

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
지구온난화 대응 온실가스 저감 및 적용기술 개발		농업환경	'11~'12	농업기술원 작물개발과	조광래
온실가스 경감 부산물비료 제조 및 이용기술 개발		농업환경	'11~'12	농업기술원 작물개발과	조광래
색인용어	지구온난화, 온실가스, 가축분퇴비, 메탄, 아산화질소				

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate effects of materials for decomposing the livestock excrements on reduction of greenhouse gases emissions. The compost materials were made of swine manure mixed with sawdust as bulking agents. Microorganisms, polyaspartic acid (PAA), and cake after extracted from garlic were added composting process as fermentative additives, respectively. Physio-chemical properties of compost sources used in the experiment were 34~36% of organic matter content, 42~45% of organic matter/nitrogen ratio, and 60~61% of water content, respectively. During composting of swine droppings mixed sawdust, decomposing temperature showed the highest at 1~2 days after treatment and it slowly decreased later. Global warming potential (GWP) was more affected with CH₄ emissions than N₂O. Alleviative impacts of GWP was more enhanced in treatment of separated microorganisms from willow (WM) than any other additives.

Key words : Compost, Swine manure, Saw dust, Greenhouse gases, CH₄, N₂O

1. 연구목표

우리나라 축산농가에서 발생하는 가축분뇨 43,702천톤중 농경지에 이용되는 퇴비 또는 액비로의 자원화율은 85.6% 이고 나머지는 정화방류 9.5%, 해양배출 2.7% 기타 2.2%로 처리되고 있다(한토비지, 2012). 그러나 환경오염에 대한 규제가 강화되면서 2012년부터는 가축분뇨 등의 해양배출이 전면 금지됨에 따라 이들의 재활용율이 증가될 것으로 전망된다. 축분의 퇴비화(composting)란 제한된 조건에서 비교적 빠른 시기에 부식과 같은 안정한 물질을 얻는 과정이다. 따라서 퇴비화 속도는 미생물 활성화에 절대적 영향을 받게되며, 미생물 활성을 최적상

태로 유지하는 것이 바람직하다. 퇴비화 과정에서 고려해야 할 기본인자들은 C/N율(25~30), 수분(65~70%), 통기성 등이다. 그리고 퇴비화 과정은 유기물이 분해될 때 발생하는 온도를 기준으로 주 발효와 후 발효로 구분하며, 주 발효 과정에서는 병원균 사멸과 악취 제거의 효과가 있고, 후 발효에서는 미생물에 저항성을 갖는 유기물과 분해과정 중에 새로이 합성된 부식물질이 잔류하는 과정이다.

가축분뇨는 환경오염 유발원인인 동시에 식물영양 성분 및 유기물을 다량 함유하고 있어 작물에 안전한 토양개량제와 화학비료 대체재로서 활용되어야 하며, 최근 유기농산물의 선호도 증가에 따라 효율적인 활용방안이 연구되어야 한다고 생각한다.

국내에서 지금까지의 가축분 등 유기성 폐기물을 이용한 퇴비화 연구는 많이 이루어졌다. 그러나 퇴비화 과정에서 OM, OM/N, 수분, 중금속 함량 등 제한요인을 비료 공정규격 설정 및 지정에 관한 고시(농진청, 2013)에 설정하여 규제를 하고 있으나 온실가스 설정에 관한 연구는 미미한 실정이다.

본 연구는 가축분에 미생물 등을 첨가하여 퇴비 제조시 배출되는 온실가스 저감효과를 검토코자, 2011년부터 2012년까지 수행하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구는 2011년도부터 2012년까지 부산물비료 제조시 배출되는 온실가스 경감 기술을 개발코자, 경기도농업기술원 비가림하우스내에서 수행하였다. 시험에 사용한 부산물비료의 원료는 생돈분과 톱밥의 혼합물로서 미생물과 황함유부산물 등을 처리 CH_4 와 N_2O 등을 조사하였다.

<시험 1> 미생물별 온실가스 저감효과 구명 시험

시험기간은 2011년에는 8월 26일부터 9월 26일까지, 2012년에는 8월 14일부터 9월 23일까지 수행하였다. 시험재료의 이화학적 특성은 표 1과 같다. 생돈분은 수분 57%, OM/N 비 34이고, 톱밥은 수분 16%, OM/N 비 2,025이었으며, 발효원인 생돈분과 톱밥 혼합물은 수분은 60%, OM/N비는 42이었다. 발효물인 생돈분과 톱밥의 혼합물은 부피비로 생돈분 50%, 톱밥 50% 혼합하여 사용하였다. 처리방법은 생돈분과 톱밥의 혼합물 10kg에 미생물 배양액 5%인 0.5L를 첨가 후 재 혼합하여 발효상(가로 55cm×세로 35cm×높이 30cm)에 적치하였다. 처리내용은 미생물 무처리를 대조로 버드나무에서 추출한 미생물(가칭 WM)과 G대학에서 개발하여 분양받은 미생물(가칭 GGM-A, B, C, D) 등 6종을 3반복으로 처리하였다. 발효기간 중에는 외부에서 공기(산소)를 분당 1L씩 발효상내로 주입시켰으며, 발효상내의 온도와 온실가스인 CH_4 및 N_2O 등을 조사하였다. CH_4 는 GC-FID, N_2O 는 GC-ECD(Varian 450)로 분석하였다. 시험재료와 퇴비중의 성분은 토양 및 식물체 분석법(농과원, 2000)에 준하여, T-N은 kjeldhal법, OM은 회화법, 수분은 중량법으로 정량하였다.

표 1. 시험재료의 이화학적 특성

시 험 재 료	T-N (%)	OM (%)	OM/N 비	수분 (%)
생 돈 분	0.95	32	34	57
톱 밥	0.04	81	2,025	16
생돈분+톱밥	0.85	36	42	60

<시험 2> 농자재별 온실가스 저감효과 구명 시험

시험기간은 2011년에는 8월 26일부터 9월 26일까지, 2012년에는 10월 25일부터 12월 4일까지 수행하였다. 시험재료의 이화학적 특성은 표 2와 같으며, 수분과 OM/N 비가 <시험 1> 과 비슷하였다. 생돈분과 톱밥의 혼합비율과 처리방법은 <시험 1> 과 같은 방법으로 발효상에 적치하였으며, 농자재는 생돈분과 톱밥의 혼합물 10kg에 5%인 0.5kg(L) 첨가하였다. 처리내용은 무처리를 대조로 황함유부산물(마늘박), 생분해성 친환경 고분자 소재(PAA, Polyaspartic acid), 버드나무에서 추출한 미생물(가칭 WM) 4종을 3반복으로 처리하였으며, 발효상내에 공기 주입방법과 조사내용 및 분석방법은 <시험 1> 과 같다.

표 2. 시험재료의 이화학적 특성

시 험 재 료	T-N (%)	OM (%)	OM/N	수분 (%)
생 돈 분	0.90	31	34	58
톱 밥	0.04	80	2,000	16
생돈분+톱밥	0.75	34	45	61

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 미생물별 온실가스 저감효과 구명 시험

가. 발효상내 부숙온도 변화(2012)

생돈분과 톱밥의 혼합물(V/V, 50:50)에 미생물 5%를 처리한 발효상내의 부숙온도를 조사한 결과는 그림 1과 같다. 발효온도 변화는 일정한 주기가 있어 처리 후 2일에 최고온도에 도달하였다가 6일까지 급격히 감소한 후 10일까지는 완만한 증감이 있는 경향이였다. 그리고 처리 후 10일에서 발효물을 1차 환적함에 따라 다시 온도가 상승하다 떨어지고, 처리 후 14일에도 2차 환적에 의해 온도가 올라가다 낮아지는 양상이였다. 그러나 처리 후 21일에서는 3차 환적에 의해 온도는 높아졌지만 온도의 감소 정도는 1, 2차 환적에 비해 크지 않았다. 이는 발효가 거의 끝난 단계가 아닌가 생각된다. 한편 발효기간중의 평균온도는 미생물 처리에 의해 올라가는 경향으로 무처리 37.0℃에 비해 GGM-D 처리는 41.0℃로 4.0℃, WM 처리는 40.7℃로 3.7℃ 높았으며, 기타 처리(GGM-C 40.5℃, GGM-A 40.3℃, GGM-B 40.2℃)는 3.2~3.5℃ 높았다.

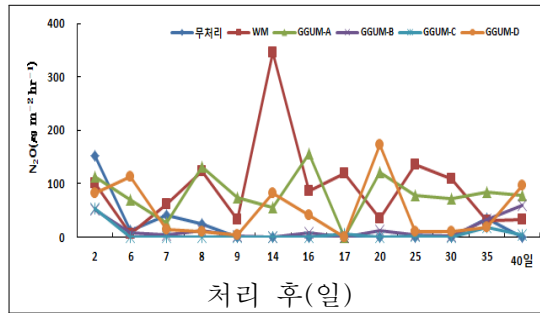


그림 1. 발효상내 부숙온도 변화

나. 발효기간중 온실가스(CH₄, N₂O) 배출량 및 GWP 변화(2011~2012)

2012년에 생돈분과 톱밥의 혼합물 발효기간중 온실가스의 배출량 변화를 조사한 결과는 그림 2와 같다. CH₄ 발생량은 일정한 주기가 있어 처리 후 2일에서 6일까지 증가하다 7일에서 감소하고, 8일에서 다시 많아지다가 9일에서 떨어지는 경향이였다. 그 후 14일에서 높아지다가 17일까지 낮아지면서 배출량이 완만이 감소하는 변화를 보였다(그림 2a). N₂O 배출량은 발생주기가 불안정하여 CH₄ 배출량과는 달리 일정한 경향성이 없었다(그림 2b). 발효상내 부숙온도(그림 1)와 온실가스 배출량(그림 2) 과의 관계로 보아 온도가 온실가스(CH₄, N₂O) 배출과는 연관성이 없는 것으로 판단되며, 금후 세밀한 연구가 수행되어야 한다고 생각된다.

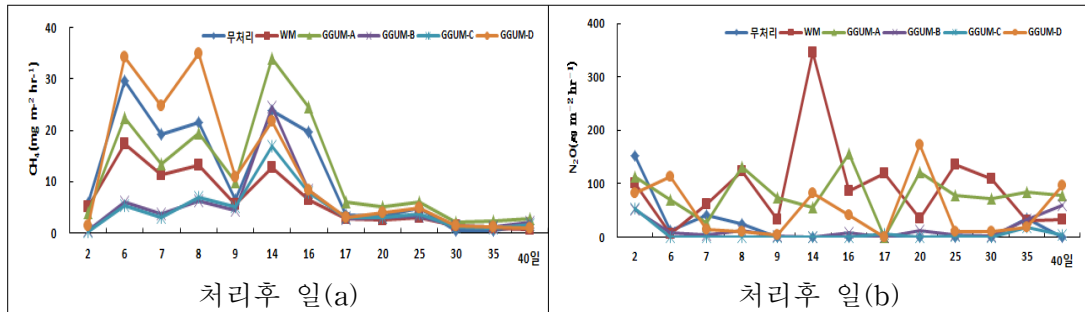


그림 2. 발효기간중 온실가스(CH₄, N₂O) 배출량 변화

CH₄ 배출량과 CH₄를 지구온난화잠재력인 GWP(Global warming potential)로 환산 (IPCC, 2006)한 값은 표 3과 같다. 일 평균 CH₄ 배출량은 무처리 259mg m⁻² d⁻¹에 비해 GGUM-B와 GGUM-C 처리에서 52~58% 감소되고 WM 처리에서 41% 감소되었으나, GGUM-A와 GGUM-D 처리에서는 각각 8% 증가하였다. CH₄의 GWP도 일 평균 CH₄ 배출량과 같은 경향이였다. 그리고 N₂O 배출량과 N₂O를 지구온난화잠재력인 GWP

(Global warming potential)로 환산한 값은 표 4와 같다. 일 평균 N₂O 배출량은 CH₄에서 감소효과가 좋았던 GGUM-B와 GGUM-C 처리에서만 26~68% 감소되고, 기타 미생물 처리에서는 N₂O 배출량이 증가하였으며, N₂O의 GWP도 일 평균 N₂O 배출량과 같은 경향이였다.

표 3. 온실가스(CH₄) 배출량과 GWP

처리내용	CH ₄ 배출량		GWP	
	일 평균 ¹⁾ (mg m ⁻² d ⁻¹)	총 ¹⁾ (g m ⁻² 40d ⁻¹)	일 평균 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	총 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² 40d ⁻¹)
1. 무처리	259	10.36	5.957	238
2. WM	153	6.12	3.519	141
3. GGUM-A	281	11.24	6.463	259
4. GGUM-B	125	5.00	2.875	115
5. GGUM-C	109	4.36	2.507	100
6. GGUM-D	279	11.16	6.417	257

¹⁾평균 : 13회 조사 평균값

표 4. 온실가스(N₂O) 배출량과 GWP

처리내용	N ₂ O 배출량		GWP	
	일 평균 ¹⁾ (μg m ⁻² d ⁻¹)	총 ¹⁾ (g m ⁻² 40d ⁻¹)	일 평균 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	총 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² 40d ⁻¹)
1. 무처리	487	0.019	0.144	6
2. WM	2,251	0.090	0.666	27
3. GGUM-A	1,961	0.078	0.580	23
4. GGUM-B	360	0.014	0.107	4
5. GGUM-C	156	0.006	0.046	2
6. GGUM-D	1,210	0.048	0.358	14

¹⁾평균 : 13회 조사 평균값

한편 발효기간중 배출된 CH₄와 N₂O를 GWP로 각각 환산하여 합한 값은 표 5와 같다. 총 GWP는 무처리 6.101g CO₂ m⁻² d⁻¹에 비해 GGUM-B와 GGUM-C 처리에서 51~58% 감소되고 WM 처리에서 31% 감소되었으나, GGUM-A와 GGUM-D 처리에서는 11~15% 증가하는 경향이였다.

표 5. GWP(CH₄+N₂O)

처리내용	GWP(CH ₄) (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	GWP(N ₂ O) (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	총 GWP(CH ₄ +N ₂ O) (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)
1. 무처리	5.957	0.144	6.101
2. WM	3.519	0.666	4.185
3. GGUM-A	6.463	0.580	7.043
4. GGUM-B	2.875	0.107	2.982
5. GGUM-C	2.507	0.046	2.553
6. GGUM-D	6.417	0.358	6.775

2011년과 2012년에 생돈분과 톱밥의 혼합물에 미생물을 처리하여 배출된 CH₄와 N₂O 양을 GWP로 환산한 값은 표 6과 같다. 평균 GWP는 무처리 4.565g CO₂ m⁻² d⁻¹에 비해 GGUM-C 처리는 2.777g CO₂ m⁻² d⁻¹로 39%, GGUM-B 처리는 2.895g CO₂ m⁻² d⁻¹로 37%, WM 처리는 3.067g CO₂ m⁻² d⁻¹로 33% 각각 경감되었으나, GGUM-A와 GGUM-D 처리는 경감효과가 없었다. 그러나 평균 GWP 감소효과가 좋았던 GGUM-B와 GGUM-C 처리는, 2011년과 2012년 연도간에 경감효과의 차이가 심해 이들 미생물에 의한 온실가스 감소 효과는 신뢰도가 낮다고 판단된다. WM의 경우는 GWP가 2011년에 37%, 2012년에 31% 각각 감소되어 GGUM-B와 GGUM-C 처리에 비해 연도간의 감소효과 차이가 적었다.

표 6. 연도별 온실가스 GWP 변화

처리내용	GWP(CH ₄ +N ₂ O, g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)		
	2011	2012	평균
1. 무처리	3.029	6.101	4.565
2. WM	1.948	4.185	3.067
3. GGUM-A	3.782	7.043	5.413
4. GGUM-B	2.808	2.982	2.895
5. GGUM-C	3.000	2.553	2.777
6. GGUM-D	2.337	6.775	4.556

다. 시험 후 퇴비품질(2011~2012)

시험 후 발효물(생돈분+톱밥)의 OM/N 비와 수분을 조사한 결과는 표 7과 같다. 미생물 처리구의 OM/N 비는 2011년은 무처리 39에 비해 낮고, 2012년은 무처리 33에 비해 높았으나 비료 공정규격(농진청, 2013)에서 설정한 OM/N 비 45을 초과하지는 않았다. 수분함량은 2011년과 2012년 모두 미생물 처리가 무처리에 비해 낮았으며, 이도 역시 비료 공정규격(농진청, 2013)에서 설정한 수분함량 55%를 초과하지는 않았다.

표 7. 시험 후 퇴비의 품질변화

처리내용	2011 ¹⁾		2012 ²⁾	
	OM/N 비	수분(%)	OM/N 비	수분(%)
1. 무처리	39	45	33	45
2. WM	36	42	35	39
3. GGUM-A	37	41	34	42
4. GGUM-B	33	40	36	40
5. GGUM-C	34	43	39	42
6. GGUM-D	38	44	34	44
비료공정규격 (가축분퇴비)	45이하	55%이하	45이하	55%이하

¹⁾ 시험기간 : 30일, ²⁾ 시험기간 : 40일

<시험 2> 농자재별 온실가스 저감효과 구명 시험

가. 발효상내 부숙온도 변화(2012)

<시험 1> 에서 온실가스 경감효과가 좋았던 WM 미생물과 마늘박, PAA 등을 생돈분과 톱밥 혼합물(V/V, 50:50)에 5% 처리하여, 발효상내의 부숙온도를 조사한 결과는 그림 3과 같다. 발효온도는 처리 후 12일까지 급격히 감소하다 그 후 40일까지는 완만한 증감이 있는 경향이였다. 평균온도는 무처리 21.3℃에 비해 마늘박 처리는 24.5℃로 3.2℃ 높았으나 PAA 처리는 22.2℃, WM 처리 22.3℃로 온도 상승효과가 적은편이였다.

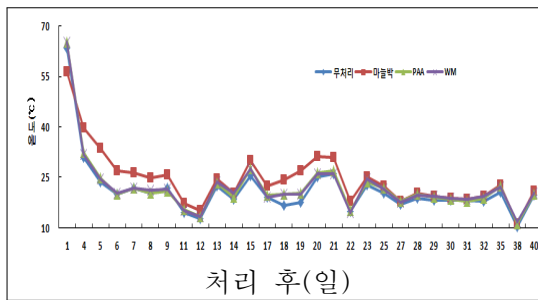


그림 3. 발효상내 부숙온도 변화

나. 발효기간중 온실가스(CH₄, N₂O) 배출량 및 GWP 변화(2011~2012)

2012년 메탄(CH₄)의 배출량은 처리 후 4일에서 가장 많았다. 마늘박 처리에서의 메탄 발생량은 처리 후 4일부터 12일까지 감소하다가 15일부터 19일까지 다시 증가한 후 계속 감소하는 경향을 보였다. WM, PAA 등 기타 처리는 마늘박 처리에서와 같이 처리 후 4일에서 배출량이 가장 많았다(그림 4a). 아산화질소(N₂O) 발생량은 처리 후 18일부터 20일까지 급격히 많아진 후 떨어지다가 완만한 증감의 변화가 있었으나, 기타 처리는 아산화질소 배출량이 미미하였다(그림 4b). 마늘박 처리에서 메탄과 아산화질소 발생이 많았던 것은 마늘박 첨가로 용적이 늘어나 호기적 조건이 조성된 물리적 특성이라 생각된다.

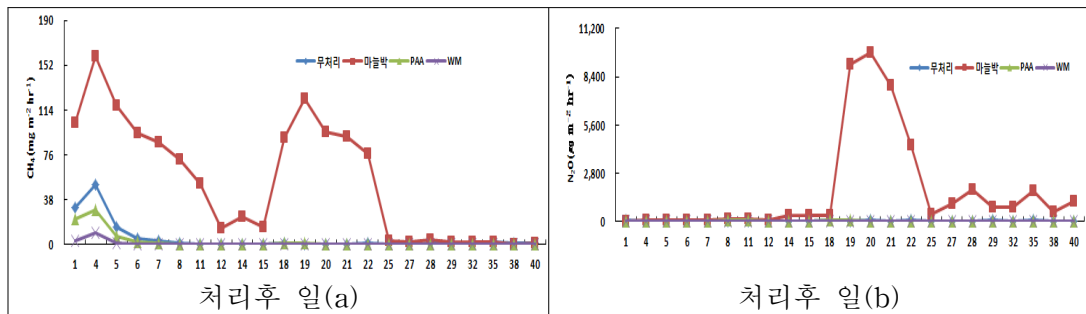


그림 4. 발효기간중 온실가스(CH₄, N₂O) 배출량 변화

CH₄의 일 평균 배출량은 무처리 127mg m⁻² d⁻¹에 비해 WM 처리에서 86% 감소되고 PAA 처리에서는 43% 감소되었으나, 마늘박 처리에서는 저감효과가 전혀 없었다. CH₄의 지구온난화잠재력인 GWP(Global warming potential)도 일 평균 CH₄ 배출량과 같은 경향이였다. 마늘박 처리에서 감소효과가 없었던 것은 그림 4에서 언급한 바와 같이 마늘박 첨가로 발효물의 부피가 커져 호기적 조건이 조성된 물리적 특성이라 생각된다(표 8). N₂O의 일 평균 배출량과 GWP도 메탄과 같은 경향으로 무처리에 비해 WM 처리에서는 58%, PAA 처리에서는 20% 각각 경감되었으나 마늘박 처리에서는 감소효과가 전혀 없었다(표 9).

표 8. 온실가스(CH₄) 배출량과 GWP

처리내용	CH ₄ 배출량		GWP	
	일 평균 ¹⁾ (mg m ⁻² d ⁻¹)	총 (g m ⁻² 40d ⁻¹)	일 평균 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	총 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² 40d ⁻¹)
1. 무처리	127	5.08	2.921	117
2. 마늘박	1,292	51.68	29.716	1,189
3. PAA	73	2.92	1.679	67
4. WM	18	0.72	0.414	17

¹⁾평균 : 23회 조사 평균값

표 9. 온실가스(N₂O) 배출량과 GWP

처리내용	N ₂ O 배출량		GWP	
	일 평균 ¹⁾ (µg m ⁻² d ⁻¹)	총 (g m ⁻² 40d ⁻¹)	일 평균 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	총 ¹⁾ (g CO ₂ m ⁻² 40d ⁻¹)
1. 무처리	1,135	0.045	0.336	13
2. 마늘박	43,598	1.744	12.905	516
3. PAA	912	0.036	0.270	11
4. WM	480	0.019	0.142	6

¹⁾평균 : 23회 조사 평균값

발효기간중 배출된 메탄과 아산화질소를 GWP로 각각 환산하여 합한 값은 표 10과 같다. 총 GWP는 무처리 3.257g CO₂ m⁻² d⁻¹에 비해 WM 처리에서 83% 감소되고 PAA 처리에서 40% 감소되었으나, 마늘박 처리에서는 경감효과가 없었다.

표 10. GWP(CH₄+N₂O)

처리내용	GWP(CH ₄) (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	GWP(N ₂ O) (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)	총 GWP(CH ₄ +N ₂ O) (g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)
1. 무처리	2.921	0.336	3.257
2. 마늘박	29.716	12.905	42.621
3. PAA	1.679	0.270	1.949
4. WM	0.414	0.142	0.556

평균 GWP는 무처리 3.854g CO₂ m⁻² d⁻¹에 비해 WM 처리는 2.160g CO₂ m⁻² d⁻¹로 44% 경감되어 저감효과가 양호하였으며, PAA 처리는 3.822g CO₂ m⁻² d⁻¹로 1% 경감되었으나 연도간의 감소효과 차이가 심했다. 그리고 마늘박의 경우는 표 9, 10에서와 같이 온실가스의 효과를 인정할 수 없었다(표 11). 따라서 <시험 2> 에서도 WM 미생물이 온실가스 저감효과에 가장 우수하였으나, 환경변화에 따라 그 효과가 다를 것으로 우려되어 계속 검토할 필요가 있다고 생각된다.

표 11. 연도별 온실가스 GWP 변화

처리내용	GWP(CH ₄ +N ₂ O, g CO ₂ m ⁻² d ⁻¹)		
	2011	2012	평균
1. 무처리	3.029	4.679 [↓]	3.854
2. 마늘박	4.759	42.621	23.690
3. PAA	5.695	1.949	3.822
4. WM	1.948	2.371 [↓]	2.160

[↓]2012년 2회 시험 평균값임

다. 시험 후 퇴비품질(2011~2012)

시험 후 발효물(생돈분+톱밥)의 OM/N 비와 수분을 조사한 결과는 표 12와 같다. 마늘박과 PAA 등 처리구의 OM/N 비는 2011년은 무처리 39에 비해 낮고, 2012년은 무처리 35에 비해 높았으나 비료 공정규격(농진청, 2013)에서 설정한 OM/N 비 45을 초과하지는 않았다. 수분함량은 2011년과 2012년 모두 무처리에 비해 낮았으며, 이도 역시 비료 공정규격(농진청, 2013)에서 설정한 수분함량 55%를 초과하지는 않았다.

표 12. 시험 후 퇴비의 품질변화

처리내용	2011 ¹⁾		2012 ²⁾	
	OM/N 비	수분(%)	OM/N 비	수분(%)
1. 무처리	39	47	35	46
2. 마늘박	36	44	38	45
3. PAA	35	46	39	44
4. WM	37	46	37	41
비료공정규격 (가축분퇴비)	45이하	55%이하	45이하	55%이하

¹⁾ 시험기간 : 30일, ²⁾ 시험기간 : 40일

4. 적 요

본 연구는 생돈분과 톱밥 혼합물(50:50, 부피비) 이용 퇴비 제조시 온실가스인 메탄(CH₄)과 아산화질소(N₂O)의 배출량을 평가코자, 미생물과 농자재 등을 처리하여 온실가스 발생량을 2011년부터 2012년까지 조사한 결과이다.

<시험 1> 미생물별 온실가스 저감효과 구명 시험

- 가. 발효상내 부숙온도는 처리 후 2일에서 가장 높았다가 그 후 감소하는 경향이였다.
- 나. 지구온난화잠재력(GWP)에 영향을 미치는 온실가스는 메탄이 아산화질소에 비해 높았다.
- 다. GWP 분석에 의한 미생물 종류별 온실가스 저감효과는 연차간의 변이를 고려할 때, WM 미생물이 가장 효과적이었다.
- 라. 시험 후 퇴비의 OM/N 비와 수분함량으로 비료공정규격(가축분퇴비)에 적합하였다.

<시험 2> 농자재별 온실가스 저감효과 구명 시험

- 가. 발효상내 부숙온도는 처리 후 1일에 가장 높았다가 그 후 감소하는 경향이였다.
- 나. 지구온난화지수(GWP)에 영향을 미치는 온실가스는 아산화질소에 비해 메탄이 높았다.
- 다. GWP 분석에 의한 미생물과 농자재별 온실가스 경감효과는 WM 미생물이 가장 우수하였다.
- 라. 시험 후 퇴비의 OM/N 비와 수분함량으로 비료공정규격(가축분퇴비)에 적합하였다.

5. 인용문헌

- Bernal, M. P., Navarro, A. F., Sanchez-Monedero, M. A., Roig, A. and Cegarra, J. 1998. Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 30:305-313
- 한국토양비료학회. 2012. 한국토양비료학회 추계 학술발표회 자료.

IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.

강향원, 박향미, 고지연, 이재생, 김민태, 강위급, 이동창, 문헌팔. 2001. 계분톱밥 퇴비화시 악취발생의 최소화를 위한 적정 공기주입율 구명. 한국환경농학회지 20(4) : 225-231

김태일, 한영근, 전병수, 유용희, 박주희, 권두중, 김형호, 김경남. 2001. 돈분 퇴비화의 단계별 물질수지 변화를 통한 퇴비 규격화 연구. 동물자원지. 43(6) : 994-1004

농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법.

농촌진흥청. 2013. 비료 공정규격 설정 및 지정.

Raymond P. Poincelot. 1975. The biochemistry and methodology of composting. The Connecticut Agricultural Experiment Station. p9

6. 연구결과 활용제목

- 기초자료 활용

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
						'11	'12	
온실가스 경감 부산물비료 제조 및 이용기술 개발	책임자	농업기술원 작물개발과	농업연구관	조광래	세부과제총괄	○	○	
	공동연구자	"	농업연구사	서재순	과제수행		○	
		"	"	"	최병열	과제수행		○
		"	"	"	이진홍	과제수행	○	○
		"	"	"	임갑준	과제수행	○	
		농업연구관	박인태	시험자문		○		