돈분뇨 슬러리 악취농도

양돈분뇨 슬러리의 악취농도는 암모니아(NH3)가 180ppm, 황화수소(H2S) 15ppm, 메틸아민(CH3NH2) 4.7ppm, 메틸메르캅탄(CH3SH) 8.3ppm이였으며, 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compound)중 톨루엔과 벤젠은 각각 219.9, 67.96ppb, 휘발성지방산(Volatile Fatty Acid)은 6,235ppm으로 나타났다(표 6-5).

<표 6-1> 공시 양돈분뇨 슬러리의 악취농도

구 분	암모니아 (NH_3)	황화수소 (H_2S)	메틸아민 (CH_3NH_2)	메틸메르캅탄 (CH_3SH)
농도(ppm)	180	15	4.7	8.3

구 분	Volatile Organic Compound					
	Chloroform	Benzene	Toluene	Ethyl-benzene	p-Xylene	Styrene
농도(ppb)	3.47	67.96	219.90	4.32	1.61	7.73

구 분	Volatile Fatty Acid						
	Acetic	Propionic	iso-butyric	n-butyric	iso-valeric	n-valeric	Total
농도(ppm)	3,870	1,272	235	386	451	21	6,235

* 가축분뇨(액비) 이용기술개발 연구보고서(농촌진흥청, 2002)

2) 양돈분뇨 액비의 악취농도 변화

□ 암모니아 및 황화수소 농도변화

양돈분뇨 액비의 암모니아 및 황화수소 농도변화를 보면, 무처리구에서 암모니아 농도는 초기 180 ppm에서 90일까지는 점차 감소하다가 이후부터 다시 증가하는 경향을 보였으며, 폭기 및 교반처리구는 저장기간이 경과할수록 점차 감소되기 시작하여 폭기처리구의 경우, 120일에는 거의 모든 첨가제구에서 검출이 되지 않는 것으로 나타났다. 황화수소 농도는 무처리구에서 60일까지 점차적으로 감소하다가 이

후부터는 검출이 되지 않았으며, 폭기 및 교반처리구는 30일째부터 검출이 되지 않는 것으로 나타났다.

□ 휘발성 유기화합물 농도변화

양돈분뇨 액비내 휘발성유기화합물의 농도변화를 살펴보면, Benzene의 경우 폭기 및 교반처리구에서는 60일이 경과한 후에는 대부분의 첨가제 처리구에서 검출이 되지 않았고, 검출이 되었다고 하더라도 소량이 검출되었다. 무처리구에서 암모니아 농도는 초기 180 ppm에서 90일까지는 점차 감소하다가 이후부터 다시 증가하는 경향을 보였으며, Toluene, Styrene의 경우에도 저장기간이 지날수록 점차 감소하는 경향을 나타냈다.

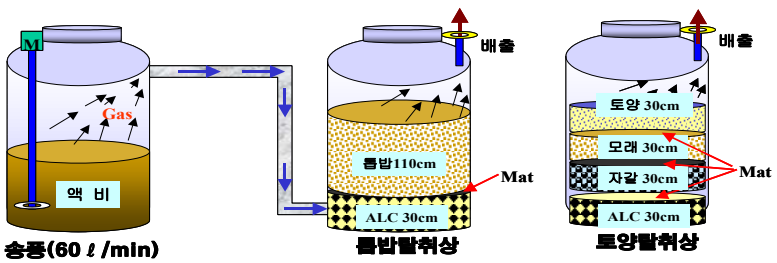
□ 휘발성지방산 농도변화

양돈분뇨의 잠재성 악취원인 물질인 휘발성지방산(Volatile Fatty Acid)의 농도 변화를 살펴보면, 폭기처리구에서는 저장기간이 경과함에 따라 점차적으로 감소하는 경향을 보였으나, 무처리 및 교반처리구에서는 60일까지는 감소하다가 이후에 다시 증가하는 경향을 보였다.

3) 액비저장조 악취포집 및 처리기술

□ 악취포집 및 처리장치 제작

악취포집 및 처리를 위하여 톱밥탈취상, 토양탈취상 등 2종류의 탈취상을 제작하여 액비 저장조에서 나오는 악취를 포집하여 각각의 탈취상에 강제송풍하는 방식으로 탈취상별 탈취효과 등을 조사하였다.



<그림 6-1> 톱밥탈취상 및 토양탈취상의 악취탈취작용 모식도

□ 탈취상별 악취성분 및 농도

양돈분뇨 액비에서 발생하는 악취를 처리하기 위하여 개발한 톱밥탈취상 및 토양탈취상의 악취농도의 탈취율을 조사한 결과, 암모니아는 톱밥탈취상, 토양탈취상 모두 처음 1개월간은 악취가 발생하지 않았으나, 기간이 경과할수록 효율이 떨어져 2개월 후에는 각각 74.3, 78.6%, 5개월 후에는 톱밥탈취상은 36.4%의 탈취효율을 보인 반면에 토양탈취상은 탈취효과를 나타내지 못했다.

<표 6-2> 톱밥탈취상과 토양탈취상의 암모니아 탈취효과 비교(ppm)

구 분	톱밥탈취상		토양탈취상	
	유 입	배 기	유 입	배 기
1개월	220	ND	220	ND
2개월	700	180	700	150
3개월	700	600	600	440
4개월	200	180	200	180
5개월	110	70	90	95

* ND : Not Detected
* 가축분뇨(액비) 이용기술개발 연구보고서(농촌진흥청, 2002)

또한 메틸아민은 톱밥탈취상에서 제거효율이 높았으며, 메틸메르캅탄은 톱밥탈취상, 토양탈취상에서 효율이 좋았으며, 황화수소는 검출되지 않았다. 따라서 톱밥 및 토양탈취상은 2개월에 1회 충진물을 교환하면 악취방지에 효과가 있을 것으로 사료된다.

<표 6-3> 톱밥탈취상과 토양탈취상의 메틸아민 탈취효과 비교(ppm)

구 분	톱밥탈취상			토양탈취상		
	유 입	배 기	탈취율(%)	유 입	배 기	탈취율(%)
1개월	32.91	ND	100	1.84	1.17	36.4
2개월	6.33	ND	100	1.62	6.84	-
3개월	6.70	ND	100	ND	ND	-
4개월	ND	15.10	-	4.00	ND	100
5개월	ND	1.30	-	ND	1.30	-

* ND : Not Detected
* 가축분뇨(액비) 이용기술개발 연구보고서(농촌진흥청, 2002)

<표 6-4> 톱밥탈취상과 토양탈취상의 메틸메르캅탄 탈취효과 비교(ppm)

구 분	톱밥탈취상			토양탈취상		
	유 입	배 기	탈취율(%)	유 입	배 기	탈취율(%)
1개월	ND	ND	-	1.47	ND	100
2개월	1.17	ND	100	1.38	ND	100
3개월	2.80	1.40	50	1.40	1.40	0
4개월	ND	ND	-	1.90	2.80	-
5개월	2.10	7.50	-	2.10	2.10	0

* ND : Not Detected
* 가축분뇨(액비) 이용기술개발 연구보고서(농촌진흥청, 2002)

□ 탈취상별 설치비용

양돈분뇨 액비에서 발생하는 악취를 효율적으로 탈취하기 위한 탈취상별 설치비용을 보면, 톱밥탈취상은 1,522천원, 토양탈취상은 1,578천원이 소요되어 설치비용의 차이는 없었으나, 충진물의 교체가 비교적 어려운 단점이 있었다.

<표 6-5> 톱밥탈취상 및 토양탈취상의 설치비용(10톤 기준)

구 분	톱밥탈취상	토양탈취상
PE탱크(10㎥)	1,000	1,000
직경 4～5cm ALC 쇄석(2㎥)	100	100
직경 2～3cm 쇄석(2㎥)	-	26
직경 0.5～3mm 모래(2㎥)	-	26
마사토(2㎥)	-	26
톱 밥(8㎥)	152	-
배관 및 잡품(PVC관 등)	100	100
인건비	200	300
합 계	1,552	1,578

* 가축분뇨(액비) 이용기술개발 연구보고서(농촌진흥청, 2002)

3) 양돈분뇨 액비제조·저장 및 액비살포시 악취저감 방법

□ 액비제조 및 저장시 악취저감

○ 액비제조시 공기를 주입하여 호기성 발효를 시킴.

- 적정 폭기량 : 슬러리 1㎥당 2.5㎥의 공기를 1시간에 주입
- 장점 : 고형물이 액화되어 살포가 용이하고 악취 감소
- 단점 : 양분 손실(특히 질소) 및 폭기에 따른 에너지 비용 추가

○ 저장탱크에 뚜껑을 덮어주어 저장기간 중 악취 휘산을 감소

<표 6-5> 가축분뇨 액비 제조방법별 특성비교

액비화 방법	평 점					
	pH	BOD 제거효율	대장균 제거효율	악취 제거효율	질소 보존효율	총 점
저류조	5	1	1	1	4	12
혐기성(교반식)	4	1	5	2	4	16
혐기성(정치식)	5	1	4	1	3	14
연속폭기식	1	4	4	5	1	15

* 농업과학기술원(1997)

<표 6-6> 저장조의 슬러리 표면처리 형태별 암모니아 휘산율

저장조의 슬러리 표면처리	암모니아 휘산율(%)
콘크리트 지붕	5～10
비 닐	10～15
볏짚, 10㎝	30～40
피트모스, 10㎝	5～20
유채 기름살포, 0.5㎝	15～20
뚜껑 없음	25～75

4) 액비 살포시 악취저감

○ 살포시 기계적인 방법으로 악취를 억제하는 방법

- 살포시 악취가 수반되는데 이러한 문제점을 제거하기 위해 살포와 동시에 경운하여 흙으로 복토하는 방법
- 액비제조에 추가적인 경비가 소요되지 않고, 양분소실이 적은 반면에 살포에 추가적인 장비개발 및 부착이 필수적

- 디스크해로우를 장착한 액비살포기로 지표 살포 하였을 경우에는 현저하게 악취가 감소

○ 만일 더운 날에 분뇨를 살포하려면 아침에 실시하면, 지표의 공기가 더워지고 상승하며, 악취도 대기 중에 상승하고, 지표를 따라 이동하지 않을 것임.. 또한, 분뇨가 빨리 건조해지고 악취는 저녁 전까지 줄어들 것임

○ 분뇨 살포시 추운 날이 더운 날보다 악취 발생이 적음, 그러나 침출수 문제가 발생할 수 있는 얼거나 눈 덮인 땅에는 분뇨를 살포하지 말것

<표 6-7> 액비살포 방법별 악취농도

살포방법	악취농도(외기 100기준)
관행살포	440.5
지표살포	165～185
지중살포	120～147

* 오인환 등(2001)

관행살포

지표살포

지중살포

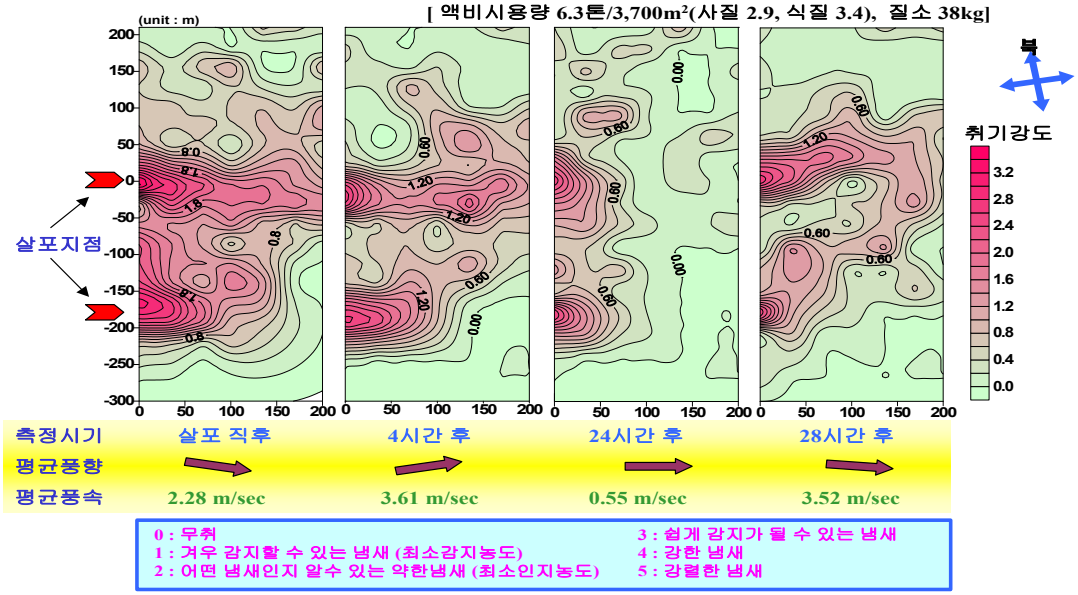
<그림 6-2> 액비살포 방법

5) 액비 시용 후 악취강도 및 가스 발생량

○ 액비 시용 후 시간별 악취강도의 변화양상은 28시간 후에도 200m 거리에서 감지되었고, 풍향과 풍속에 따라 취기가 다르게 나타나므로 액비살포 후에는 경운이나 로타리를 하여 악취가 나지 않도록 조치하여야 한다.

○ 악취도 2(겨우 감지할 수 있는 냄세) 이상은 악취방지법상 환경규제 대상이 되므로 충분히 부숙 시켜 사용하여야 된다.

○ 액비 시용량이 많을수록 암모니아 및 탄산가스 발생량이 많다.



<그림 6-3> 시간별 악취강도의 변화양상(관능조사)

7. 이웃과의 관계 및 기타

양돈장을 경영하면서 돼지가 생명을 유지하고 생산활동을 하는 공간에서 악취 그 자체를 완전히 무취화하기는 불가능하다. 그 이유는 식물성과 동물성 먹이를 먹고 생활하는 동물들에게는 배설이라는 것은 필수적이기 때문이다. 만약 배설활동이 원활하지 못하면 돼지가 정상적이지 못하다고 할 수 있을 것이다. 정상적인 활동과정 중에 발생되는 배설물이 미생물에 의한 유기물질내 영양물질이 분해과정 중 악취는 필연적으로 발생될 수밖에 없다. 그러나 이것은 필연적으로 발생될 수밖에 없다고 생각하고 악취저감을 위한 노력을 게을리 한다면 앞으로 시행될 악취방지법에 저촉을 더욱 받게 될 수밖에 없다. 양돈농가들이 우선 사항을 간략하게 언급하면 다음과 같다.

□ 인근 주민들의 입장에게 양돈의 좋은 이미지를 줄 수 있도록 돈사를 항상 청정하게 유지하며, 악취를 최대한 제어하여야 하며, 동시에 인근 주민들과의 돈독한 유대관계를 평소에 맺어 문제 발생시 원만한 해결을 유도할 수 있어야 한다.

□ 이웃주민 또는 인근 민가와 원만한 관계를 유지, 분뇨 살포시 이해와 양해를 구하라.

□ 악취에 대하여 불평하는 주민들과 서로 논의를 하면서 주민들이 느끼는 불쾌한 점들에 대해 농장주가 해결하고자 노력과 대책을 공동으로 수립 하는 방안도 악취저감 방법의 하나다. 이러한 노력도 악취 민원을 줄이는 좋은 방법이 될 것이다.

□ 사람들에게 악취를 상기시킬 수 있는 분뇨저장조나 보기 흉한 지역을 보이지 않게 하기 위해서 시각적인 스크린(장벽)을 사용해라. 만약 농장주가 악취를 최소화하려고 힘쓰면 이웃은 빈번하지 않은 악취에 대해 불평을 적게 할 것이다.

□ 신규 축사 부지 선정 시에는 축사와 분뇨처리 시설을 이웃, 바람, 공기 배출 등 악취에 관련해서 위치를 정한다.

1) 농장 시설물을 설치할 때 바람의 방향이나 속도를 고려해서 설계한다.

바람 방향의 주기와 속도에 대한 기록들은 일기예보나 기상청 협조 등으로 도움을 받을 수 있을 것이다. 이러한 기록들은 바람의 방향을 16가지 유형들로 나누고 (예를 들면 남-남서, 남서, 서-남서 등), 최근 30년 동안 누적된 기록들이기 때문에 바람이 가장 빈발하는 시간대와 바람이 안부는 시간대 등에 대한 통계 자료가 확보될 수 있기 때문이다. 이러한 기록들 가운데 얻을 수 있는 월별 통계치에 의해 매달 각 바람의 방향에 따른 평균 속도도 나타나며, 냄새의 계절적인 증가 변화 추이도 알아낼 수 있다. 예를 들면 매년 일정한 회전기간 내에 냄새제거가 이루어지고, 바깥에 저장된 퇴비제거 등이 주기적으로 완료되어야 한다.

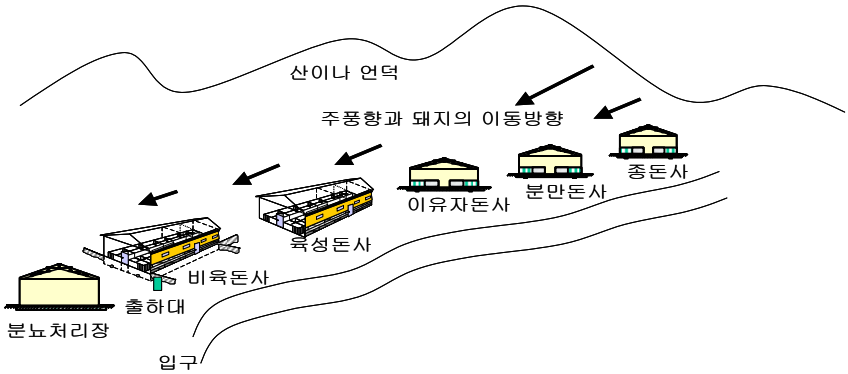
2) 건축 부지의 지형이나 전망 등도 중요하다.

여과, 희석, 분산의 효과가 냄새의 조절에 매우 중요한 요소이므로 건축물 부지의

선택은 매우 중요하다. 몇 몇 연구들을 보면 냄새를 일으키는 합성물들의 절반이 공기 먼지와 함께 날아가 버린다. 이 때문에 지형과 풍경들(예 : 나무들, 채소들, 그리고 방풍림 등을 들 수 있다)은 냄새 수송의 잠재적인 힘을 갖고 있는 것이다.

3) 공기 최대 배출능력을 고려해서 지형적인 문제를 검토해야 한다.

대부분 여름동안도 저녁시간 만큼은 바람이 잔잔하다. 이때가 되면 첫째로 지표면의 공기가 차가워지고, 이 때문에 축사시설 주변의 냄새들이 강·계곡 주변 또는 강 지류의 습지대를 통하여 이동하게 되기도 한다.



<그림 7-1> 돈사시설의 배치 예

4) 사람들에 의해 붐비는 장소나 주거지라면 지형의 경사면을 설치하여 보이지 않도록 한다. 가능한 가장 격리된 장소에 시설물을 위치시키는 것이 좋다. "바깥에 위치하면 관심 밖일 수 밖에 없다"는 개념이 타당하다.

사람들은 단시간에 냄새를 맡을 수 있으면 그들이 언제나 냄새를 맡을 수 있다고 생각한다. 사람들은 시설물들이 보여야 문제를 제기하는 법이다.

5) 어느 지역에 농장을 신축할 것인지를 미리 결정한다.

만약 축사시설이 새로운 지역이 아니라면 여러분의 이웃에게 덜 걱정을 주게 될 것이다. 그 이유는 그 이전부터 축사 시설물로 이웃들이 이미 이해하고 받아들이고 있기 때문이다.

8. 양돈장 악취제어를 위한 권장사항 및 관련법규 개선사항

가. 악취관리지역 지정기준 세분화 필요

1) 현행

현재 제정된 악취방지법 제6조에 의거 시행규칙(안) 제 7조의 악취관리지역의 지정기준 등은 공업지역과 기타지역으로 되어 있어 공업지역이외의 모든 지역은 기타지역으로 구분되어 있음

법 제6조 제1항의 규정에 의한 악취관리지역으로 지정하여야 하는 지역으로서는 다음 각호와 같다.

- 환경정책기본법 제22조의 규정에 의하여 지정된 대기보전특별대책지역
- 다음 각목의 지역으로서 시·도지사가 주민의 건강과 생활환경보전을 위하여 필요하다고 인정하는 지역
  - · 산업입지 및 개발에 관한법률 제6조 내지 제8조의 규정에 의한 국가산업단지, 일반 지방산업단지, 도시첨단산업단지 또는 농공단지
  - · 자유무역지역의 지정 등에 관한법률 제4조의 규정에 의하여 지정된 자유무역지역(전용공업지역 및 일반공업지역에 한한다)
  - · 국토의 계획 및 이용에 관한법률 제36조의 규정에 의하여 지정된 공업지역 중 전용공업지역

2) 문제점

오수분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 제2조의 규정에 의하여 지정된 지역에서 발생된 축산분뇨의 악취는 저농도로 지속적으로 발생하는 경향을 가지며, 근본적으로 유기물질에 대한 미생물의 산화와 환원에 의해서 발생되며 악취의 원인물질이 다양하게 발현됨으로서 복합취로 나타난다.

오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 제2조 2호의2항, 3호, 4호의 규정에 의하여 지정된 지역에서 발생되는 가축분뇨는 수분 이외의 구성 물질은 대부분 유기물이다.

3) 개선이 되어야 할 사항

축산분뇨의 특성을 고려한 법적용을 위해서 “오수, 분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률 제2조의 제2호의 2항, 제3호 및 제4호의 규정에 의하여 지정된 ”축산폐수 배출시설”을 “축산지역”으로 귀속시킬 필요가 있다.

나. 악취관리지역 중 축산지역이 설정되면 악취물질의 배출허용기준 범위가 조정되어야 한다.

1) 현행

악취방지법 제7조에 의거 시행규칙(안) 제 8조(배출허용기준)제 1항의 축산지역설정에 따른 악취물질 배출허용기준 설정 및 엄격한 배출허용기준의 재설정함에 있어

- 축산지역의 악취물질배출허용기준을 일본 및 국내 악취방지법의 최대배출허용기준으로 조정될 필요성이 있다.

2) 문제점

악취의 근원물질인 유기물함량이 축산지역에서는 고농도로 존재하고 가축분뇨에서 발생된 악취는 저농도로 지속적인 발생이 이루어지는 경향이 있음

- 미국의 악취관리는 일반적으로 주법에 의해서 관리되고 있는데 펜실베니아 주의 경우는 축산지역에서 암모니아 25ppm, 유화수소 10ppm까지 허용하고 있음

- 우리의 악취방지법에서 규제하고 있는 악취물질의 엄격한 배출허용기준이 일본의 악취방지법보다 규제물질에 따라선 수십배 강하여 악취방지법 제정에 대한 축산농가들의 불안심리가 가중되고 있어 축산지역에서 발생한 악취물질의 특성을 고려한 법집행이 이루어져야 할 것으로 사료됨

3) 개선이 되어야 할 사항

<단일악취물질 배출허용기준 및 엄격한 배출허용기준의 범위(개선안)>

악취물질		축산지역 (ppm)	공업지역 (ppm)	기타지역 (ppm)	엄격한 배출허용기준의 범위(ppm)	적용시기
1	암모니아	5	2	1	1～5	2005년 2월10일 부터
2	메틸머캅탄	0.01	0.004	0.002	0.002～0.01	
3	황화수소	0.2	0.06	0.02	0.02～0.2	
4	다이메틸설파이드	0.2	0.05	0.01	0.01～0.2	
5	다이메틸다이설파이드	0.2	0.03	0.009	0.009 ～0.2	
6	트라이메틸아민	0.07	0.02	0.005	0.005～0.07	
7	아세트알데하이드	0.5	0.1	0.05	0.05～0.5	
8	스타이렌	2	0.8	0.4	0.4～2	
9	프로피온알데하이드	0.5	0.1	0.05	0.05～0.5	
10	뷰티르알데하이드	0.1	0.1	0.029	0.029～0.1	
11	*n*-발레르알데하이드	0.05	0.02	0.009	0.009～0.05	
12	*i*-발레르알데하이드	0.01	0.006	0.003	0.003～0.01	

다. 악취저감장치(바이오필터 시스템)를 축산분뇨 처리시설 중 부대기계, 장비항목에 추가하여 지원하는 방안 필요

1) 현행

축산법 제3조 및 농어촌발전특별조치법 제5조에 의거 축산분뇨처리시설 지원사업 중 부대기계 · 장비 항목에 축사내 유해가스 제거기에 대한 지원 항목 있음.

2) 문제점

생물여과 악취저감장치는 악취물질의 흡수, 흡착 및 미생물을 이용한 이의 분해장치로서 악취방지를 위하여 본 시스템을 설치시 축산분뇨처리시설 지원시설에 장치구입자금에 대한 지원제도가 없음

3) 개선사항

생물여과 악취저감장치를 축사에 설치시 장치구입자금을 축산농가에 지원할 수 있도록 축산분뇨처리시설 지원사업 내용 중 부대기계·장비대상항목에 생물여과 악취저감장치를 포함시키도록 농림부 축산국 축산경영과에 건의하고자 함

4) 기대효과

축사내 암모니아 농도를 95% 감소시키며 휘발성지방산의 농도를 52%～100%까지 저감 가능함.

라. 액비저장조 설치시 액비저장조 상부 피복설치 권장

1) 현황 및 문제점

축산법 제3조 및 농어촌발전특별조치법 제5조에 의거한 축산분뇨처리시설 지원사업중 액비저장조 설치지원 항목에 액비저장조(규격) 및 폭기시설 설치(펌프식 교반시설)를 하도록 하고 있음

가축분뇨 액상비료 제조시 발생하는 악취물질의 확산을 줄이기 위한 권장사항이 전무함

액비저장조에서 발생되는 악취로 인한 민원경험이 21%였으며(김 등, 2005) 악취방지법시행에 따른 악취민원 증가예상

2) 요구사항

가축분뇨 액상비료 제조시 악취물질을 줄이기 위해 악취방지시설로서 액비저장조 상부에 섬유성재질로 피복하도록 권장

4) 기대효과

섬유성 재질(폴라포리스)를 액비저장조 피복으로 이용시 악취물질 중 암모니아, Xylene, Butanol, iso-Valeraldehyde, Methyl iso-butyl ketone의 농도를 악취방지법의 배출허용 농도 기준 이하 유지 가능