

(뒷면) (옆면)

(앞면)

<p>3 cm</p>	<p>11-1543000 -001714-01</p> <p>원통 수평형</p> <p>고수분 가축분뇨</p> <p>고속퇴비화</p> <p>및</p> <p>약취 2단 제거</p> <p>기술 개발</p> <p>최 종 보 고 서</p> <p>(견고딕 14p)</p> <p>2017 (견고딕13p)</p>	<p>4cm</p> <p>농생명산업기술개발 R&D Report</p>	<p>3 cm</p>	<p>발 간 등 록 번 호</p> <p>11-1543000-001714-01</p> <p>(견고딕31p) 5cm</p> <p>원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속퇴비화 및 약취 2단 제거 기술개발 최종보고서</p> <hr/> <p>(0.1cm)</p> <p>2017 . 3. .</p> <p>0.15cm (견고딕15p)</p> <p>(별색바탕 : C50, M20, Y59, K0)</p> <p>주관연구기관 / BK환경종합건설(주) 협동연구기관 / 경상대학교 산학협력단 협동연구기관 / 부산가톨릭대학교 산학협력단^{2cm}</p> <p>(견고딕 15.5p)</p> <p>(백색바탕)</p>
<p>5cm</p>	<p>농림축산식품부</p>	<p>(견 고 딕 25p)</p>	<p>3 cm</p>	<p>농 립 축 산 식 품 부</p> <p>(견고딕 20p)</p>

2. 제출문

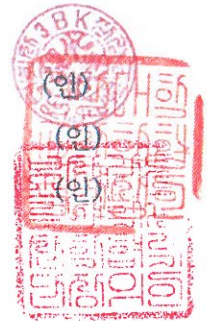
제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속 퇴비화 및 악취 2단 제거기술개발” (개발기간 : 2013. 12. ~ 2016. 12.)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017 . 3 . ..

주관연구기관명 : BK환경종합건설(주) (대표자)
협동연구기관명 : 경상대학교 산학협력단 (대표자)
협동연구기관명 : 부산가톨릭대학교 산학협력단 (대표자)



주관연구책임자 : 김 원 중
협동연구책임자 : 김 현 태
협동연구책임자 : 김 기 연

국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의
합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제고유번호	3130423	해 당 단 계 연 구 기 간	2015.12.16.~ 2016.12.15	단 계 구 분	(3단계)/ (3단계)
연구사업명	중 사업명	농생명산업기술개발사업			
	세부 사업명				
연구과제명	대 과제명	원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속 퇴비화 및 악취 2단 제거 기술개발			
	세부 과제명				
연구책임자	김원중	해당단계 참 여 연구원 수	총: 16명 내부: 5명 외부: 11명	해당단계 연 구 개 발 비	정부:200,000천원 민간:67,000천원 계:267,000천 원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총: 47명 내부: 14명 외부: 33명	총 연구개발비	정부:600,000천원 민간:201,000천원 계:801,000천원
연구기관명 및 소속부서명	비케이환경종합건설(주)			참여기업명(협동기관명) - 경상대학교 산학협력단 - 부산가톨릭대학교 산학협력단	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 10일 이내 발효 할 수 있는 원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속 발효기 개발 ○ 발효 공정 시 수분조절제로 사용되는 톱밥, 왕겨 대체재 개발 및 경제성 분석 ○ 퇴비화 공정에서 발생하는 악취 농도 암모니아 1ppm 배출 기준 이하로 저감할 수 있는 악취 2단 제어 기술개발 					

4. 국문 요약문

		코드번호	D-01			
연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> 10일 이내 발효 할 수 있는 원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속 발효기 개발 발효 공정 시 수분조절제로 사용되는 톱밥, 왕겨 대체재 개발 및 경제성 분석 퇴비화 공정에서 발생하는 악취 농도 암모니아 1ppm 배출 기준 이하로 저감할 수 있는 악취 2단 제어 기술개발 기존 가축분뇨 퇴비화 시스템에서 발생하는 공기오염물질의 발생 패턴 규명을 위한 현장 조사 투입 수분조절제 구성에 따른 가축분뇨 고속 퇴비화시 배출되는 악취물질 및 복합악취의 발생량 현장 평가 개발된 가축분뇨 퇴비화 악취 저감 장치에 대한 제어 효율 현장 평가 					
연구개발성과	<p><주관기관></p> <ul style="list-style-type: none"> 원통형 발효조 Air heating recovery system 이용한 10일 이내 고속발효기 개발 발효퇴비 재순환 시스템개발 악취 포집 시설 및 악취제어장치연계시스템개발 <p><제 1 협동기관></p> <ul style="list-style-type: none"> 발효 공정 시 수분조절제로 사용되는 톱밥, 왕겨 대체재 선정 완숙퇴비 일부를 수분조절제로 사용하여 1차 발효공정으로 Recycle 함으로써 퇴비 생산비 30% 절감 톱밥, 왕겨보다 저렴한 경제적 대체 수분 조절제 개발 및 경제성 분석 대체 수분조절제를 이용한 경종농가 적용성 평가 <p><제 2 협동기관></p> <ul style="list-style-type: none"> 기존 가축분뇨 퇴비화 시스템에서 발생하는 공기오염물질의 발생 패턴 규명을 위한 현장 조사 					
			스크류 유형	로타리 유형	건조 유형	
	가스상 오염물질	암모니아(NH ₃)	108ppm	84ppm	56ppm	
		황화수소(H ₂ S)	32ppb	44ppb	96ppb	
		악취 농도	129	134	125	
	입자상 오염물질	총부유분진(TSP)	676 $\mu\text{g m}^{-3}$	574 $\mu\text{g m}^{-3}$	137 $\mu\text{g m}^{-3}$	
		미세분진(PM ₁₀)	260 $\mu\text{g m}^{-3}$	202 $\mu\text{g m}^{-3}$	96 $\mu\text{g m}^{-3}$	
		초미세분진(PM _{2.5})	129 $\mu\text{g m}^{-3}$	134 $\mu\text{g m}^{-3}$	65 $\mu\text{g m}^{-3}$	
	생물학상 오염물질	총부유세균	7,813cfu m ⁻³	3,483cfu m ⁻³	6,086cfu m ⁻³	
		총부유진균	1,400cfu m ⁻³	744cfu m ⁻³	614cfu m ⁻³	
	<ul style="list-style-type: none"> 투입 수분조절제 구성에 따른 가축분뇨 고속 퇴비화시 배출되는 악취물질 및 복합악취의 발생량 현장 평가 					
			투입구	발효조	배출구	부지경계선
	실험 1 (고액분리고형분+폐사축+톱밥)	암모니아(ppm)	3.53	30.20	8.27	불검출
		황화수소(ppm)	0.18	2.08	0.18	0.02
		복합악취(희석배수)	144	1,000	144	30
	실험 2 (고액분리고형분+톱밥+우드칩)	암모니아(ppm)	2.53	14.40	2.87	0.10
		황화수소(ppm)	0.16	1.84	0.18	0.01
		복합악취(희석배수)	65	669	65	38
	실험 3 (고액분리고형분+톱밥+폐사축+우드칩)	암모니아(ppm)	1.40	7.47	1.40	불검출
		황화수소(ppm)	0.15	1.12	0.14	불검출
		복합악취(희석배수)	45	448	45	10
	실험 4 (고액분리고형분+우드펠렛+폐사축+리사이클링 퇴비)	암모니아(ppm)	1.10	6.23	1.20	불검출
		황화수소(ppm)	0.12	1.06	0.14	0.02
		복합악취(희석배수)	30	300	30	10

연구개발성과	<p><제 2 협동기관> ◦ 개발된 가축분뇨 퇴비화 악취 저감 장치에 대한 제어 효율 현장 평가</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2"></th> <th colspan="4" style="text-align: center;">초기 농도 대비 저감 효율(%)</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">오존 처리</th> <th style="text-align: center;">살수 방식</th> <th style="text-align: center;">우드칩 필터</th> <th style="text-align: center;">전체 공정</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N계열 악취물질</td> <td style="text-align: center;">3.78</td> <td style="text-align: center;">9.21</td> <td style="text-align: center;">20.45</td> <td style="text-align: center;">11.15</td> </tr> <tr> <td>S계열 악취물질</td> <td style="text-align: center;">2.31</td> <td style="text-align: center;">2.46</td> <td style="text-align: center;">20.45</td> <td style="text-align: center;">11.25</td> </tr> <tr> <td>VOC계열 악취물질</td> <td style="text-align: center;">2.91</td> <td style="text-align: center;">6.0</td> <td style="text-align: center;">7.45</td> <td style="text-align: center;">5.46</td> </tr> <tr> <td>악취농도(직독식 측정)</td> <td style="text-align: center;">0.91</td> <td style="text-align: center;">4.17</td> <td style="text-align: center;">6.23</td> <td style="text-align: center;">3.77</td> </tr> <tr> <td>복합악취</td> <td style="text-align: center;">30.67</td> <td style="text-align: center;">30.67</td> <td style="text-align: center;">51.93</td> <td style="text-align: center;">37.76</td> </tr> </tbody> </table>						초기 농도 대비 저감 효율(%)				오존 처리	살수 방식	우드칩 필터	전체 공정	N계열 악취물질	3.78	9.21	20.45	11.15	S계열 악취물질	2.31	2.46	20.45	11.25	VOC계열 악취물질	2.91	6.0	7.45	5.46	악취농도(직독식 측정)	0.91	4.17	6.23	3.77	복합악취	30.67	30.67	51.93	37.76
	초기 농도 대비 저감 효율(%)																																						
	오존 처리	살수 방식	우드칩 필터	전체 공정																																			
N계열 악취물질	3.78	9.21	20.45	11.15																																			
S계열 악취물질	2.31	2.46	20.45	11.25																																			
VOC계열 악취물질	2.91	6.0	7.45	5.46																																			
악취농도(직독식 측정)	0.91	4.17	6.23	3.77																																			
복합악취	30.67	30.67	51.93	37.76																																			
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 가축분뇨 공동자원화, 공공처리시설, 산업체 전반에 내수 시장 조기 활성화 촉진 ◦ 국제 컨소시엄을 통해 국외 시장을 발취하여 사업 역량 확보 ◦ 본 연구의 지속적 추진을 통한 본 공법의 후속모델 개발 토대 마련 ◦ 본 연구의 브랜드화를 위한 각종 인증과 특허의 등록 달성 ◦ 해당 기업의 자체 사업에 접목시켜 실질적인 운영효과를 공개하여 규격화 및 표준화 role model의 기반 조성 <li style="padding-left: 20px;">표준화 role model의 기반 조성 ◦ 본 시스템 적용으로 시설 부지경계선의 암모니아 농도를 1ppm 이하로 유지할 수 있는 토대 마련 																																						
중심어 (5개 이내)	밀폐식 퇴비화시설	고속발효시설	악취제거시설	바이오필터	호기성발효시설																																		

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

		코드번호	D-02																																									
Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> Development of cylindrical horizontal typed fermenter available to compost high moisture livestock manure within 10days. Suggestion of materials replacing sawdust and chaff used as a bulking agent during fermentation process and their benefit-cost analysis. Development of two-stage device for reducing ammonia emitted from the fermenter system to 1ppm which is an emission standard in Korea. Field survey for quantifying air pollutants emitted from current composting plants using livestock manure. On-site evaluation of odor unit and odorous compounds emitted from the high-speed composting system using livestock manure according to composition of bulking agents. Efficiency evaluation of odor reduction equipment devised from this study. 																																											
Results	<p><Supervision Institution></p> <ul style="list-style-type: none"> Development of hight-speed fermenter within 10 days using cylindrical fermenter, “Air heating recovery system” . Development of recirculation system utilizing fermented compost. Development of odor control system linked to odor collection facility. <p><1st Cooperation Institution></p> <ul style="list-style-type: none"> Selection of substitute material for sawdust and chaff used as a bulking agent in the fermentation process. Reduction of compost production cost by 30% through recycling mature compost as a bulking agent into the 1st fermentation process. Suggestion of bulking agent cheaper than sawdust and chaff in terms of economic viewpoint. Evaluation of applicability of surrogate bulking agent to agriculture farmhouse. <p><2nd Cooperation Institution></p> <ul style="list-style-type: none"> Field survey for quantifying air pollutants emitted from current composting plants using livestock manure. <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th>Screw type</th> <th>Rotary type</th> <th>Dry type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Gaseous pollutant</td> <td>Ammonia(NH₃)</td> <td>108ppm</td> <td>84ppm</td> <td>56ppm</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen sulfide(H₂S)</td> <td>32ppb</td> <td>44ppb</td> <td>96ppb</td> </tr> <tr> <td>Odor concentration</td> <td>129</td> <td>134</td> <td>125</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Particulate pollutant</td> <td>Total suspended particle (TSP)</td> <td>676μg m⁻³</td> <td>574μg m⁻³</td> <td>137μg m⁻³</td> </tr> <tr> <td>Fine particle(PM₁₀)</td> <td>260μg m⁻³</td> <td>202μg m⁻³</td> <td>96μg m⁻³</td> </tr> <tr> <td>Ultra-fine particle(PM_{2.5})</td> <td>129μg m⁻³</td> <td>134μg m⁻³</td> <td>65μg m⁻³</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Biological pollutant</td> <td>Total airborne bacteria</td> <td>7,813cfu m⁻³</td> <td>3,483cfu m⁻³</td> <td>6,086cfu m⁻³</td> </tr> <tr> <td>Total airborne fungi</td> <td>1,400cfu m⁻³</td> <td>744cfu m⁻³</td> <td>614cfu m⁻³</td> </tr> </tbody> </table>						Screw type	Rotary type	Dry type	Gaseous pollutant	Ammonia(NH ₃)	108ppm	84ppm	56ppm	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	32ppb	44ppb	96ppb	Odor concentration	129	134	125	Particulate pollutant	Total suspended particle (TSP)	676μg m ⁻³	574μg m ⁻³	137μg m ⁻³	Fine particle(PM ₁₀)	260μg m ⁻³	202μg m ⁻³	96μg m ⁻³	Ultra-fine particle(PM _{2.5})	129μg m ⁻³	134μg m ⁻³	65μg m ⁻³	Biological pollutant	Total airborne bacteria	7,813cfu m ⁻³	3,483cfu m ⁻³	6,086cfu m ⁻³	Total airborne fungi	1,400cfu m ⁻³	744cfu m ⁻³	614cfu m ⁻³
		Screw type	Rotary type	Dry type																																								
Gaseous pollutant	Ammonia(NH ₃)	108ppm	84ppm	56ppm																																								
	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	32ppb	44ppb	96ppb																																								
	Odor concentration	129	134	125																																								
Particulate pollutant	Total suspended particle (TSP)	676μg m ⁻³	574μg m ⁻³	137μg m ⁻³																																								
	Fine particle(PM ₁₀)	260μg m ⁻³	202μg m ⁻³	96μg m ⁻³																																								
	Ultra-fine particle(PM _{2.5})	129μg m ⁻³	134μg m ⁻³	65μg m ⁻³																																								
Biological pollutant	Total airborne bacteria	7,813cfu m ⁻³	3,483cfu m ⁻³	6,086cfu m ⁻³																																								
	Total airborne fungi	1,400cfu m ⁻³	744cfu m ⁻³	614cfu m ⁻³																																								

<p>Results</p>	<p><2nd Cooperation Institution> ◦On-site evaluation of odor unit and odorous compounds emitted from the high-speed composting system using livestock manure according to composition of bulking agents.</p>					
			Input	Fermentation	Outlet	Boundary line
	Exp. 1) (pig manure +sawdust+pig carcass)	Ammonia(NH ₃)	3.53	30.20	8.27	n.d.
	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	0.18	2.08	0.18	0.02	
	Odor unit	144	1,000	144	30	
Exp. 2) (pig manure +sawdust+wood chip)	Ammonia(NH ₃)	2.53	14.40	2.87	0.10	
	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	0.16	1.84	0.18	0.01	
	Odor unit	65	669	65	38	
Exp. 3) (pig manure+sawdust +pig carcass+woodchip)	Ammonia(NH ₃)	1.40	7.47	1.40	n.d.	
	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	0.15	1.12	0.14	n.d.	
	Odor unit	45	448	45	10	
Exp. 4) (pig manure+sawdust +pig carcass+ wood chip +compost recycled)	Ammonia(NH ₃)	1.10	6.23	1.20	n.d.	
	Hydrogen sulfide(H ₂ S)	0.12	1.06	0.14	0.02	
	Odor unit	30	300	30	10	
	◦Efficiency evaluation of odor reduction equipment devised from this study.					
		Reduction rate compared to initial concentration (%)				
	Nitrogenous odor compounds	Ozone treatment	Scrubber	Woodchip filtration	Total process	
	Sulfurous odor compounds	3.78	9.21	20.45	11.15	
	odor compounds - VOCs	2.31	2.46	20.45	11.25	
	Odor concentration (Direct recorder)	2.91	6.0	7.45	5.46	
	Odor unit	0.91	4.17	6.23	3.77	
		30.67	30.67	51.93	37.76	
<p>Expected Contribution</p>	◦Promotion of the domestic industry regarding livestock manure treatment ◦Guarantee of business capability by extracting overseas market through international consortium. ◦Establishment of foundation for developing the follow-up model by conducting this study continuously. ◦Registration of various certification and patent registration for branding this study. ◦Suggestion of the standard role model by incorporating the business into the enterprise and disclosing operational effects ◦Development of fundamental technique for maintaining 1ppm of ammonia below around the site of composting plant using livestock manure.					
<p>Keywords</p>	Hermetic composting facilities	High-speed fermentation	Bio-Scrubber	Bio-Filter	Aerobic composting	

6. 영문목차

< Content >

1. Abstract of Research and Development	1
2. Current Status of Domestic and Foreign Technology Development	3
3. Results and Discussions	14
4. Achievement and Contribution about related field	211
5. Plan to use Research Results	215
6. Collected Foreign Science and Technology Information	216
7. Security rating of R&D achievement	218
8. Registered Research facility and equipment in National Science and Technology Information System	219
9. Implementation of safety measures in laboratory according to performance of R&D tasks	220
10. Typical Research Results of R&D projects	221
11. Others	222
12. Reference	223

<Inclosure> Self-assessment statement

7. 본문목차

< 목 차 >

1. 연구개발과제의개요	1
2. 국내외 기술개발 현황	3
3. 연구수행 내용 및 결과	14
4. 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	211
5. 연구결과의 활용계획 등	215
6. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	216
7. 연구개발성과의 보안등급	218
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비현황	219
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적	220
10. 연구개발과제의 대표적 연구실적	221
11. 기타사항	222
12. 참고문헌	223

<별첨> 자체평가의견서

제 1 장. 연구개발과제의 개요

코드번호

D-03

1절. 연구개발 목적

- 10일 이내 발효 할수 있는 원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속 발효기 개발
- 발효 공정 시 수분조절제로 사용되는 톱밥, 왕겨 대체재 개발 및 경제성 분석
- 퇴비화 공정에서 발생하는 악취 농도 암모니아 1ppm 배출 기준 이하로 저감할 수 있는 악취 2단 제어 기술개발

2절. 연구개발의 필요성

1. 연구의 배경

- 가축분뇨의 고속발효를 통해 퇴비의 조기 안정화와 생산성을 증대가 요구됨.
- 기존 가축분뇨 퇴비화 시설인 경우 막대한 시설비로 인하여 개인농가의 설비비 부담이 가중되고 있으며, 이로 인한 주변환경의 악취발생 등으로 민원이 다발적으로 발생하여 축산산업의 축소가 가중 됨, 산성 저하에 의한 국제경쟁의 대응력이 날로 심각해지고 있으며, 이를 대처할 수 있는 저 비용 고효율 가축분뇨 퇴비화 사업이 시급함
- 악취 가스의 처리효율 증대로 주변환경을 개선하고, 해양투기 금지에 의해 자연 순환농업 프로젝트를 수행할 수 있는 고효율 고속 발효기 개발이 필요.

2. 연구의 필요성

- 계절별 유동적 가축분뇨 발생으로 이를 대량처리 시설에서 발효시 발생하는 악취의 영향으로 주변 인근 주민의 생활불편이 가중되어 제한적 퇴비공정 가동으로 처리량 감소 및 생산성이 저하됨.
- 기존시설인 경우 강제식 공기 공급과 기계식 강제 교반 발효방식으로 혐작물 혼합에 의한 발효기 동력비 증가와 발효기 균열로 가동비 및 유지비 상승에 따른 생산비 상승으로 운영의 어려움을 초래하고 있음.
- 처리과정에서 mist & dust가 다량 발생되어 이를 처리 제어할 수 있는 후처리시설의 개발이 시급함.
- 국제적인 축산농업의 경쟁력확보를 위해 개인 축산 농가별 협소한 공간에도 설치할 수 있는 가축분뇨 고속발효기가 필요하며, 이는 가축분뇨 발생원에서부터 적정처리 함으로써 공공처리시설로 이동되는 물류비용을 절감하여 축산 및 경종농가의 획기적인 생산성 형상이 시급한 상황임.
- 톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등)의 특성을 이용한 수분조절제를 개발하고, 완숙 퇴비 일부를 수분조절제로 이용하여 1차 발효 공정의 RECYCLE 함으로써 퇴비 생산비 30%이상 절감이 필요함.

- 1차 처리 : BIO-SCRUBBER, 2차 처리 : BIO-FILTER으로 악취저감 효율을 증대 시키는 공정으로써 1차 BIO-SCRUBBER에서 숙성액비를 이용하여 수용성 악취를 세정하고 세정 후 배출되는 비수용성 악취를 2차 BIO-FILTER에서 완전 분해하는 방식을 채택하고, 별도의 액비숙성화조를 설계하여 생성된 숙성액비를 탈취 세정액으로 사용할 수 있도록 함.
- 악취세정 후 생성된 폐액을 액비숙성화조에서 재생될 수 있도록 하여 폐액 발생을 근절 하여 세정액 투자비용과 폐액처리 비용을 절감할 수 있는 시설의 개발이 필요함.

3절. 연구개발 범위

1. 원료 퇴비를 10일 이내 발효할 수 있는 원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속 발효기 개발

- 투입시설 : 호퍼 자동 투입식 개발
- 발효시설 : 원통 수평형 발효기 BODY 시스템 개발
- 순환시설 : 부숙퇴비 RECYCLE 시스템 개발
- 포집시설 : 악취 및 포집열 순환 공급 시스템 개발
- 실증시험 : 축종별 사료 성상 및 가축분 함수량분석
- 경제성 분석 : 산업전반의 적용성 및 부가가치 창출효과 분석

2. 발효 공정 시 수분조절제로 사용되는 톱밥, 왕겨 대체제 개발 및 경제성 분석

- 기존 수분조절제 경제성 분석
- 대체 수분 조절제별 선정을 위한 발효기간, 부숙도, 적용성 평가
- 대체 수분조절제의 경제성 분석 및 퇴비화 시스템 구축
- 대체 수분조절제의 경종농가 적용성 평가

3. 퇴비화 공정에서 발생하는 악취(암모니아)를 환경기준 이하로 저감시킬 수 있는 기술 개발 및 퇴비화가 완료된 가축분뇨 유기질 비료의 안전성 평가

- 세정액을 숙성액비로 이용한 탈취시설 개발
- 발생악취의 제거 처리공정 개발 및 실증시험
 - 1차(SCRUBBER) : 숙성액비를 이용한 악취제거와 발생하는 폐액 재활용
 - 2차(BIO-FILTER) : 1차 처리 후 발생된 수증기 처리 및 미생물 처리 시스템개발
- 가축분뇨 퇴비화 제품의 병원성 미생물, 항생제, 환경 호르몬 등의 안전성 평가

제 2 장. 국내외 기술개발 현황

코드번호

D-04

1절. 국내 기술 수준 및 시장 현황

1. 기술현황

- 2010년말 기준, 국내 설치되어 운영하고 있는 가축분뇨 공동자원화시설은 퇴비화시설 26개소 2,720톤/일, 액비화시설 4개소 429톤/일이며, 공사 중 또는 인허가 중인 시설이 총 25개소인 것으로 조사 됨.

<표-1> 공동 자원화(퇴.액비화) 시설 설치 및 운영현황(2010년말 기준)

구 분	운영중 시설		공사중 또는 인허가중		비고
	개소수	처리용량(톤/일)	개소수	처리용량(톤/일)	
퇴비화시설	26	2,720	24	2,310	총 5,020톤/일
액비화시설	4	429	1	90	총 519톤/일

- 기존 가축분뇨의 퇴비화 시스템은 크게 발효, 건조, 안정화기술이 있으며, 특징은 <표-2>와 같음. 기존 시스템의 경우 악취 발생에 대해 취약하며, 기계식 발효기술의 경우 퇴비화 되는데 최소 15일 정도 소요되는 것으로 알려져 있음. 또한 적절히 발효가 되지 않으면 악취 발생의 우려가 있어 충분한 발효과정이 필요.
- 퇴비화방법 중 톱밥발효법이 주를 이루고 있으며, 수분조절제로 이용되는 톱밥의 구매 및 구입비용 등의 문제를 가지고 있음.
- 각종 퇴비화 방법에 대한 기술개선 또는 신규 처리시스템의 개발의 주안점은 소요에너지 최소화, 수분 및 비중의 제어를 위한 첨가재료의 최소화, 용량 증대 및 퇴비화 일수 감소, 악취발생 감소 뿐 아니라 운영관리의 용이성 등을 들 수 있음.
- 가축분뇨 자원화 시설의 운영의 가장 어려운 점은 악취처리 방식 및 퇴비사의 개방형 설계로 인한 악취포집 어려움과 구조물의 악취가스 노출에 의한 내구성 저하 문제 발생.
- 축산 및 퇴비화 시설에서 발생하는 악취 처리 기술은 바이오필터, 오존수 살포 및 공기정화시스템 등을 적용한 바 있음. 농촌진흥청(2005)에서는 바이오필터 여재에 따른 악취 발생량 제거에 대한 연구를 수행하였고, 톱밥, 우드칩, 왕겨, 볏짚 등을 사용하였을 때 60~80% 내외의 제거율을 나타낸 사례가 있음.
- 한국태양에너지학회의 오존 정화시스템을 이용한 축사 내 공기정화 효과에 관한 논문(2010)에서는 암모니아 및 황화수소의 제거율이 매우 높은 것으로 보고된 바 있음.
- 퇴비화 처리시설의 악취 문제는 잦은 민원이 발생되므로 이를 효과적으로 처리할 수 있는 기술개발이 필요한 실정임.

<표-2> 기존 가축분뇨 퇴비화 기술의 장.단점

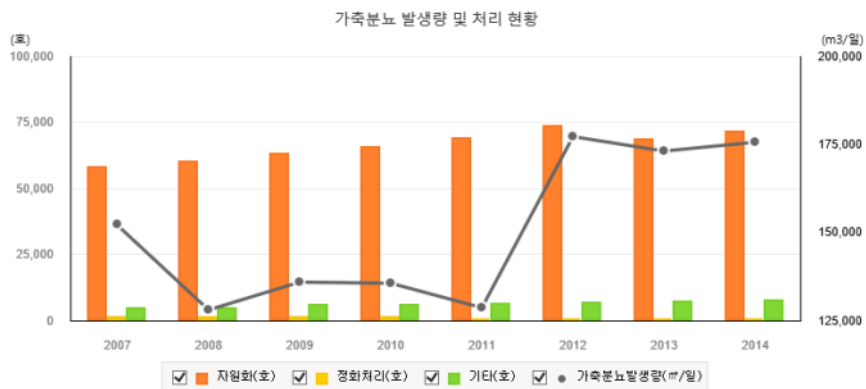
구 분		장 점	단 점
발효	기계식	<ul style="list-style-type: none"> 단기간 처리(15-30일) 발효온도 80℃ 상승 : 악취, 수분제거, 병원성 이물질 및 잡초 종자 사멸 완숙된 처리물 : 화학적으로 안정된 물질로 작물 피해 경감 및 양분공급 	<ul style="list-style-type: none"> 악취 발생으로 민원 발생 고가 설치비용으로 대규모 농가 위주로 시설보급, 중소규모 농가를 위한 시설의 개발보급 미흡 부식으로 고장 수리가 잦음
	수동식	<ul style="list-style-type: none"> 고장이 없고 설치비용 저렴 축분 퇴적량 임의조절 가능 계절의 구애가 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 직접 피트에 들어가 작업함으로 가스, 악취 등 작업환경 불량 넓은 면적 소요 우천시 퇴적된 분의 유실 노지에 노출되어 악취 확산
건조	화력 건조	<ul style="list-style-type: none"> 짧은 시간에 충분한 수분과 악취 제거 가능(75~80분/t당) 소요면적이 적음 토목건축비용 감소 및 설치비가 비교적 저렴(25~50% 수준) 계분건조에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> 작물재배 농가의 수요량 저조 악취 확산방지 장치(또는 미부착) 효율이 낮아 가동 시에도 민원발생 고가 연료비 소요 발효가 충분치 않아 사용 악취 발생
	일광 건조	<ul style="list-style-type: none"> 수분함량과 분량이 적은 소규모 양계농가에서 별도의 발효시설 없이 쉽게 이용가능 	<ul style="list-style-type: none"> 노지건조 방법은 우천 시 긴 건조기간 소요 악취확산으로 민원발생
안정화		<ul style="list-style-type: none"> 대규모 처리시설 및 공동처리장 시설로서 적합 처리시간이 매우 짧음 분뇨 수송 시 적재기와 진공탱크를 이용함으로 외부노출이 되지 않음 처리시설이 밀폐화 되어 악취확산 등 외부환경오염 발생이 적음 농가의 분처리 부담이 비교적 적음 	<ul style="list-style-type: none"> 처리물에 강한 악취 발생 고온건조기의 집진탈취장치(살수)에서 발생하는 폐수처리 비용 부담 생석회의 온도문제 제기 연용 시 석회사용량 증가

<표-3> 기존 퇴비화 공정의 악취저감기술 특징 및 장.단점

처리방법		성능	특징	문제점
연소법	직 접 연소법	♦ 적절한 조건에서 고성능	♦ 악취성분을 CO ₂ 와 H ₂ O로까지 분해	♦ 운전관리에 소홀하면 NO _x 를 발생, 유지비 고가
	촉 매 연소법	♦ 촉매피독을 일으키지 않는 GAS에 고성능	♦ 촉매를 이용하여 악취성분을 분해	♦ 촉매가 고가이며 촉매 성능이 시간의 경과에 따라 성능 저하
흡착법	활성탄법	♦ 용제 등의 흡착용량이 큰 성분에 대해 고성능	♦ 가장 일반적이고 보편적	♦ 고농도의 악취제거에 부적합
미생물법	Biofilter	♦ 미생물 환경설정이 적절하면 고성능	♦ 2차 오염물질 없음	♦ 설치면적이 크고, 보온이 필요
세정법	수세법	♦ 수용성이 큰 암모니아 성분에 대하여 고성능	♦ 설비가 간단하고 운 전비용 저렴	♦ 적용범위가 좁음
	약 액 세정법	♦ 약액과 반응성이 풍부한 성분에 대하여 고성능	♦ 수세법에 비하여 적용범위가 넓고 고성능	♦ 복합취기의 처리가 곤란하며 약액에 의한 부식방지 대책 필요
화학 산화 분해법	오 존 산화법	♦ 기타 방법과 병용함으로써 고성능	♦ 운전 관리비가 저렴하고 대/소 용량의 GAS제거에 고성능	♦ 오존 단독으로는 적용 범위가 적음
탈취제 사용법	겔 형 탈취제	♦ 식물성 오일을 주성분으로 제조한 젤리상의 겔형탈취제로 악취물질과 반응하여 고성능	♦ 설비가 간단하고 시 설비 저렴 ♦ 화학적으로 분해 중화시키는 탈취제	♦ 탈취제를 일정기간 마다(약2개월) 보충해야 함

2. 시장현황

- 2014년 기준, 국내 가축분뇨 발생량은 177천m³/일로 전년(173천m³/일) 대비 증가하였음. 이는 돼지, 가금 축종의 사육두수 증가가 원인으로 조사되었음. 신고, 허가 규모 이상 농가에서의 '14년도 분뇨처리방법별 현황은 자원화(퇴비.액비)처리율 90.7%, 정화처리율 1.0%, 위탁처리 등의 처리율 9.7% 임.



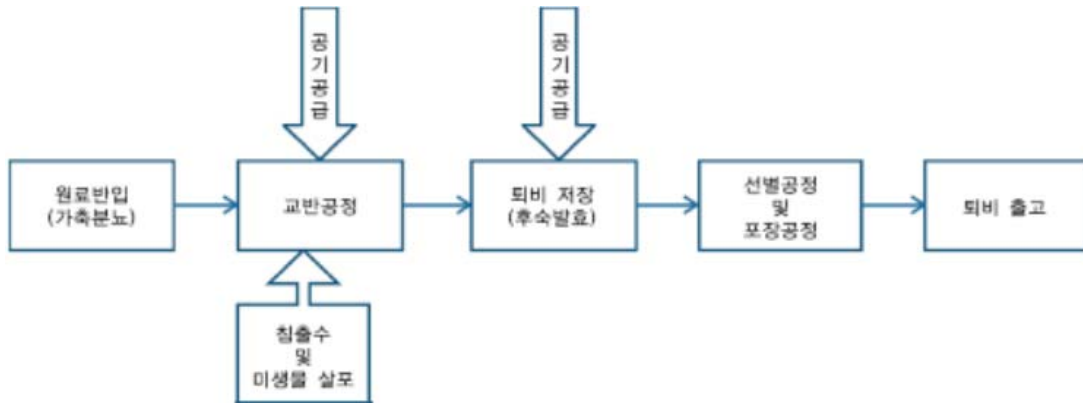
<그림-1> 가축분뇨 발생량 및 처리현황

- 2017년까지 자원화 시설 및 에너지화 시설 등 확충을 통해 자원화율 91%, 기존 정화처리 및 자가 처리 부분에서 자원화율 17% 달성 계획(농림부 고시)
- 2017년까지 공동자원화 계획은 총150개소를 설치하여 연간 약 450만톤 가축분뇨를 비료로 사용할 수 있도록 처리기반 구축을 목표로함. (농림부 고시)
- 양돈 농가 및 가축분뇨 자원화 시설의 운영의 가장 어려운 점은 악취처리 방식 및 퇴비사의 개방형설계로 인한 악취포집 어려움과 구조물의 악취가스 노출에 의한 내구성 저하 문제가 있으며, 주변지역 민원과 제품의 경제성 저하로 인해 운영비 부담이 가중되고 있어서 완제품의 '질적'저하가 연속되고 있음.
- 농림축산식품부 '중장기 가축분뇨 자원화 대책' 일환으로 2017 년까지 공동자원화 시설인 경우 150개소 구축하여 연간 450만톤을 비료화 사업을 추진할 계획이며, 에너지화 시설인 경우 21개소 등을 구축하여 연간 44만톤을 처리함으로써 84백만kw 전기를 생산할 계획임.

3. 경쟁기관현황

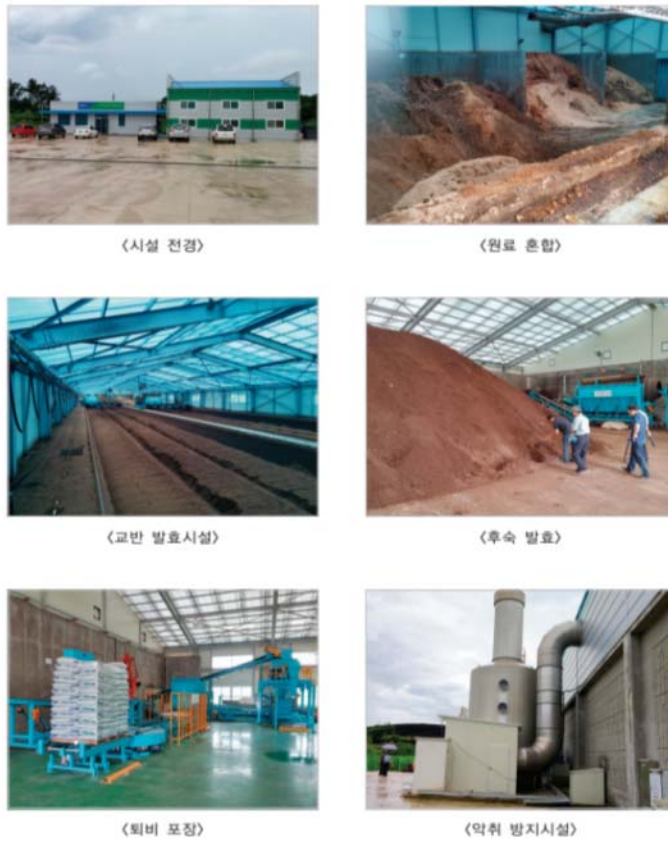
가. (주)강남시스템

- 시설명 : 강남발효교반 퇴비화시스템
- 시설개요 : 가축분뇨를 수분조절제와 혼합하여 호기성발효, 65%이하로 적정 함수율 조절



<그림-2> (주)강남시스템 시설 흐름도

- 처리방식 : 에스컬레이터식 교반발효 + 퇴적식 발효, 건조 시스템
- 시설특징 : 시설의 악취포집이 원활하지 않아 출입문 개폐시 악취의 외부반출 발생, 에스컬레이터 교반기의 특성상 퇴적 교반 깊이에 따른 기계적 부하 저감을 위한 안전장치 필요, 공기공급시설의 지속적인 점검과 관리 필요



<그림-3> 강남발효교반 퇴비화시스템

나. (주)해창

- 시설명 : 교반발효 해창시스템
- 시설개요 : 가축분뇨를 수분조절제와 혼합하여 적정 함수율로 조절 후 1차 및 2차 발효를 유도하여 후숙시키는 시스템. 발효조 하부의 침출수를 집수하여 수분감지센서에 의한 침출수를 재살포하여 처리하는 시스템



<그림-4> (주)해창 시설 흐름도

- 시설특징 : 온도감지센서를 통한 발효조 pH 및 온도 감지로 발효상태 확인, 공기공급브로워 전단에 히터를 설치하여 동절기에 퇴비단 유입 원료 온도 조절, 개방형으로 시설면적이 다소 넓음. 악취방지시설은 흡수 세정탑을 설치하여 운영하였으나 악취가 지속적으로 발생하여 추가 장치 설치가 필요, 브로워 설치에 따른 소음발생 보완 필요



<시설 전경>



<원료 혼합>



<교반 발효시설>



<매들형 교반기>



<퇴비 포장기>

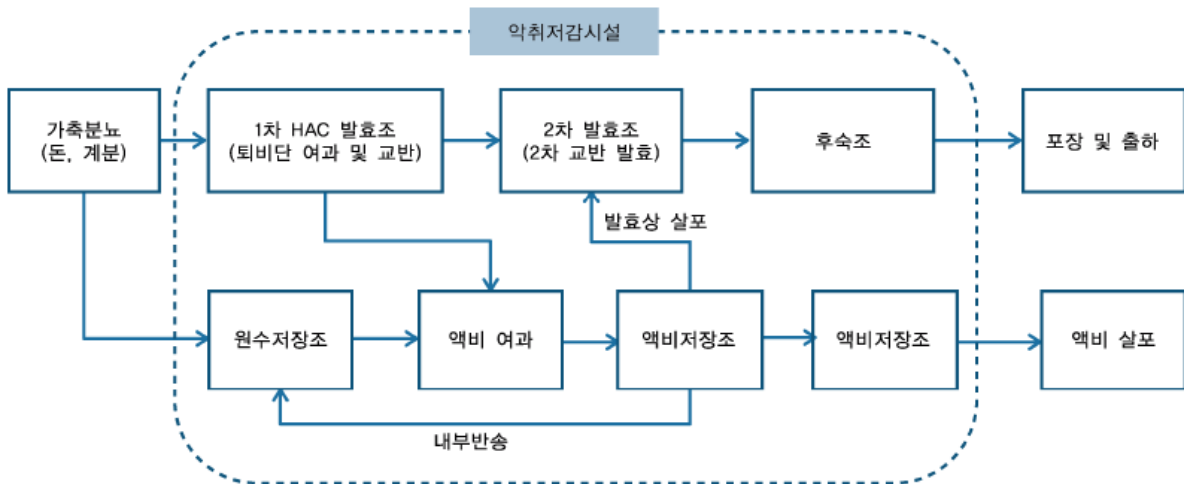


<악취 방지시설>

<그림-5> 교반발효 해창 시스템

다. (주)지성이엔지

- 시설명 : HAC공법을 이용한 가축분뇨 자원화 시스템
- 시설개요 : 1, 2차 발효공정을 통한 퇴비화 공정, 교반과정 및 가축분뇨에서 발생된 악취를 포집하여 터널식 약액세정 공정으로 탈취하는 시스템



<그림-6> (주)지성이엔지 시설 흐름도

- 시설특징 : 배관, 산기관 등 부식되기 쉬운 설비는 스테인리스 재질을 사용하고 교반설비는 용융아연도금 처리, 교반기는 스크류형을 사용하고 있으며 이는 에스컬레이터형, 로타리형보다 퇴비의 전진 효율성이 떨어짐



<시설 전경>



<원료 혼합>



<교반 발효시설>



<퇴비 교반>



<퇴비 포장>



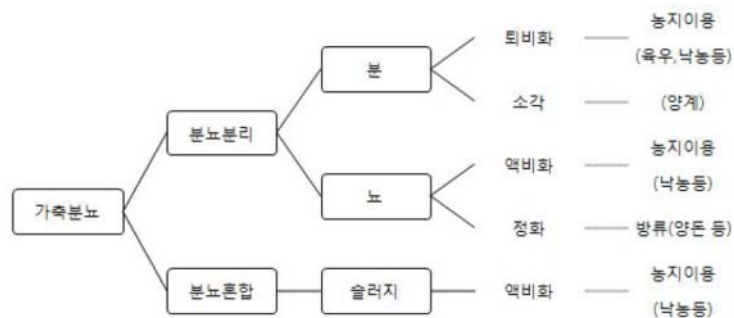
<액비화 시설>

<그림-7> HAC공법을 이용한 가축분뇨 자원화 시스템

2절. 국외 기술 수준 및 시장 현황

1. 기술현황

- 일본의 가축분뇨 처리 기본 개념은 자원의 유효활용 및 환경보전에 있으며, 퇴비화 등의 처리에 의한 농지 및 초지에 환원하는 것을 중시하고 있음.



<그림-8> 일본의 가축분뇨 처리체계

- 일본의 가축분뇨 발생량은 우리나라의 약 1.8배에 이르며, 가축분뇨 전체 발생량 중 94%는 퇴비화 처리를 하고 있고 감량화는 약 5%, 직접최종처분은 약 1%에 이릅니다.
- 일본 가고시마현 미나미사쓰마시 농협 관내의 퇴비 센터는 카세다, 카와베, 마쿠라자키으로 3곳이 운영 중에 있으며, 연간 약 1만 7,500여 톤에 달하는 가축분뇨를 수집하여 8,850여 톤 내외의 퇴비를 생산하고 있음.
- 일본 도치키현 모테기마치의 유기물자원화센터에서는 지역 내에서 발생하는 우분, 낙엽, 왕겨 등을 이용하여 퇴비를 생산하고 액상분뇨의 경우는 장기간 폭기하여 목초지, 옥수수 재배지에 무료로 살포하고 있음.



(a) 퇴비(벌크, 포장)

(b) 액비 및 살포차량

<그림-9> 모테기마치 유기물자원화센터 가축분뇨 자원화 사례

- 일본의 경우, KAKEI GAKUEN, K2LIFE LAB CO LTD사 등에서 돈사 악취 제거 시스템 및 스마트 축산관련 기술 개발이 가장 활발한 것으로 조사됨.
- 유럽연합(EU)은 가축분뇨를 자연자원으로 정의하여 토양 환원을 통한 환경보전을 목표로 하고 있으며, EU 위원회는 가축분뇨의 살포시기를 제한하고 가축분뇨 살포량에 대해서는 기간과 연계된 상한치를 정해놓고 있음.
- 독일 운데 마을은 가축분뇨, 우드칩 등의 바이오매스 자원을 활용하여 전기와 열을 생산하고 있으며, 바이오가스 생산과정 중에 발생한 부산물의 경우에는 유기질 비료로 만들어 농가에 무상으로 공급하고 있음.
- 벨기에 플라망 지역은 가축분뇨의 과다 발생문제를 해결하기 위하여 VLM(Vlaamse Landmaats chappij)라는 단체를 구성하여 가축분뇨의 수급 및 컨설팅을 담당하는 분뇨은행을 산하에 두어 가축분뇨 퇴비 및 액비에 의한 오염부하를 최소화하고 있음.
- 덴마크 SKOV사는 축사 악취 및 먼지를 저감하기 위한 미생물접종 바이오 필터 장착 환기시스템을 통해 먼지의 90%가 제거되고 암모니아 농도는 1 ppm이하로 저감하였음.
- 네덜란드 Dorset Farm System은 돼지 자동 급이기 및 바이오필터를 이용한 악취 제거 시스템과 미생물접종 바이오필터 외에도 화학적 필터를 이용한 악취 제거도 함께 개발함. 이 제품 역시 높은 가격과 전 제품을 수입해야 하는 실정이므로 국내 도입이 힘들며, 성능에 관한 학술적인 근거가 없음.

- 일본, 중국, 유럽 등 현재 양돈농가 및 가축분 자원화 시설은 대부분 개방형이며, 돈사에서 발생하는 악취는 바이오필터, 화학적 필터, 미생물접촉필터 등과 환기시스템을 연동하여 제거 장치를 개발 및 판매하고 있음. 하지만, 일본, 중국, 유럽 등의 악취제거 시스템은 높은 가격과 전 제품을 수입해야하는 실정이므로 국내 도입이 어려우며, 가축분 처리 시설 규모 대비 퇴비 생산량은 우리나라와 별 차이가 없는 것으로 평가됨.
- 미국의 경우 LEACIMAN CATTLE OF COLORADO LLC사, VIRTUAL PIGGY INC사, KRISTOFFER LARSEN INNOVATION AS사가 돈사의 환기시스템 및 친환경적인 축사 환경 조성 등 스마트 축산 관련 보유 기술력 높음.
- 이탈리아의 PigWise 프로젝트는 양돈개체관리로부터 돈사 환경 유지를 위한 환기 및 배기 시스템까지 개발 판매하고 있으며, ICT 기반 제어 기술을 적용하여 돈사로부터 즉각적인 데이터 수집이 가능함.

2. 시장현황

- 세계 비료 시장은 연평균 약 2.8% 증가되는 것으로 예상되며, 2015년 비료 수요량은 1억 9,100만 톤으로 판단되고 농산물 가격 상승으로 인하여 비료소비는 증대되고 있음. 또한, 개도국의 농산물 경지 증가와 선진국의 바이오 에너지 원료작물 재배 증가로 인한 공업용 작물 증가도 비료수요량 증대 요인임.
- 세계 총 비료 공급량의 증가추세는 총 수요량 증가추세보다 높기 때문에 세계 비료 재고량이 연평균 21.2%씩 늘어날 것으로 예상됨. 비료 생산의 메이저 기업으로는 노르웨이의 Yara사, 미국의 Mosaic사, 캐나다의 Agrium, Potash사, 독일의 Kali&Solz사 등을 꼽을 수 있음.
- IBS World의 2014년 비료 제조 시장 현황에 따르면 가장 높은 시장점유율을 차지한 회사는 캐나다의 Agrium사로 37.5%를 기록하였으며, 미국의 CF Industries사와 Mosaic사가 각각 13.5%, 11.6%의 점유율로 뒤를 잇고 있음.
- IBIS의 보고서에 따르면 미국 내에서 생산된 비료의 30%가 옥수수 업체들에게 납품되고 있으며, 골프장, 정원 전문 업체 등 상업 업체에 납품되는 양은 전체의 15%인 것으로 나타남.
- 프랑스비료산업연합(UNIFA)은 화학산업 연합조직 산하에 있는 조직으로써 프랑스 내 유·무기질 비료를 생산하는 기업들의 연합이며, 프랑스 내 비료회사 75개 중 45개사가 회원이며 50개사로 늘어날 예정임.
- 프랑스의 비료시장은 유럽에서 가장 큰 시장으로써 연간 총 1,200만 톤을 생산하고 있으며, 총 매출은 37억 유로에 달하며, 3,900여 명의 일자리를 창출하고 있음.
- 네덜란드의 펴오피드(Ferm O Feed)는 계분을 유기질 비료로 만드는 업체로써 다양한

작물 생산을 위하여 유기질비료를 공급하고 있으며 생산품의 대부분을 수출하고 있기 때문에 당사의 제품을 전 세계에서 찾아볼 수 있음. 유기질 퇴비 시장에 대한 성장가능성을 보고 이에 대한 투자를 늘리고 있으며 현재 연간 45,000톤의 유기질 비료를 생산하고 있으나 5년 안에 생산량을 10만 톤으로 늘릴 예정임.



(a) 생산 공정



(b) 유기질 비료

<그림-10> 네덜란드 펌오피드사 공정 및 유기질 비료

3. 경쟁기관현황

가. Intergeo(캐나다)

- 시설명 : X-ACT systems
- 대상폐기물 : 생분해성 폐기물, 우분, 마분, 식물성 폐기물, 음식물폐기물, 우드칩 등
- 처리방식 : 통기퇴적식 발효, 건조 시스템, 로타리 회전식 발효
- 시설특징 : 내부 모니터링을 통한 이상적인 호기성 소화 조건 유지, 4~7일 발효에 의한 고속 퇴비화 가능, 병원균 살균 효과



<그림 11> X-ACT systems

나. Chueco Ecotech Co. Ltd.(일본)

- 시설명 : Fermentation equipment for composting animal waste and raw garbage
- 대상폐기물 : 가축분뇨, 음식물쓰레기
- 처리방식 : 대상폐기물 발효에 의한 열 생성으로 퇴비화
- 시설특징 : 미생물 발효법을 이용한 직접적 열 생산, 밀폐시스템으로 방출되는 배기가스

가 없어 악취 무발생, 박테리아 및 해충의 비활성화 또는 박멸, 공정 탱크가 수직 구조로 좁은 공간에 설치 가능



<그림-12> Fermentation equipment for composting animal waste and raw garbage

4. 지식재산권현황

<표-4> 지식재산권 현황

no.	출원번호/ 출원국	발명의 명칭	출원인
1	02228383 (JP)	Production of odorless compost composed of livestock manure or fish meal and a composition containing polyphenol component	MITSUI NORIN KK ICHIKAWA HIROYUKI
2	09898047 (JP)	Cattle dung deodorization apparatus	独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構
3	14251670 (JP)	Process for deodorization treatment in manufacturing step of compost from livestock excreta	YAMOCHI TAKESHI
4	24108268 (JP)	Method for composting animal manure	GREEN CONTRACTOR:KK
5	20008738 (JP)	Method of composting organic waste and apparatus therefor	SATAKE CORP
6	20180476 (JP)	Apparatus for producing fuel using and composting livestock feces as resources	E-RAE CO LTD
7	13382708 (JP)	Method and apparatus for composting organic waste by fermentation	井上 忠夫
8	23197636 (JP)	Apparatus and method for fertilizing livestock excrement	MURAMATSU TOSHIYUKI KITaura MASAAKI
9	02116266 (JP)	Production of compost utilizing container	NIPPON SANGYO KAIHATSU:KK
10	07208440 (JP)	Soil improving material formed from domestic animal dung and its production	TAKASHIMA AKIRA

제 3 장. 연구수행 내용 및 결과 (주관기관 : 비케이환경종합 건설(주))

코드번호	D-05
------	------

1절. 1차 년도 연구개발 내용

- 원료 퇴비를 10일 이내 발효할 수 있는 원통 수평형 고수분 가축분뇨 고속 발효기 개발과 배출구에서 발생하는 암모니아 가스 배출농도 1mm이하로 저감하기 위한 악취 2단계 제어 기술개발

1. 원통 수평형 고수분 가축분뇨 고속발효기 공정



2. 투입시설 : 호퍼 자동 투입식 개발

- 스크류 컨베이어에 의한 자동투입방식으로 퇴비 내 비교적 작은 협잡물도 투입할 수 있는 시설.
- 기존의 엘리베이터 투입방식은 1차적인 협잡물 제거 장치가 필요하고 작업공정의 불편함과 높은 동력비, 운전조작이 필요한 별도의 인력소모가 많음. 따라서 본 연구는 퇴비 원료 투입방식을 스크류 컨베이어를 이용한 원료 자동 투입방식을 개발하여 적은 동력비 및 인력소모를 줄이고, 전처리 작업에 소모되는 시간적 요소를 최소화하여 퇴비화 발효공정의 생산성을 향상시킬 수 있는 호퍼 자동 투입장치를 개발.

3. 발효시설 : 원통 수평형 발효기 BODY 시스템 개발

- 본체 재질은 강철 또는 스테인레스 등으로 구성하고 발효 시 내부 열 손실을 최소화하기 위하여 우레탄을 이용하여 본체표면에 보온덮개 설계. 또한 본체 내부에 부식방지 및 원통 회전에 의한 균열을 방지하기 위한 코팅 마감재를 개발하고, 보온덮개의 외부적인 충격을 감안하여 보온 덮개표면에 강철 또는 스테인레스 융합될 수 있도록 개발.
- 퇴비 발효의 속도를 가속화하기 위한 자연적 공기 유입식은 원통회전을 통해 공기가 유입되고 퇴비가 상.하 교차하면서 퇴비과 공기가 혼합될 수 있도록 하는 시스템을 개발.
- 발효기내 원료퇴비와 공기혼합 그리고 발효퇴비의 유연한 이동을 위해 발효기 내부에 나선형 이동레일을 설치하고, 원통회전을 통해 혼합과 이동이 동시에 일어날 수 있도록 하는 원통회전 장치를 개발.

4. 순환시설 : 부속퇴비 RECYCLE 시스템 개발

- 최종 배출되는 부속된 퇴비는 스크린 선별기에 의해 무기 고형물을 제거하고, 일부는 이송콘베이어를 통해 원료투입구를 통해 수분 조절제 일부 이용하거나, 투입되는 퇴비 원료와 혼합하여 발효율을 촉진시킬 수 있는 RECYCLE 시스템 개발

5. 포집시설 : 악취 2단계어 시스템 및 열 포집 순환 시스템 개발

- 발효퇴비 최종 배출구에서 발생하는 고온상태의 습윤공기를 포집 후 수증기 및 건조 공기를 분리할 수 있도록 하여 수증기는 악취제어 시스템 연계를 통해 수증기내 포화된 악취가스를 제거하고, 고온건조공기는 퇴비원료 초기 발효 시 발효열로써 재사용할 수 있도록 하여 고속발효 할 수 있도록 하는 열 포집 순환 시스템을 개발.
- 포집된 악취는 1차 바이오 스크라바 , 2차 바이필터를 통해 악취를 제어하고, 바이오 스크라바 악취제어에 사용되는 세정액은 별도의 미생물활성화 시스템을 개발하여 연속적인 세정과 재생이 될 수 있도록 함.

6. 실증시험 : 축종별 사료 성상 및 가축분 함수량분석

- 농가별 일자별, 계절별 가축분뇨 수거 목록표 작성 등을 통해 발생원으로 부터 부속도를 확인하고, 본 공정의 제작은 별도의 시제품 개발을 통해 수거된 원료투입 시 발효일 수, 부속도를 판정하여 데이터를 구축.
- 퇴비 성상별 부속도 측정 데이터 구축 및 성분 분석 본 공정에서 완료된 부속퇴비는 실험 기자재를 이용하여 수분 측정, 색도, 열량 등의 데이터 작성과 작물적용에 대한 파급효과를 분석.

7. 경제성 분석 : 산업전반의 적용성 및 부가가치 창출효과 분석

- 축산 농가별로 현재 운영되는 가축분뇨 처리비용, 생산처리능력, 주변 악취발생의 저감 등을 본 공정시스템과 비교분석하여 경제성을 산출 후 경종농가에 적극 활용.
- 악취저감은 분석은 발효기 체적에 따른 발생가스량(m^3/min)을 측정장치에 의해 산출하고, 악취농도 측정은 유입구, 1차 처리후, 2차 처리후, 부지경계선을 중심으로 지정악취 항목을 기기분석 실시. 따라서 발효시 회전 속도에 따른 악취 부속속도, 가스발생량, 악취 제어효과 등에 대한 데이터를 구축하고, 저감효과에 자료를 확보.
- 시제품을 제작하여 국내의 컨소시엄을 통해 산업체 전반에 홍보하고, 기존 설비 대비 생산성 효과, 경제성 가치 등을 산출하여 향후 공공처리 시설 및 공동 자원화, 개인농가 등에 충분히 활용될 것이라고 판단됨

기존 시설



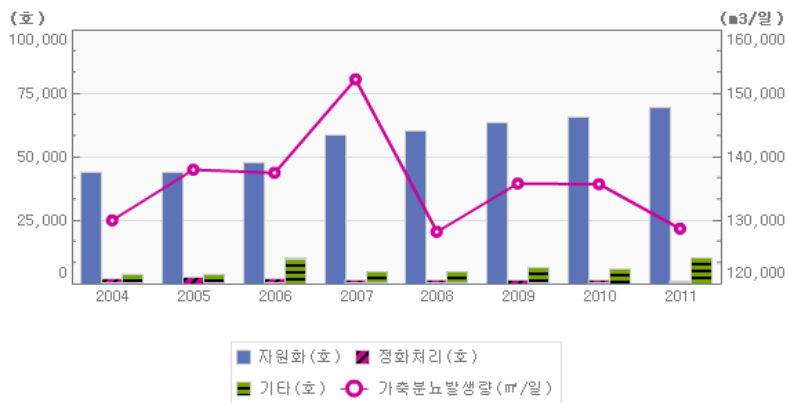
연구과제 신기술



가. 경제성 분석 및 부가가치 창출효과 분석

(1) 가축분뇨 발생 및 처리현황

가축분뇨 발생량 및 처리 현황



<가축분뇨 발생량 : 호, 천두, 톤/일>

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
축산농가수	125,198	135,100	174,197	181,001	189,666	212,143	223,988
가축사육두수	148,532	147,072	158,213	171,965	179,219	208,274	215,499
가축분뇨 발생량	137,956	137,442	152,161	128,143	135,761	135,653	128,621

<가축분뇨 처리현황 : 호, 천두, 톤/일>

구분	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
가축분뇨처리가구	49,905	59,584	64,542	66,418	71,050	72,998	80,368
자원화가구	43,584	47,709	58,297	60,328	63,236	65,688	69,417
%	87.3	80.1	90.3	90.9	89.0	90.0	86.0
정화처리가구	2,743	1,971	1,441	1,359	1,658	1,366	763
%	5.5	3.3	2.2	2.0	2.3	1.9	1.0
위탁처리	3,578	9,904	4,804	4,731	6,156	5,944	10,345
%	7.2	16.6	7.5	7.1	8.7	8.1	13.0

(2) 가축분뇨 자원화 및 에너지 사업 시장규모

- 정화처리 수질기준을 대폭 강화하여 향후 자원화 및 에너지 사업으로 유도할 계획(환경부 고시)
- 2017년까지 자원화 시설 및 에너지화 시설 등 확충을 통해 자원화율 91%, 기존 정화처리 및 자가 처리 부분에서 자원화율 17% 달성 계획(농림부 고시)
- 2017년까지 공동자원화 계획 총1 50개소를 설치하여 년 간 약 450만 톤 가축분뇨를 비료로 사용할 수 있도록 처리기반 구축(농림부 고시)
- 2014년까지 개별농가 자원화 시설의 노후시설 보수 지원확충과 자원화시설 신설 보급을 적극적으로 지원하여 축사 현대화 사업을 신설할 계획

< 가축분뇨 공공처리시설 설치 및 운영 총괄현황 2012.8기준, 톤/일 >

구분	합 계		운영중		공사중		비고
	개소	규모	개소	규모	개소	규모	
계	111	13,486	82	10,153	29	3,333	
인 천	3	150	2	70	1	80	
경 기	20	3140	16	2,500	4	640	
강 원	7	880	6	800	1	80	
충 북	7	795	6	690	1	105	
충 남	13	1,863	10	1,383	3	480	
전 북	14	1,975	11	1,680	3	295	
전 남	12	1,035	11	965	1	70	
경 북	17	1,575	9	765	8	810	
경 남	15	1,673	8	900	7	773	
제 주	3	400	3	400	-	-	

< 가축분뇨 자원화 및 에너지화 시장규모, 단위:억원 >

구분	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	평균증가율
사업비	4,000	5,000	7,000	10,000	15,000	20,000	25,000	30,000	
증가율(%)	10%	25%	40%	43%	50%	33%	25%	17%	

2절. 2차 년도 연구개발 내용

1. 세부연구 목표

- 원통수평형 발효조 body 보온 시스템 구축(발효열 손실 방지 및 외기온도 차단설비 구축을 위한 자재 선정)
- 기자재 보완 및 설계보완 후 최종 검증된 고속 발효기 구축
- 발효퇴비를 투입구로 재순환될 수 있는 시스템 구축
- 부숙퇴비 내 협착물을 제거할 수 있는 선별시스템 개발
- 부숙퇴비 반출구에서 배출되는 고온 열을 포집하여 원료 투입구로 재이용할 수 있는 시스템 개발
- 고속발효기 내 발생된 습윤가스 중 수분을 제거한 건조가스 생산시스템개발 (heating recovery)
- 고속발효기 내 발생된 복합악취를 미세 기포를 이용한 1차 제어 세정식 개발
- 돈분 발생량 변동에 증설설비 및 이동설치가 편리한 조립식 Body system 개발 및 개선

2. 세부연구 내용

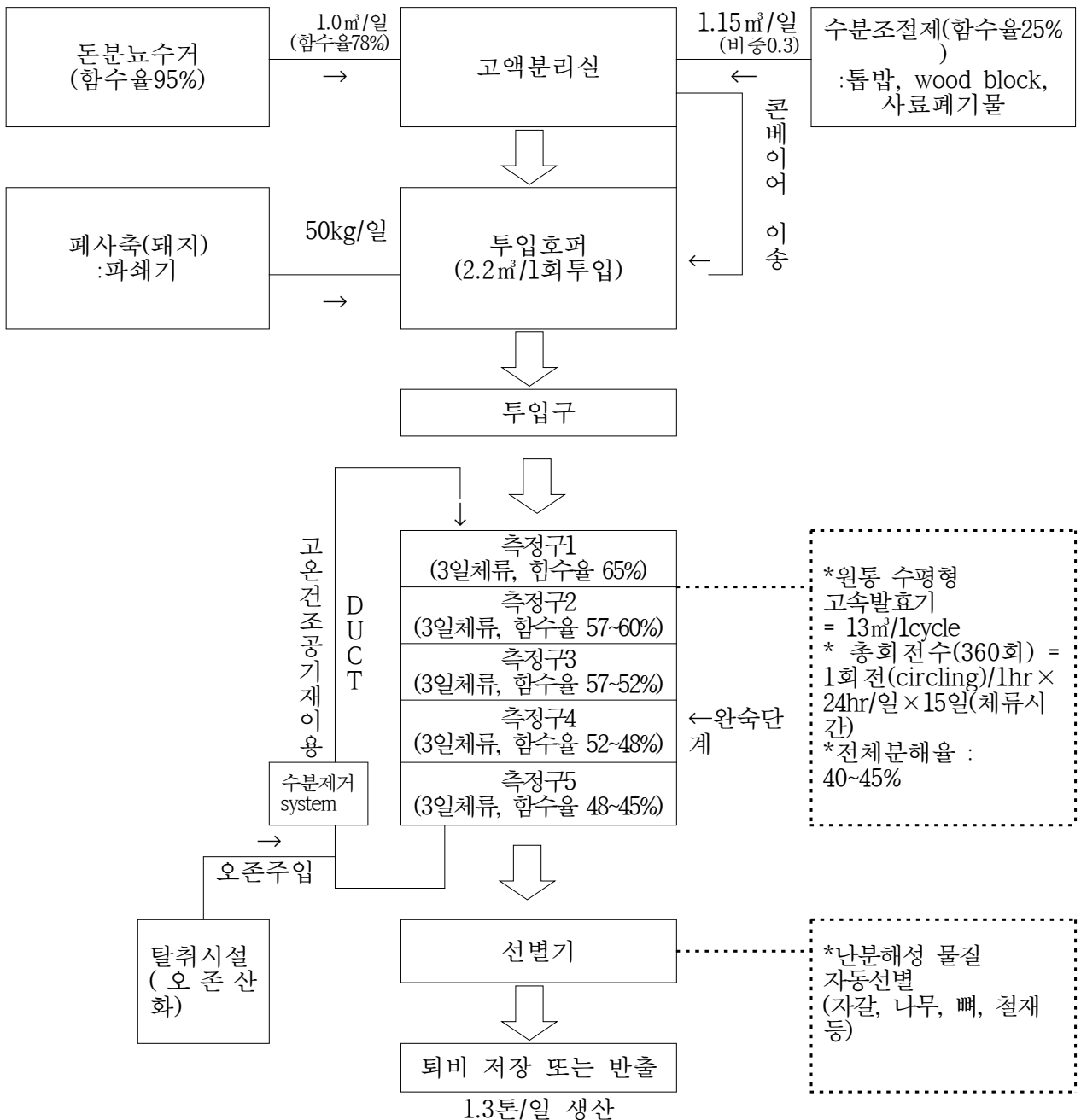
- 원통수평형 발효조 body 보온지수 결정과 보온열선자재를 선정 제작하고 열선가열에 따른 내부온도 결정.
- 원통수평형 발효조 body 구역을 1.2.3.4.5지점을 선정하여 조작 시 발효 온도를 측정.
- 열손실 분석은 오전,오후로 구분하여 외기온도의 변화에 따른 내부온도 변화점을 확인.
- 원통수평형 발효조 조작 시 출구에서 완숙퇴비 누출을 보완하여 일일 연속가동 후 관능법에 의한 악취 공기 누출 확인.
- 완숙된 퇴비의 성분분석을 통한 비료기준을 확인.
- 반복된 실험을 통해 수분조절제를 절감하기 위해 완숙퇴비와 수분조절제의 효율적 비율을 선정.
- 원료(폐사축) 투입시 수분조절제를 혼합할 수 있는 호퍼와 원료를 이송할 수 있는 배관과 공기흡입 이송Line을 설계하여 이를 원통수평형 발효조 body 출구 부분에 연계 부착.
- 원통수평형 발효조 후단(배출구)에는 선별체를 적용하여 조대한 무기물이 제거될 수 있도록 함.
- 원통수평형 발효조의 배출가스온도, 배출배기량, recycle 온도, recycle 송풍량 산출.
- 배출가스 및 송풍량 성장분석을 통해 산소(O)량 측정.
- 습윤가스 흡입장치 설비.
- preheater(예열기) 설치는 보통 100~200℃ 까지 높일 수 있는 열교환기를 사용하며 계절

변화에도 안정된 예열.

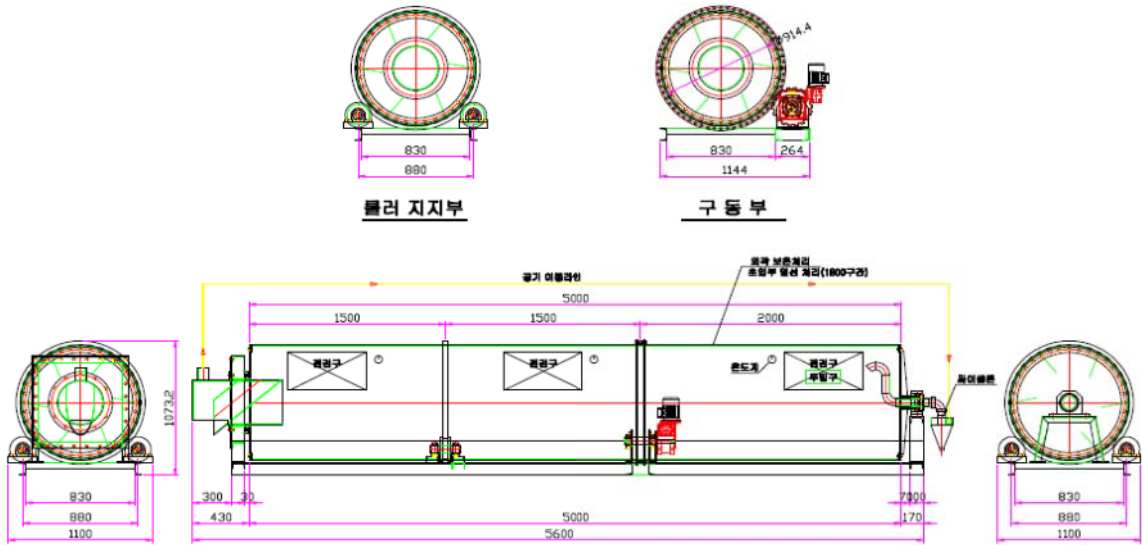
- 공기를 사용할 수 있어 퇴비의 발효점이 상승되고, 또한 배출되는 배기가스 내 유해가스 성분을 최소화 가능.
- 1단 세정법 : 원형 트레이설과 당사가 개발한 노즐 사용.
- 2단 바이오필터 : 스크라바 트레이 상단에 원형 wood chip bed 설치.
- 3단: 스크라바 바이오필터 상단에 오존 살수장치 설계.

3. 세부연구수행결과

가. 공정도



나. 설계도면



다. 원통수평형 발효조 완성품사진대지



라. 원통수평형 발효조 body 보온시스템구축(발효열 손실 방지 및 외기온도 차단설비 구축을 위한 자재 선정)



(1) 원통수평형 발효조 body 보온치수 결정과 보온 열선 자재 선정 제작하고 열선가열에 따른 내부온도 결정.

- 전기 전도장치는 원통수평형 발효조 회전 시 간섭 장애를 없애고 전기히터 코일에 전기전도에 의한 열을 발생시켜 원통수평형 발효조 내 퇴비가 고속 발효 될 수 있도록 직접적인 역할을 함.
- 전기히터 코일에서 발생하는 열은 계절별로 온도를 조절할 수 있도록 설계.
- 내부온도는 측정구 1 ~ 측정구 5까지 45°C 이상 유지 되도록 설계.

(2) 겨울철 외기온도에 의한 퇴비율 저하를 방지하고 계절적 변화(눈, 비 등) 조건에 내부 열 손실을 차단하는 시스템(보온재 및 열선재료선정)

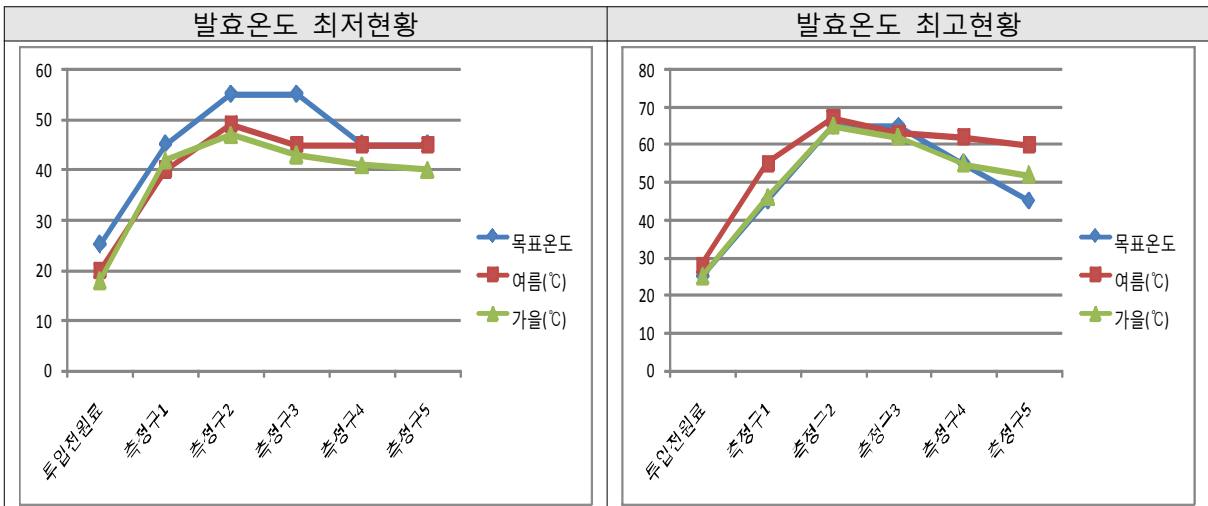
- 1차단열 그라스울 단열재와 2차단열 알루미늄 합금 절연체 시공으로 외기에 대한 충격이 저항될 수 있는 재질 사용(보온덮개)

(3) 원통수평형 발효조 body 구역을 1.2.3.4.5지점을 선정하여 조작 시 발효 온도를 측정.

- 계절별 원통수평형 발효조 내 온도 변화는 아래와 같음.



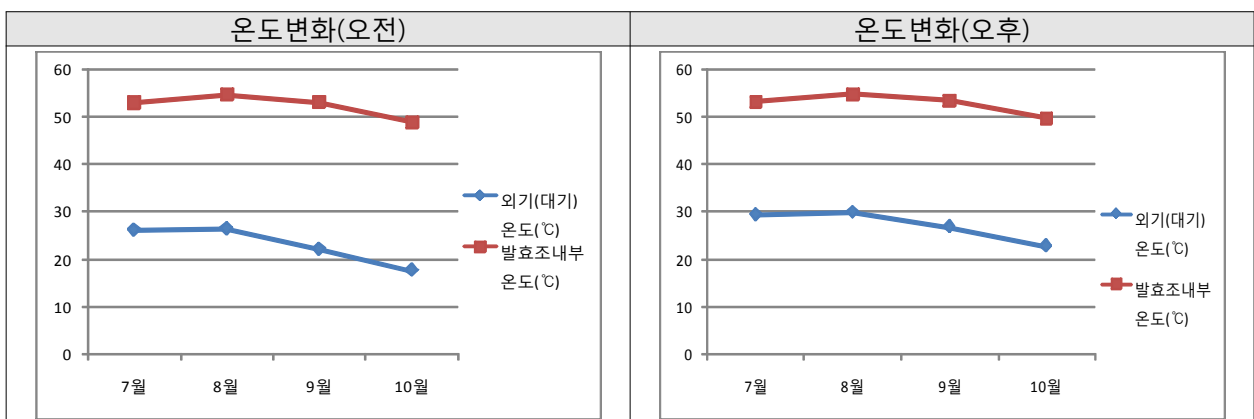
구분	투입전원료	측정구1	측정구2	측정구3	측정구4	측정구5
목표온도	25°C	45°C이상	55~65°C	55~65°C	45~55°C	45°C이하
여름(°C)	20~28	40~55	49~67	45~63	45~62	45~60
가을(°C)	18~25	42~46	47~65	43~62	41~55	40~52



- 원료의 투입온도에 따라 발효온도가 다소 차이가 나고, 계절별 여름과 가을 기준으로 비교 했을 경우 발효온도 차가 ±2~7°C로 나타 남.
- 1, 2차년도 본연구의 시설제작과 시설보완으로 2차년도 여름에 완공되어 2차 금년 12월~3월에 진행할 예정임.

(4) 열손실 분석은 오전, 오후로 구분하여 외기온도의 변화에 따른 원통수평형 발효조 내부온도 변화점을 확인.

구분	7월			8월			9월			10월		
	오전	오후	변화차 (°C)	오전	오후	변화차 (°C)	오전	오후	변화차 (°C)	오전	오후	변화차 (°C)
외기(대기) 온도(°C)	26.2	29.5	3.3	26.5	30.0	3.5	22.2	26.9	4.7	17.7	22.8	5.1
발효조 내부온도(°C)	53.0	53.3	0.3	54.7	54.9	0.2	53.2	53.6	0.4	49.0	49.8	0.8



- 두 그래프에서 일일(오전, 오후) 온도변화가 급격한 변화에 따른 발효온도 영향을 거의 받지 않는 것을 알 수 있으며, 이것은 원통발효조의 밀폐 및 보온에 있어 정밀한 제작이 되었음을 알 수 있다. 그러나 계절에 따른 온도변화는 하절기에 접어들수록 발효온도가 낮아지는 것으로 나타났으나, 이는 투입원료에 자체에 외기영향을 받아 투입 시 발효온도가 상대적으로 낮아지는 것으로 나타 남.

마. 기자재 보완 및 설계보완 후 최종 검증된 고속 발효기 구축



- 퇴비투입구 및 반출구 부분을 joint coupling 설치하여 원통수평형 발효조 조작 시 발생하는 퇴비누출 현상을 방지.
- 원통수평형 발효조내 퇴비 발효이송에 관한 발효상태 점검하기 위하여 점검구 설치 보완.

바. 원통수평형 발효조 조작 시 입,출구에서 완숙퇴비가 누출되는 것을 보완하여 일일 연속가동 후 관능법에 의한 악취 및 공기 누출 확인.



사. 발효퇴비를 투입구로 재순환될 수 있는 시스템 구축



- 투입hopper내 이동 screw설치로 완숙퇴비와 수분조절제 그리고 원료를 혼합하여 발효조내 이송 되도록 설계되었고, 고액분리기에서 분리된(고액분리고형분)은 이송 conveyer 의해 원통수평형 발효조로 직접 자동 이송 되도록 설계.
- 완숙된 퇴비 혼합비율은 7:3, 완숙된 퇴비의 투입 온도는 45℃ 이상으로 항상 유지.

야. 부숙퇴비내 흡착물질을 제거할 수 있는 선별시스템 개발



- 고액분리기에서 1차 선별될 수 있도록 설계 제작하고 협착물질에 의한 막힘 현상을 줄이기 위해 screw type으로 설계 함.
- 혼합투입 hopper내 screw를 적용하여 선별 및 이송이 동시에 이루어질 수 있도록 함.

자. 부숙퇴비 반출구에서 배출되는 고온 열을 포집하여 원료 투입구로 재이용할 수 있는 시스템 개발



- 퇴비 반출구에서 원통수평형 발효조 내 고온공기를 강제 흡입하여 건조공기만을 재 사용할 수 있도록 설계 제작.
- 원통수평형 발효조 body 보온시스템구축(발효열 손실방지 및 외기온도 차단설비 구축을 위한 자재선정)
- 퇴비 반출구에서 포집된 건조공기를 재이용할 수 있도록 한 recycle system

차. 고속발효기 내 발생하는 습윤가스를 수분을 제거한 건조가스 생산시스템 개발 (heating recovery system)



*수분 제거장치 : cyclone형태로 흡입공기가 상부에서 하부로 다시 상부로 이동할 때 기체의 관성에 의해 제거.
 *수분제거율 : 65~70%

흡입된 VSS는 수분제거장치에 의해 제거하고 생성된 건조공기를 cycle 배관을 통해 재이용.

※ 퇴비 부숙도

구 분	측정구 1	측정구2	측정구 3	측정구 4	측정구 5
부숙도 판정	1	2	2~3	4이상	5이상
체류기간(일/구간)	3	3	3	3	3

※ 시험성적서(측정구 4 기준)

1차 측정	* 부숙도 4이상 판정 * 슬러지조건 약품슬러지	검 사 결 과																																																																						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>항 목</th> <th>규 격</th> <th>결 과</th> <th>비 고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>질소(%)</td> <td></td> <td>1.28</td> <td></td> </tr> <tr> <td>수분(%)</td> <td>55 이하</td> <td>36.95</td> <td></td> </tr> <tr> <td>유기물(%)</td> <td>30 이상</td> <td>53.77</td> <td></td> </tr> <tr> <td>유기물대질소비</td> <td>45 이하</td> <td>42.00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>비소(mg/kg)</td> <td>45 이하</td> <td>6.83</td> <td rowspan="2">- 분석 방법 : 비료품질검사법 부숙도(솔비타 측정)</td> </tr> <tr> <td>카드뮴(mg/kg)</td> <td>5 이하</td> <td>1.83</td> </tr> <tr> <td>수은(mg/kg)</td> <td>2 이하</td> <td>불검출</td> <td rowspan="2">NH3 : 5 CO2 : 4</td> </tr> <tr> <td>납(mg/kg)</td> <td>130 이하</td> <td>30.42</td> </tr> <tr> <td>크롬(mg/kg)</td> <td>200 이하</td> <td>82.34</td> <td rowspan="2">- 규 격 : 농촌진흥청 고시 제 2014- 13호</td> </tr> <tr> <td>구리(mg/kg)</td> <td>360 이하</td> <td>440.57</td> </tr> <tr> <td>니켈(mg/kg)</td> <td>45 이하</td> <td>27.32</td> <td></td> </tr> <tr> <td>아연(mg/kg)</td> <td>900 이하</td> <td>875.86</td> <td></td> </tr> <tr> <td>염분(%)</td> <td>2 이하</td> <td>0.31</td> <td></td> </tr> <tr> <td>부숙도</td> <td>4 이상</td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>염산불용해물(%)</td> <td>25 이하</td> <td>3.25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>대장균 O157:H7</td> <td>불검출</td> <td>불검출</td> <td></td> </tr> <tr> <td>살모넬라</td> <td>불검출</td> <td>불검출</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				항 목	규 격	결 과	비 고	질소(%)		1.28		수분(%)	55 이하	36.95		유기물(%)	30 이상	53.77		유기물대질소비	45 이하	42.00		비소(mg/kg)	45 이하	6.83	- 분석 방법 : 비료품질검사법 부숙도(솔비타 측정)	카드뮴(mg/kg)	5 이하	1.83	수은(mg/kg)	2 이하	불검출	NH3 : 5 CO2 : 4	납(mg/kg)	130 이하	30.42	크롬(mg/kg)	200 이하	82.34	- 규 격 : 농촌진흥청 고시 제 2014- 13호	구리(mg/kg)	360 이하	440.57	니켈(mg/kg)	45 이하	27.32		아연(mg/kg)	900 이하	875.86		염분(%)	2 이하	0.31		부숙도	4 이상	4		염산불용해물(%)	25 이하	3.25		대장균 O157:H7	불검출	불검출		살모넬라	불검출
항 목	규 격	결 과	비 고																																																																					
질소(%)		1.28																																																																						
수분(%)	55 이하	36.95																																																																						
유기물(%)	30 이상	53.77																																																																						
유기물대질소비	45 이하	42.00																																																																						
비소(mg/kg)	45 이하	6.83	- 분석 방법 : 비료품질검사법 부숙도(솔비타 측정)																																																																					
카드뮴(mg/kg)	5 이하	1.83																																																																						
수은(mg/kg)	2 이하	불검출	NH3 : 5 CO2 : 4																																																																					
납(mg/kg)	130 이하	30.42																																																																						
크롬(mg/kg)	200 이하	82.34	- 규 격 : 농촌진흥청 고시 제 2014- 13호																																																																					
구리(mg/kg)	360 이하	440.57																																																																						
니켈(mg/kg)	45 이하	27.32																																																																						
아연(mg/kg)	900 이하	875.86																																																																						
염분(%)	2 이하	0.31																																																																						
부숙도	4 이상	4																																																																						
염산불용해물(%)	25 이하	3.25																																																																						
대장균 O157:H7	불검출	불검출																																																																						
살모넬라	불검출	불검출																																																																						

주) 상기 내용은 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

2차 측정	* 부숙도 5이상 판정 * 슬러지조건 약품슬러지	검 사 결 과																																																																						
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>항 목</th> <th>규 격</th> <th>결 과</th> <th>비 고</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>질소(%)</td> <td></td> <td>2.11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>수분(%)</td> <td>55 이하</td> <td>25.24</td> <td></td> </tr> <tr> <td>유기물(%)</td> <td>30 이상</td> <td>56.95</td> <td></td> </tr> <tr> <td>유기물대질소비</td> <td>45 이하</td> <td>26.99</td> <td></td> </tr> <tr> <td>비소(mg/kg)</td> <td>45 이하</td> <td>77.80</td> <td rowspan="2">- 분석 방법 : 비료품질검사법 부숙도(솔비타 측정)</td> </tr> <tr> <td>카드뮴(mg/kg)</td> <td>5 이하</td> <td>18.64</td> </tr> <tr> <td>수은(mg/kg)</td> <td>2 이하</td> <td>0.86</td> <td rowspan="2">NH3 : 3 CO2 : 6</td> </tr> <tr> <td>납(mg/kg)</td> <td>130 이하</td> <td>31.59</td> </tr> <tr> <td>크롬(mg/kg)</td> <td>200 이하</td> <td>167.37</td> <td rowspan="2">- 규 격 : 농촌진흥청 고시 제 2014- 13호</td> </tr> <tr> <td>구리(mg/kg)</td> <td>360 이하</td> <td>526.55</td> </tr> <tr> <td>니켈(mg/kg)</td> <td>45 이하</td> <td>39.19</td> <td></td> </tr> <tr> <td>아연(mg/kg)</td> <td>900 이하</td> <td>1756.51</td> <td></td> </tr> <tr> <td>염분(%)</td> <td>2 이하</td> <td>0.38</td> <td></td> </tr> <tr> <td>부숙도</td> <td>4 이상</td> <td>5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>염산불용해물(%)</td> <td>25 이하</td> <td>6.25</td> <td></td> </tr> <tr> <td>대장균 O157:H7</td> <td>불검출</td> <td>불검출</td> <td></td> </tr> <tr> <td>살모넬라</td> <td>불검출</td> <td>불검출</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				항 목	규 격	결 과	비 고	질소(%)		2.11		수분(%)	55 이하	25.24		유기물(%)	30 이상	56.95		유기물대질소비	45 이하	26.99		비소(mg/kg)	45 이하	77.80	- 분석 방법 : 비료품질검사법 부숙도(솔비타 측정)	카드뮴(mg/kg)	5 이하	18.64	수은(mg/kg)	2 이하	0.86	NH3 : 3 CO2 : 6	납(mg/kg)	130 이하	31.59	크롬(mg/kg)	200 이하	167.37	- 규 격 : 농촌진흥청 고시 제 2014- 13호	구리(mg/kg)	360 이하	526.55	니켈(mg/kg)	45 이하	39.19		아연(mg/kg)	900 이하	1756.51		염분(%)	2 이하	0.38		부숙도	4 이상	5		염산불용해물(%)	25 이하	6.25		대장균 O157:H7	불검출	불검출		살모넬라	불검출
항 목	규 격	결 과	비 고																																																																					
질소(%)		2.11																																																																						
수분(%)	55 이하	25.24																																																																						
유기물(%)	30 이상	56.95																																																																						
유기물대질소비	45 이하	26.99																																																																						
비소(mg/kg)	45 이하	77.80	- 분석 방법 : 비료품질검사법 부숙도(솔비타 측정)																																																																					
카드뮴(mg/kg)	5 이하	18.64																																																																						
수은(mg/kg)	2 이하	0.86	NH3 : 3 CO2 : 6																																																																					
납(mg/kg)	130 이하	31.59																																																																						
크롬(mg/kg)	200 이하	167.37	- 규 격 : 농촌진흥청 고시 제 2014- 13호																																																																					
구리(mg/kg)	360 이하	526.55																																																																						
니켈(mg/kg)	45 이하	39.19																																																																						
아연(mg/kg)	900 이하	1756.51																																																																						
염분(%)	2 이하	0.38																																																																						
부숙도	4 이상	5																																																																						
염산불용해물(%)	25 이하	6.25																																																																						
대장균 O157:H7	불검출	불검출																																																																						
살모넬라	불검출	불검출																																																																						

주) 상기 내용은 의뢰인이 당사에 제공한 시료에 대한 분석결과입니다.

카. 고속발효기 내 발생된 복합악취를 미세 기포를 이용한 1차 제어 세정식 개발



- * 오존발생기 : 2L/min
- * 오존 1차 살수장치
- * MECHANISM : 흡입FAN의해 흡입된 악취가스는 흡입DUCT를 통해 유입되면서 1차 오존살수장치(기체상)와 2차 오존수(액체) 가수장치를 이용한 제어되는 방식

(1) 악취측정

- 측정기기
 - 가스상물질(암모니아, 황화수소) : TG-501(Gray wolf, USA)
 - 복합악취(공기희석관능법) : 복합악취시료채취장치(Odortech, Korea)
 - 생물학상물질 (배양법) : BUCK Bio-culture(A.P. BUCK, USA)

구분	투입구		발효조		배출구		부지경계선	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
온도(°C)	21.63	0.21	40.3	0.1	21.6	0	20.27	0.38
습도(%)	49.07	0.71	91.6	0.1	49.7	0.17	47.77	0.15
TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	110.83	10	6493.17	64.36	105.9	5.46	89.53	2.65
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	71.17	3.35	4677.53	576.99	74.43	1.85	76.37	2
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31.45	1.95	645.33	6.81	33.59	4.62	35.42	0.55
PM ₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	18.82	0.87	263.03	15.68	18.63	0.37	17.8	1.09
암모니아(ppm)	0.07	0.06	4.2	0.1	0.1	0	0	0
황화수소(ppm)	0.01	0.01	0.21	0.02	0.02	0	0	0
복합악취	44	-	448	-	44	-	38	-
부유세균(cfu/m ³)	1649	501.93	2332.16	301.91	1369.85	184.5	169.61	7.07
부유진균(cfu/m ³)	1103.65	229.44	1645.46	470.99	1048.29	147.12	106.01	14.14

타. 돈분 발생량 변동에 증설설비 및 이동설치가 편리한 조립식 Body system 개발 및 개선



- 분리형 이동방식 설계 : BODY 3단 구분, 일체형 투입장치, 투입호퍼, 퇴비반출 이송 conveyer, 하부frame, 가슴식 세정 탈취기, 오존발생기 등으로 구성

※ 수행 실적

- 특허출원 및 특허등록

특허 출원

<p style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">특허 출원</p> <p style="text-align: center;">관인생략 출원번호통지서</p> <p>출원 일자 2014.10.13 특기사항 심사청구(유) 공개신청(무) 출원번호 10-2014-0137497 (원수번호 1-1-2014-0970614-39) 출원인명칭 비케이환경종합건설 주식회사(1-2005-027848-0) 대리인성명 최병용(9-2005-001210-7) 발명자성명 김원중 발명의명칭 원통형 수평 교반 발효조</p> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: 1.2em;">특 허 청 장</p> <p style="text-align: center;"><< 안내 >></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>1. 국외의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.</p> <p>2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다. ※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 원수번호</p> <p>3. 국외의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 경정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다. ※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서비스다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식</p> <p>4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.</p> <p>5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허-실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내 출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내 출원일로부터 일정할 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다. ※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드 ※ 우선권 인정기간 : 특허-실용신안은 12개월, 상표-디자인은 6개월 이내 ※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권 주장승인 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자특허청거사(PTO/SB39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.</p> <p>6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 권리법정에 따라 처벌을 받을 수 있습니다. ※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000</p> <p>7. 기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.</p> </div>	<p style="text-align: right;">【서지사항】 2014-10-15</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">【서류명】</td> <td>특허출원서</td> </tr> <tr> <td>【출원구분】</td> <td>특허출원</td> </tr> <tr> <td>【출원인】</td> <td></td> </tr> <tr> <td>【명칭】</td> <td>비케이환경종합건설 주식회사</td> </tr> <tr> <td>【출원인코드】</td> <td>1-2005-027848-0</td> </tr> <tr> <td>【대리인】</td> <td></td> </tr> <tr> <td>【성명】</td> <td>최병용</td> </tr> <tr> <td>【대리인코드】</td> <td>9-2005-001210-7</td> </tr> <tr> <td>【포괄취임등록번호】</td> <td>2019-035101-3</td> </tr> <tr> <td>【발명의 국문명칭】</td> <td>원통형 수평 교반 발효조</td> </tr> <tr> <td>【발명의 영문명칭】</td> <td>A horizontal cylinder type agitating fermenter</td> </tr> <tr> <td>【발명자】</td> <td></td> </tr> <tr> <td>【성명】</td> <td>김원중</td> </tr> <tr> <td>【출원인코드】</td> <td>4-2000-038629-8</td> </tr> <tr> <td>【심사청구】</td> <td>청구</td> </tr> <tr> <td>【취지】</td> <td>위와 같이 특허청장에게 제출합니다.</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">대리인 최병용 (서명 또는 인)</td> </tr> <tr> <td>【수수료】</td> <td></td> </tr> <tr> <td>【출원료】</td> <td>0 원 48,000 원</td> </tr> <tr> <td>【가산출원료】</td> <td>21 원 0 원</td> </tr> </table> <p style="text-align: right;">22-1</p>	【서류명】	특허출원서	【출원구분】	특허출원	【출원인】		【명칭】	비케이환경종합건설 주식회사	【출원인코드】	1-2005-027848-0	【대리인】		【성명】	최병용	【대리인코드】	9-2005-001210-7	【포괄취임등록번호】	2019-035101-3	【발명의 국문명칭】	원통형 수평 교반 발효조	【발명의 영문명칭】	A horizontal cylinder type agitating fermenter	【발명자】		【성명】	김원중	【출원인코드】	4-2000-038629-8	【심사청구】	청구	【취지】	위와 같이 특허청장에게 제출합니다.		대리인 최병용 (서명 또는 인)	【수수료】		【출원료】	0 원 48,000 원	【가산출원료】	21 원 0 원
【서류명】	특허출원서																																								
【출원구분】	특허출원																																								
【출원인】																																									
【명칭】	비케이환경종합건설 주식회사																																								
【출원인코드】	1-2005-027848-0																																								
【대리인】																																									
【성명】	최병용																																								
【대리인코드】	9-2005-001210-7																																								
【포괄취임등록번호】	2019-035101-3																																								
【발명의 국문명칭】	원통형 수평 교반 발효조																																								
【발명의 영문명칭】	A horizontal cylinder type agitating fermenter																																								
【발명자】																																									
【성명】	김원중																																								
【출원인코드】	4-2000-038629-8																																								
【심사청구】	청구																																								
【취지】	위와 같이 특허청장에게 제출합니다.																																								
	대리인 최병용 (서명 또는 인)																																								
【수수료】																																									
【출원료】	0 원 48,000 원																																								
【가산출원료】	21 원 0 원																																								

특허 등록

특허증
CERTIFICATE OF PATENT



특허 제 10-1553295 호
Patent Number

출원번호 제 10-2015-0050632 호
Application Number

출원일 2015년 04월 10일
Filing Date

등록일 2015년 09월 09일
Registration Date

발명의 명칭 Title of the Invention
원통형 교반 발효기

특허권자 Patentee
김원중
전라북도 익산시 하나로13길 26

발명자 Inventor
김원중
전라북도 익산시 하나로13길 26

위의 발명은 「특허법」에 따라 특허등록원부에 등록되었음을 증명합니다.
This is to certify that, in accordance with the Patent Act, a patent for the invention has been registered at the Korean Intellectual Property Office.

2015년 09월 09일

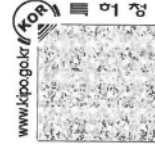


특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

최 동 규

특허 등록 (권리이전등록)

발급번호 : 5-5-2016-087324430



특허등록원부

특 허 번 호 제 1553295 호

[권 리 란]

표시번호	등 록 사 항			
1번	출원연월일	2015년 04월 10일	출원번호	2015-0050632
	공고연월일	2015년 09월 15일	공고번호	-
	특허결정(심결)연월일	2015년 09월 07일	청구범위의 항수	2
	분류기호	C05F 17/02		
	발명의 명칭	원통형 교반 발효기		
	존속기간(예정)만료일	2035년 04월 10일		
	2015년 09월 09일 등록			

[특허료란]

제 01 - 03 년분 (2015.09.09 ~ 2018.09.09) 금액 36,900 원(개인강면) 2015년 09월 09일 납입

[특허권자란]

순위번호	등 록 사 항	
(최종권리자) 비케이환경종합건설 주식회사 경기도 화성시 향남읍 서봉로 651-5		
1번	(등록권리자) 김원중 전라북도 익산시 하나로13길 26	2015년 09월 09일 등록
2번	(권리의 전부이전등록) 접수 연월일 : 2016년 12월 09일 접수 번호 : 2016-0755212 등록 의무자 : 김원중 전라북도 익산시 하나로13길 26 등록 권리자 : 비케이환경종합건설 주식회사 경기도 화성시 향남읍 서봉로 651-5 등록 원 인 : 양도 등록의 목적 : 권리의 전부이전등록	2016년 12월 09일 등록

이 등본(초본)은 등록원부와 틀림이 없음을 증명합니다.
(제 000274556 호)

2016년 12월 14일

특 허 청



- 제품제작 및 납품실적

제품제작

- *주문일자 : 2014. 04월
- *주 문 처 : 제주동부축산영농조합
- *주 문 명 : 원통수평형 고속발효기
- *주 문 량 : 발효기 × 2기(직렬식)
- *사용용도 : 돈분슬러지 및 폐사축
처리시설
- *설치장소 : 제주특별자치도 제주시
한림읍 금악리 198-76
- *설치일자 : 2014. 12월
- *가동실적 : 2014. 12월~2015. 현재
(10개월 가동중)



기계도급 표준계약서(변경)

발 주 자	★법인명칭: 제주동부축산영농조합법인 ★법인등록번호: ★주소: 제주특별자치도 제주시 구좌읍 상도로 224-22 ★전화번호: 064-762-3161-2 ★대표자: 김 수 남		
계 약 자	★법인명칭: BK환경종합건설(주) ★법인등록번호: ★주소: 경기도 수원시 장안구 송죽동 448-23, 2층 ★전화번호: 031-241-1775, 1774, 1765 팩스: 031-241-1766 ★대표자: 대표이사 김 원 중		
업 무	가축분뇨 우수 액비유동원터 인벤티프 지원사업		
단위사업내용	축산분뇨 발효건조기 및 교액분리기		
계 약 금 액	인건이역원정 (₩ 200,000,000)		
계 약 보 증 금	금 이역원정 (₩ 20,000,000) : 총 계약금액의 10%		
인 급 일			
내 지 제 상 금 을	1일 계약금의 1/1,000		
착 공 년 월 일	2014년 4월 1일		
용 준 공 년 월 일	2014년8월31일 -> 2014년12월31일		
기 타 사 항			
하자담보책임(복합공종의 경우 공종별 구분기재)			
공 종	공종별 계약금액	하자보증금(₩) 및 금액	하자담보책임기간
	계약금액	(2 % 금 4,000,000 원정	2년
		(1% 금 원정	
		(1% 금 원정	
		(1% 금 원정	

발주자와 계약자는 상호 대등한 자유의사 입장에서 불임의 계약문서에 의하여 위의 공사에 대한 계약을 체결하고 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 화약하며, 이 계약의 증거로서 계약당사자 및 임피관계자가 기명날인 한 후 각 1통씩 보관한다.

2014년 08월 30 일

발 주 자 : 제주동부축산영농조합법인 대표이사 김 수 남

계 약 자 : BK환경종합건설(주) 대표이사 김 원 중

납 품 확 인 서

공 급 자	성명(법인명)	BK환경종합건설(주)	사업자등록번호	
	사업장소재지	경기도 수원시 장안구 경조로 1106(송죽동2층)		

사 업 명	가속분뇨 우수 액비유통센터 인센티브 지원사업 축산분뇨 발효건조기 및 고액분리기
-------------	--

공급연월일	품 명	규 격	단 위	수 량	단 가	공급가액
2014.12.31	축산분뇨 발효건조기	Ø1.95m X 12.0m	SET	2	90,000,000원	180,000,000원
2014.12.31	축산분뇨 고액분리기	20㎡/HR	SET	1	20,000,000원	20,000,000원

2014 년 12월 31일

공 급 받 는 자	성명 (법인명)	제주동부축산영농조합법인
	사업자등록번호	
	사업장 소재지	제주특별자치도 제주시 구좌읍 상도로 224-22
	대표이사	김 수 남 (인)

영세율전자세금계산서				승인번호	20141229-10000000-00046652			
공 급 자	등록 번호		중사업장 번호		등록 번호		중사업장 번호	
	상호 (법인명)	BK환경종합건설 (주)	성명	김원중	상호 (법인명)	제주동부축산 영농조합법 인	성명	김수남
	사업장 주소	경기도 수원시 장안구 정조로 1106 (송죽동,2층)			사업장 주소	제주도 제주시 구좌읍 삼도로 224-22		
	업태	건설업	종목	건축공사	업태	축산	종목	양돈
	이메일	baekko@chol.com			이메일	dongbupig@hanmail.net		
작성일자	공급가액	세액	수정사유		비고			
2014-12-29	200,000,000	0	해당없음					
월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
12	29	축산분뇨 고액분리기, 축산분뇨 발효 건조기 납품				200,000,000	0	
합계금액		현금	수표	어음	외상미수금	이 금액을 (청구) 함		
200,000,000								



본 인쇄물은 국세청 홈택스(www.hometax.go.kr)에서 발급 또는 전송 업력된 전자(세금)계산서입니다.
발급시일 확인은 상기 홈택스의 "조회/발급>전자세금계산서>제 3차 발급시일 조회"를 이용하시기 바랍니다.

3절. 3차 년도 연구개발 내용

1. 공정 운영 최적화

가. 우드칩 재사용을 위한 선별시스템 설치

- 수분조절제로 사용되는 우드칩을 재사용하기 위하여 원통 수평형 발효기 후단에 선별 시설을 설치 함
- 일정 크기의 (15mm) 타공망 선별 장치를 설치하여 생산된 퇴비에 포함된 우드칩 및 덩어리 퇴비를 우선적으로 선별하여, 투입 원료에 혼합시켜 투입함으로써 퇴비의 발효 효율을 증가 및 수분조절제의 사용량을 감소.



<선별시스템 전경>



<선별된 물질(우드칩, 덩어리 퇴비)>



<생산퇴비>



<타공망>

<그림-20> 우드칩 재사용을 위한 선별시스템

나. 우드칩 투입을 위한 스크류컨베어 교체



스크류컨베어



무축 스크류컨베어

<그림-21> 우드칩 투입을 위한 스크류 컨베어 교체

- 기존 수분조절제의 양을 줄이고, 원료의 공극률을 높임으로써 발효 진행을 빠르게 하기 위하여 톱밥의 우드칩을 일정 양 혼합하여 투입 실시.
- 하지만, 우드칩의 경우 크기가 일정하지 않아 스크류컨베어와 투입 호퍼 사이에 끼임 현상이 발생하여 스크류컨베어에 과부하를 초래함.
- 이를 효과적으로 해결하고자 기존 스크류컨베어를 무축 스크류컨베어로 교체함으로써 우드칩의 원활한 투입이 가능해짐.

다. 투입 원료 함수율 검토

- 무축 스크류컨베어 교체 후 투입 원료의 함수율에 따라 원료가 원활하게 이송되지 않는 현상이 발생하여, 원활한 투입이 가능한 함수율을 찾고자 아래와 같은 연구 실시.
- <표-1>에 의하면, 고액분리고형분과 수분조절제를 혼합하여 함수율을 조정할 경우, 혼합 원료의 함수율은 65 ~ 68%일 때, 대상 원료 투입에 따른 이송관로의 막힘 현상이 없는 것으로 나타남.
- 따라서, 원통 수평형 발효기의 내부로 투입되는 원료의 함수율은 65 ~ 68%로 조절하여 원통 수평형 발효기 최적화 연구 실시.

<표-1> 투입원료 함수율에 따른 이송관로 막힘 현상 결과

구 분	함수율	이송관로 관막힘
단일 원료 (고액분리고형분)	78%	○
혼합 원료 (고액분리고형분+수분조절제)	75%	○
	70%	○
	69%	△
	68%	X
	65%	X
	60%	X

* 이송관로 : 투입호퍼로부터 원통 수평형 발효기 내부 투입까지 원료를 이송시키는 장치의 흐름

** 수분조절제 : 톱밥, 우드펠릿 등

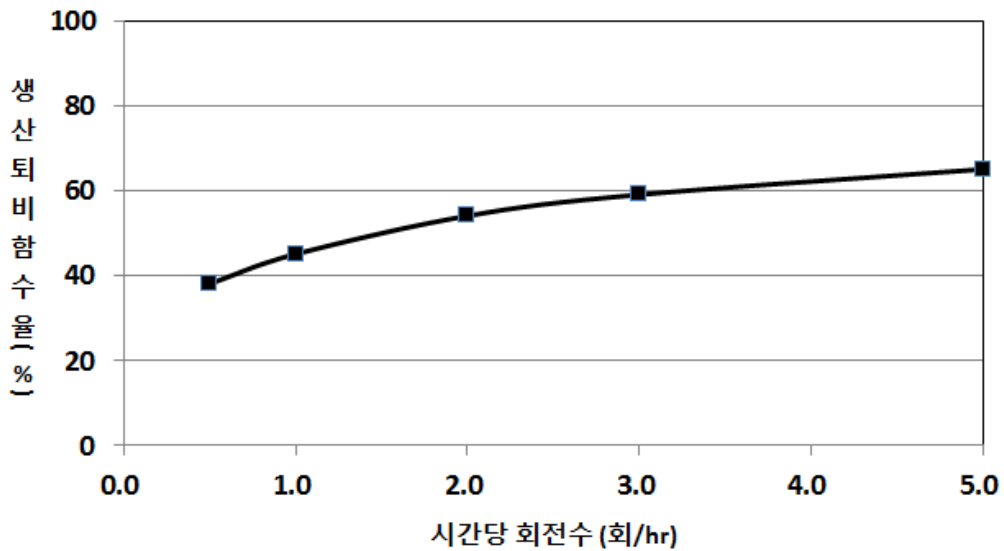
*** ○ : 항상 막힘, △ : 투입 가능하지만 빈번한 막힘, X : 막힘 현상 없음

라. 원통 수평형 발효기 회전수 검토

- 원통 수평형 발효기의 회전은 기존 퇴비화 공정(1단계 통풍식 발효, 2단계 기계식 발효, 3단계 후숙발효)에서 교반과 뒤집기의 의미를 내포하고 있기 때문에 퇴비의 최종생산량과 퇴비 품질의 관계에서 밀접한 관련이 있으며, 최종적으로 생산되는 퇴비의 품질을 현장에서 손쉽게 가늠할 수 있는 방법은 수분 측정 장치를 활용한 퇴비의 함수율 검토.
- 퇴비의 함수율은 비료 공정규격상 55% 이하로 되어 있으나, 실제 토양에 살포할 때는 45%~50%에서 고품질의 퇴비로써 사용이 적합하며, 이는 생산된 퇴비의 품질은 물론 저장과 운송 등까지 고려하였을 때, 퇴비 함수율이 45~50%보다 낮은 경우 토양에 흡착

되어 유지되는 시간이 짧고, 높은 경우 퇴비 입자들 간의 결속으로 토양에 균일한 살포가 어렵기 때문임.

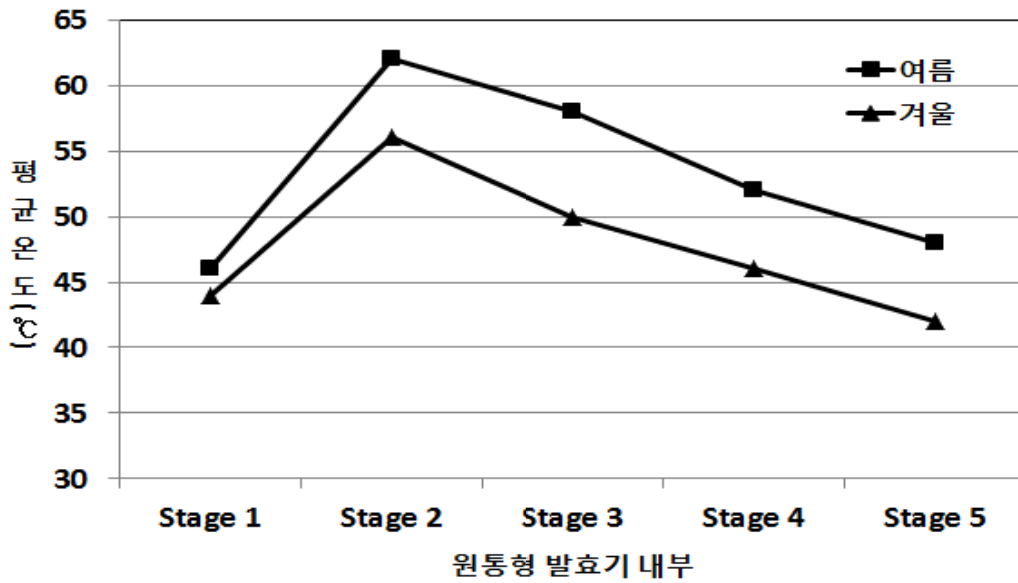
- 원통 수평형 발효기 본체의 시간당 회전수에 따른 최종 생산퇴비의 함수율은 다음과 같음. <그림-6>에 의하면, 생산퇴비의 함수율은 원통 수평형 발효기 본체의 시간당 회전수가 0.5일 때 38%에서 5일 때 65%로 시간당 회전수가 증가할수록 최종 생산퇴비의 함수율은 증가하는 것으로 나타나, 회전수가 많아지면 미부숙 상태에서 투입 원료가 퇴비로써 최종 배출될 가능성이 있는 것으로 판단됨. 이에 따라 고품질 퇴비로써 활용하기 위한 원통 수평형 발효기의 시간당 회전수는 생산퇴비의 함수율이 약 45%로 나타나는 1회/hr 때 가장 적절한 것으로 평가 됨.



<그림-22> 생산퇴비 함수율에 따른 원통 수평형 발효기 회전수 검토

마. 원통 수평형 발효기 내부 온도 검토

- 가축분뇨를 활용하여 고품질 퇴비를 생산하기 위한 원통 수평형 발효기 내부의 계절별 (여름과 겨울) 평균온도는 <그림-7>에 나타내었다. 원통 수평형 발효기의 내부를 5단계로 구분하여 Stage 1부터 Stage 5까지 온도를 살펴보면, 온도가 높은 여름철의 경우에는 Stage 1의 46℃에서 Stage 2의 62℃로 증가한 후 Stage 5의 48℃까지 점차 감소하는 것으로 나타났다. 온도가 낮은 겨울철은 내부 간 단계별 온도의 변화 폭은 여름철과 비슷하였지만 각 단계별로 4~8℃ 정도 차이가 발생 함.
- 외부의 온도 변화에 따른 내부 온도 변화를 최소화하고자, 원통 수평형 발효기 내부는 24시간 공기 송풍을 하였으며, 온도가 낮은 겨울철은 내부 온도에 따라 간헐적인 송풍으로 탄력적인 운영함을 물론, 리사이클링 퇴비 양을 늘리고, 외부 온도 유입을 줄여 내부 온도 손실을 최소화함으로써 발효기 내부 온도를 일정하게 유지 함.



<그림-23> 계절별 원통 수평형 발효기 내부 평균 온도

바. 원통 수평형 발효기 체류일수 검토

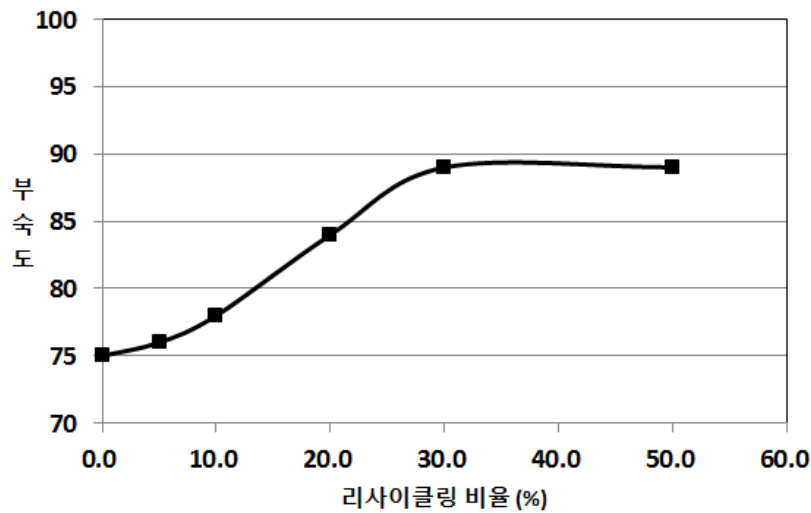
- 원통 수평형 발효기에 투입된 원료는 내부에서 회전에 따른 교반으로 일정기간 체류한 후 배출되는데, 원료가 원통 수평형 발효기 내부에서 체류하는 시간에 따른 생산되는 퇴비의 부숙도는 <표-2>에 나타냄. 원통 수평형 발효기에서 체류시간이 짧은 경우, 퇴비의 생산은 높아지나 부숙도는 현저히 낮아지고, 체류시간이 길어질 경우 퇴비의 생산은 다소 낮아지지만 부숙도는 증가.
- 따라서, 원통 수평형 발효기 내 원료의 체류 일수는 함수율, 부숙도, 퇴비 생산량 등과 같은 운전인자들을 고려하였을 때, 수분조절제의 종류에 따라 약 12일 정도의 체류시간으로 운영하게 됨.
- 하지만 생산퇴비의 약 30%를 리사이클링 시키면 10일 이내의 체류시간에도 비료공정규격에 적합한 고품질의 퇴비가 생산되므로, 현장 상황에 따라 탄력적으로 운영하는 것이 적절한 것으로 평가 됨.

<표-2> 고품질 퇴비 생산을 위한 원료의 발효조 내 체류일수 검토

체류기간 (일)	함수율 (%)	부숙도	퇴비 생산율 (%)
5	63	70 미만	140
10	45	75	100
15	43	86	75
20	42	89	50

사. 원통 수평형 발효기 리사이클링 비율 검토

- 원통 수평형 발효조를 통해 생산된 퇴비의 리사이클링은 수분조절 및 미생물 Seed 효과가 발생하여, 원료의 발효가 빨라져 고품질 퇴비를 안정적으로 빠르게 생산한다는 측면에서 매우 중요한 운영 인자 임.
- 투입원료(고액분리고형분, 수분조절제, 리사이클링퇴비)의 함수율 65%, 원통 수평형 발효조 시간당 1회전, 발효조 내 체류시간 10일 일 때, 생산 퇴비의 리사이클링 비율을 변화시켜 부숙도를 검토한 결과는 <그림-8>에 나타내었음.
- <그림-8>에 의하면, 생산퇴비의 부숙도는 리사이클링 비율 0%의 75에서 리사이클링 비율 30%의 89까지 증가하고 이후에는 일정하게 나타남.
- 따라서, 원통 수평형 발효기 내 생산퇴비의 리사이클링은 내부의 반응조건을 일정하게 유지하여 고품질 퇴비의 안정적인 생산 측면에서 필요하며, 생산퇴비의 발효조 내 리사이클링 비율은 30%가 적정한 것으로 평가 됨.



<그림-24> 생산 퇴비의 리사이클링 비율에 따른 부숙도 검토

2. 조건이 다른 원료 및 수분조절제 종류에 따른 최적화 도출

- 원통 수평형 고속발효기 투입 조건 변화에 따른 실증실험을 위하여 <표-3>과 같은 조건을 설정.
- 총 9가지의 실험 중 중요하다고 판단되는 실험에서는 시료채취 후 정상대에 중금속 함유율, C/N비 등을 의뢰하였으며, 부산 가톨릭대에는 실험 시작과 종료 시점에 각 부분별 약취 분석 및 복합약취처리시스템 설치 전·후 현장 분석을 진행.
- 또한, 정확한 인증을 위해 농협중앙회 축산연구원에 생산퇴비 분석을 의뢰하여, 퇴비 공정규격 분석을 실시함으로써, 생산퇴비에 상품화에 대한 신뢰도를 높임.

<표-3> 원통수평형 고속발효기 실증실험 조건

구분	실험 조건	가동 조건	분석조건
01	고액분리고형분+톱밥	<ul style="list-style-type: none"> ● 회전수 : 1회/hr ● 탈취휠 : 24hr ● 체류기간 : 10일 	<ul style="list-style-type: none"> ● 각 점검구 별 온도 및 함유율 중금속 함유량 C/N비 ● 주요지점별 약취 분석 ● 공정분석의뢰
02	고액분리고형분+폐사축+톱밥		
03	고액분리고형분+폐사축+톱밥+리사이클링 퇴비		
04	고액분리고형분+톱밥+우드칩		
05	고액분리고형분+폐사축+톱밥+우드칩		
06	고액분리고형분+폐사축+톱밥+리사이클링 퇴비+우드칩		
07	고액분리고형분+우드펠렛		
08	고액분리고형분+폐사축+우드펠렛		
09	고액분리고형분+폐사축+우드펠렛+리사이클링 퇴비		

<표-4> 투입시료 종류별 함유율

구분	고액분리 고형분	폐사축	톱밥	우드칩	우드펠렛	리사이클링 퇴비
평균 함유율(%)	78.0	85.0	25.0	14.0	6.0	45.0



<그림-25> 실증실험 전체 공정도

가. 고액분리고형분(80%)+톱밥(20%) 투입 실험

- 투입 원료의 함수율을 65%±2로 조절하기 위해 고액분리고형분 약 1.6m³에 수분조절제 (톱밥)를 약 0.4m³를 혼합 후 투입 원료의 함수율을 조절하여 실험을 실시.
- 그 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 3단계 퇴비화 과정에서 높게 나타났으며, 67.36%로 투입된 혼합시료는 54.34%의 함수율로 퇴비가 생산됨.
- 비료공정규격인 수분함량 55%이하에 만족하지만, 체류일수가 10일 경우 미부숙 상태의 퇴비가 생산됨.
- 퇴비화중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.22ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.

<표-5> 고액분리고형분+톱밥 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(°C)	-	47.0	55.4	53.8	50.9	45.6	-
함수율(%)	67.36	65.01	62.12	61.26	59.12	57.78	54.34
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	5,000
NH ₃ (ppm)	-	-	-	4.92	-	-	0.22
H ₂ S(ppm)	-	-	-	0.01	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

나. 고액분리고형분(60%)+폐사축(10%)+톱밥(30%) 투입 실험

- 투입 원료로 사용된 고액분리고형분의 함수율은 약 78%, 폐사축의 함수율은 85%로 두 가지 시료가 혼합된 원료의 함수율을 65%±2로 조절하기 위해 혼합원료(고액분리고형분 8 : 폐사축 2) 약 1.4m³에 수분조절제(톱밥)를 약 0.6m³를 혼합하여 투입 원료의 함수율을 조절 후 실험을 실시.

- 그 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 58.4℃ 가장 높게 나타났다. 또한, 67.44%로 투입된 혼합시료는 55.02%의 함수율로 퇴비가 생산됨. 이는 비료공정규격 기준 보다 0.12%보다 높은 수치이며, 체류기간이 10일 경우 미부숙 상태로 퇴비가 생산.
- 퇴비화 중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.38ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출되었다. 함수율이 높은 폐사축을 투입함으로써 반응기 내부에서 발생하는 CO₂양도 8,000ppm으로 증가.

<표-6> 고액분리고형분+폐사축+톱밥 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(°C)	-	46.5	58.4	54.2	50.3	46.5	-
함수율(%)	67.44	64.17	62.94	62.82	59.38	57.54	55.12
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	8,000
NH ₃ (ppm)	3.53	-	-	5.89	-	-	0.38
H ₂ S(ppm)	0.18	-	-	0.01	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

다. 고액분리고형분(50%)+폐사축(10%)+톱밥(10%)+리사이클링 퇴비(30%) 투입 실험

- 본 실험은 생산퇴비의 일부를 리사이클 함으로써 원통 수평형 발효기 내부의 부숙 효과를 증대시키고, 수분조절제로 사용되는 톱밥의 양을 줄임으로써 경제적인 효과를 알아보고자 함.
- 투입 원료는 이전 실험과 동일하며, 리사이클링 퇴비 30%가 추가되어 총 투입되는 혼합시료 양은 2.3m³을 투입, 각각의 혼합양은 고액분리고형분 1.2m³, 폐사축 0.2m³, 톱밥 0.6m³에 리사이클링 퇴비 0.3m³을 혼합하여 사용.
- 그 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 58.3℃ 가장 높게 나타남. 또한, 66.77%로 투입된 혼합시료는 공정 퇴비규격에 적합한 47.94%의 함수율로 퇴비가 생산되었으며, 체류시간 10일 후 생산 퇴비는 부숙된 상태로 배출.
- 퇴비화 중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.21ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.
- 생산퇴비의 일일 생산량 중 약 30%를 리사이클링 시킴으로써 퇴비의 부숙도 촉진 및 품질이 향상 됨.

<표-7> 고액분리고형분+폐사축+톱밥+리사이클링 퇴비 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(°C)	-	44.5	58.3	54.5	48.7	46.5	-
함수율(%)	66.77	64.05	61.78	61.23	57.95	53.46	47.94
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	8,000
NH ₃ (ppm)	-	-	-	5.57	-	-	0.21
H ₂ S(ppm)	-	-	-	0.01	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

라. 고액분리고형분(70%)+톱밥(20%)+우드칩(10%) 투입 실험

- 다양한 수분조절제의 성능을 알아보기로 톱밥에 우드칩을 일부 혼합하여 고액분리고형분과 혼합을 실시.
- 톱밥의 함수율 25.0%, 우드칩의 함수율은 14.0%로서 목표 함수율인 65%±2를 맞추기 위해 고액분리고형분 1.4m³에 톱밥 0.4m³, 우드칩 0.2m³를 혼합.
- 그 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 56.7℃ 가장 높게 나타남. 또한, 66.09%로 투입된 혼합시료는 53.37%의 함수율로 퇴비가 생산되었으며, 체류기간이 10일 경우 미부숙 상태로 퇴비가 생산됨.
- 퇴비화중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.06ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.
- 고액분리고형분의 점도 상태 및 수분조절제로 사용된 우드칩 크기가 상의하여 혼합원료 투입 시 스크류컨베어에 끼임 현상이 발생하여 과부하가 일어남에 따라, 원활한 혼합시료 투입을 위하여 기존 축이 있는 스크류 컨베어에서 축이 없는 무축 스크류컨베어로 교체하여 원료 투입을 실시 함.

<표-8> 고액분리고형분+톱밥+우드칩 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(℃)	-	44.3	56.7	52.5	48.3	44.2	-
함수율(%)	66.09	65.33	61.27	60.72	59.47	57.06	54.37
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	6,000
NH ₃ (ppm)	2.53	-	-	4.87	-	-	0.26
H ₂ S(ppm)	0.16	-	-	0.12	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

마. 고액분리고형분(50%)+폐사축(10%)+톱밥(30%)+우드칩(10%) 투입 실험

- 고액분리고형분과 폐사축을 8 : 2비율로 혼합 시 함수율은 약 80%이며, 투입원료 함수율 기준인 65%±2를 맞추기 위해 수분조절제의 양을 톱밥 0.6m³, 우드칩 0.2m³를 혼합하여 총 0.8m³ 혼합 하여 연구를 진행함.
- 그 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 58.5℃ 가장 높게 나타남. 또한, 67.37%로 투입된 혼합시료는 공정 퇴비규격에 부적합한 55.15%의 함수율로 퇴비가 생산되었으며, 부숙도 역시 미부숙 상태로 생산됨
- 퇴비화중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.25ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.

<표-9> 고액분리고형분+폐사축+톱밥+우드칩 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(℃)	-	44.5	58.5	56.7	50.5	46.8	-
함수율(%)	67.37	65.97	64.51	61.94	58.87	56.94	55.05
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	8,000
NH ₃ (ppm)	-	-	-	5.91	-	-	0.25
H ₂ S(ppm)	-	-	-	0.01	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

- 바. 고액분리고형분(50%)+폐사축(10%)+톱밥(6%)+우드칩(4%)+리사이클링 퇴비(30%) 투입 실험
- 전 단계 실험 조건에 생산된 퇴비를 일정량 리사이클링 시켜 원통 수평형 발효기 내부 변화를 테스트 함. 투입되는 원료의 양은 1.4m³이며, 수분조절제는 톱밥 0.4m³, 우드칩 0.2m³ 리사이클링 퇴비 0.3m³로 하여 투입 원료의 함수율을 65%±2%로 조정하여 투입 실시 (총 혼합시료 투입량은 2.3m³)
 - 실험 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 58.3℃ 가장 높게 나타났으며, 66.97%로 투입된 혼합시료는 54.12%의 함수율로 퇴비가 생산되었으나, 체류 시간 10일 경과 후 미부숙 상태로 퇴비가 생산됨.
 - 퇴비화 중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.24ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.
 - 생산퇴비에 포함된 덩어리 퇴비 및 수분조절제로 사용된 우드칩의 효과적인 리사이클링을 위해 장치 후단에 선별체(타공망 15mm)를 설치하여, 선별된 덩어리 퇴비 및 우드칩을 리사이클링하여 발효 효율을 극대화 함.

<표-10> 고액분리고형분+폐사축+톱밥+우드칩+리사이클링 퇴비 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(℃)	-	44.7	58.3	54.2	48.6	44.2	-
함수율(%)	66.97	63.77	63.59	61.93	59.45	56.97	54.12
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	8,000
NH ₃ (ppm)	-	-	-	6.02	-	-	0.24
H ₂ S(ppm)	-	-	-	0.01	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

사. 고액분리고형분(80%) + 우드펠렛 (20%) 투입 실험

- 다양한 수분조절제의 성능을 비교 하고자 기존 톱밥, 우드칩 외에 우드펠렛을 사용하여 기존 실험 방법과 동일하게 진행.
- 수분조절제로 사용된 우드펠렛의 경우 함수율이 6.7%로 측정됨.
- 투입원료인 고액분리고형분의 함수율을 조절하기 위하여 고액분리고형분 약 1.6m³에 우드펠렛을 약 0.4m³ 혼합하여 투입원료의 함수율을 65%±2%로 조절.
- 실험 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 55.5℃ 가장 높게 나타남. 또한, 66.44%로 투입된 혼합시료는 공정 퇴비규격에 적합한 49.94%의 함수율로 퇴비가 생산되었으나, 부숙정도는 체류시간 10일 기준으로 진행시 미부숙 상태로 퇴비가 생산됨.
- 퇴비화 중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.19ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.
- 우드펠렛의 경우 기존 수분 조절제에 비하여 낮은 함수율과 높은 수분 흡수 능력으로 적은 투입량으로 높은 수분조절 능력을 보여 주며, 기존 6번에 실험에 비하여 전반적으로 함수율이 낮게 측정 됨.

<표-11> 고액분리고형분+우드펠렛 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(°C)	-	43.6	55.5	51.5	46.3	43.0	-
함수율(%)	66.36	63.01	62.91	59.44	55.12	53.02	49.94
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	5,000
NH ₃ (ppm)	-	-	-	5.01	-	-	0.19
H ₂ S(ppm)	-	-	-	0.01	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

아. 고액분리고형분(70%)+폐사축(10%)+우드펠렛(20%) 투입 실험

- 고액분리고형분과 폐사축 혼합시료의 함수율이 약 80%임을 감안하여, 고액분리고형분 8 : 폐사축 2의 비율로 혼합시료 약 1.6m³에 우드펠렛을 약 0.4m³ 혼합하여 함수율을 65%±2로 조절.
- 그 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 54.4°C 가장 높게 나타남. 또한, 66.39%로 투입된 혼합시료는 공정 퇴비규격에 적합한 48.93%의 함수율로 퇴비가 생산되었으며, 체류 시간 10일 기준에서는 미부숙 상태로 퇴비가 생산되어 연구 과제 목표치에 부합하지 않음.
- 퇴비화 중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.19ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.
- 기존 실험에 비하여 전체적인 함수율이 증가하였으며, 각 단계별 평균 온도 역시 2 ~ 4°C 낮아졌는데, 이는 계절에 영향에 의한 것으로 판단됨.

<표-12> 고액분리고형분+폐사축+우드펠렛 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(°C)	-	44.0	54.4	52.3	47.1	44.4	-
함수율(%)	66.39	63.71	63.04	59.46	55.37	53.29	48.93
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	8,000
NH ₃ (ppm)	1.4	-	-	0.38	-	-	0.1
H ₂ S(ppm)	0.15	-	-	0.06	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

자. 고액분리고형분(50%)+폐사축(10%)+우드펠렛(10%)+리사이클링 퇴비(30%) 투입 실험

- 고액분리고형분과 폐사축 혼합시료 1.6m³에 우드펠렛 0.4m³에 리사이클링 퇴비 0.3m³ 혼합하여 실험을 실시.
- 그 결과 온도의 경우 퇴비화가 가장 활발한 2단계 퇴비화 과정에서 54.3°C 가장 높게 나타남. 또한, 66.12%로 투입된 혼합시료는 공정 퇴비규격에 적합한 46.29%의 함수율로 퇴비가 생산되었으며, 부숙도 역시 부숙완료 상태로 배출.
- 퇴비화 중 발생하는 NH₃, H₂S의 경우 각각 0.06ppm, 0.01ppm으로 배출기준치 이하로 배출.
- 우드펠렛을 수분조절제로 사용한 결과 전체적인 함수율 저감 및 부숙도 면에서도 비료 공정규격에 적합하게 퇴비화 되는 것을 알 수 있음.


<표-13> 고액분리고형분+폐사축+우드펠렛+리사이클링 퇴비 투입실험 결과

구분	투입	1번점검구	2번점검구	3번점검구	4번점검구	5번점검구	배출
온도(°C)	-	44.6	54.3	50.4	48.7	44.3	-
함수율(%)	66.12	62.77	61.08	60.14	57.88	54.32	46.29
CO ₂ (ppm)	-	-	-	-	-	-	8,000
NH ₃ (ppm)	1.1	-	-	0.06	-	-	0.1
H ₂ S(ppm)	0.12	-	-	0.01	-	-	0.01

NH₃(ppm)배출기준 : 1ppm이하, H₂S(ppm)배출기준 : 0.02ppm 이하

3. 생산퇴비 공인분석 결과

- 각 실험별 생산퇴비에 대한 비료 공정규격 분석을 의뢰한 결과, 고액분리고형분에 톱밥과 우드칩만을 혼합하여 투입한 실험의 경우 분석 항목 중 아연(Zn)이 1,207.71ppm으로 기준치인 900ppm 이하 보다 높게 측정 됨.
- 하지만 폐사축과 수분조절제로 우드펠렛을 사용할 경우 아연(Zn)의 농도는 727.91ppm으로 기준치 이하로 측정이 되어, 이는 폐사축과 우드펠렛이 원통 수평형 발효기 내부에서 중금속 농도를 희석시켜 배출 농도가 저감되는 효과가 있음을 알 수 있음.

비료검정 제 2016-비-431호					
비료검정증명서					
의뢰업체(지)명	BK환경종합건설㈜				
주소	(19589)경기 화성시 향남읍 서봉로 651-5				
비료의종류	드럼스크린 고품질 + 톱밥 + 우드칩				
시험항목	공정규격				
의뢰문서	분석의뢰서(2016.09.07.)	입수년월일	2016.09.09.		
[검정결과]					
검정항목	단위	공정규격기준	검정결과	비고	
유기물	%	30 이상	54.87	<질소값> : 1.90 %	
유기물대질소비	-	45 이하	28.88		
비소(As)	mg/Kg	45 이하	0.00		
카드뮴(Cd)	mg/Kg	5 이하	0.00		
수은(Hg)	mg/Kg	2 이하	0.04		
납(Pb)	mg/Kg	130 이하	6.22		
크롬(Cr)	mg/Kg	200 이하	13.15		
구리(Cu)	mg/Kg	360 이하	127.33		
니켈(Ni)	mg/Kg	45 이하	0		
아연(Zn)	mg/Kg	900 이하	1027.71		
염분	%	2.0 이하	0.50		
수분	%	55 이하	27.76		◎ 분석방법 : 비료품질검사법
부숙도	-	부숙한료 또는 70 이상	80.00		
대장균 O157	-	불검출	불검출	◎ 규격 : 농촌진흥청고시 제 2015-21호	
살모넬라	-	불검출	불검출		
염산불용재물	%	25 이하	8.49		
의뢰하신 시료에 대해 위와 같이 검정하였음을 증명합니다.					
2016년 09월 29일					
농협중앙회 축산연구원장 					
◆ 이 검사결과는 당소에 의뢰한 검체에 한하며, 의뢰목적 이외의 상업적인 광고 및 법적인 해결 수단으로 사용할 수 없습니다.					

비료검정 제 2016-비-0605호					
비료검정증명서					
의뢰업체(지)명	BK환경종합건설㈜				
주소	경기도 화성시 향남읍 서봉로 651-5				
비료의종류	드럼 스크린 고품질 + 폐사축 + 톱밥 + 펠렛				
시험항목	공정규격				
의뢰문서	분석의뢰서(2016.10.24.)	입수년월일	2016.10.26.		
[검정결과]					
검정항목	단위	공정규격기준	검정결과	비고	
유기물	%	30 이상	38.63	<질소값> : 1.18 %	
유기물대질소비	-	45 이하	32.74		
비소(As)	mg/Kg	45 이하	0.98		
카드뮴(Cd)	mg/Kg	5 이하	0.00		
수은(Hg)	mg/Kg	2 이하	0.02		
납(Pb)	mg/Kg	130 이하	4.19		
크롬(Cr)	mg/Kg	200 이하	9.80		
구리(Cu)	mg/Kg	360 이하	87.56		
니켈(Ni)	mg/Kg	45 이하	0		
아연(Zn)	mg/Kg	900 이하	727.91		
염분	%	2.0 이하	0.39		
수분	%	55 이하	45.77		◎ 분석방법 : 비료품질검사법
부숙도	-	부숙한료 또는 70 이상	부숙한료		
대장균 O157	-	불검출	불검출	◎ 규격 : 농촌진흥청고시 제 2015-21호	
살모넬라	-	불검출	불검출		
염산불용재물	%	25 이하	0.38		
의뢰하신 시료에 대해 위와 같이 검정하였음을 증명합니다.					
2016년 11월 14일					
농협중앙회 축산연구원장 					
◆ 이 검사결과는 당소에 의뢰한 검체에 한하며, 의뢰목적 이외의 상업적인 광고 및 법적인 해결 수단으로 사용할 수 없습니다.					

<그림-26> 생산퇴비 공인분석 결과

4. 악취 포집 시설 및 3단계(tray & Bio-Filter) 악취제어 SYSTEM 개발

- 복합악취처리시스템은 원통 수평형 발효기 내부 공기가 탈취웬을 통해 배출되면 그중 일부는 내부 순환을 시켜 발효기 내부 온도를 일정하게 유지 시키며, 나머지는 악취 처리하여 대기 중으로 배출하는 시스템.
- 총 3단계의 처리과정을 거치는데 원통 수평형 발효기 내부에서 공기를 탈취웬을 통하여 외부 배관으로 배출된 배기가스는 1차적으로 사이클론을 통해 가스 내 수분을 제거.
- 일정 수분이 제거된 공기는 일부 발효기 내부로 반송하고, 나머지는 복합악취처리시스템으로 유입시켜 2차 살수 및 바이오필터 처리, 3차 오존산화 처리를 대기 중으로 배출.



<그림-27> 복합악취처리 시스템

- 각 단계별 발생하는 악취물질의 변화 과정 및 복합악취시스템을 효율을 알아보기로자 KTL에 악취물질 공정분석을 의뢰하여 <그림-13>와 같은 결과를 도출.
- 복합악취 외 21종에 대한 분석된 결과는 대기환경보전법상 규정을 만족하였고, 암모니아의 농도는 약간 높은 것으로 측정 됨
- 높게 측정된 암모니아 농도 저감을 위하여 살수량을 늘려 현장 운영 실시




<그림-28> 복합악취처리시스템 현장 측정 장면


ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-1 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	투입구	단위	비고
복합양분		30	㎍/㎥	표치배수
암모니아		16.5		
아세트알데하이드		0.01		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.000		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.002		
황화수소		0.002		
에틸아세트산		0.006		
다이에틸알콜		0.005		
다이에틸알콜과이드		-0.000		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.004		
n-알레르산		0.000		
n-팔레르산		0.0006		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-2 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	내부공기 반응	단위	비고
복합양분		100	㎍/㎥	표치배수
암모니아		281.0		
아세트알데하이드		0.00		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.000		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.004		
황화수소		0.000		
에틸아세트산		0.001		
다이에틸알콜		0.026		
다이에틸알콜과이드		-0.001		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.005		
n-알레르산		0.004		
n-팔레르산		0.0009		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-3 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	1번 정공구	단위	비고
복합양분		300	㎍/㎥	표치배수
암모니아		339.5		
아세트알데하이드		0.02		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.002		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.023		
황화수소		0.023		
에틸아세트산		0.004		
다이에틸알콜		0.025		
다이에틸알콜과이드		-0.002		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.007		
n-알레르산		0.008		
n-팔레르산		0.0019		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-4 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	3번 정공구	단위	비고
복합양분		300	㎍/㎥	표치배수
암모니아		395.4		
아세트알데하이드		0.00		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.000		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.002		
황화수소		0.000		
에틸아세트산		0.006		
다이에틸알콜		0.005		
다이에틸알콜과이드		-0.000		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.009		
n-알레르산		0.001		
n-팔레르산		0.0015		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-5 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	5번 정공구	단위	비고
복합양분		300	㎍/㎥	표치배수
암모니아		454.9		
아세트알데하이드		0.00		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.000		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.001		
황화수소		0.000		
에틸아세트산		0.006		
다이에틸알콜		0.005		
다이에틸알콜과이드		-0.000		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.009		
n-알레르산		0.001		
n-팔레르산		0.0012		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-6 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	배출구	단위	비고
복합양분		300	㎍/㎥	표치배수
암모니아		360.4		
아세트알데하이드		0.00		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.007		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.002		
황화수소		0.000		
에틸아세트산		0.000		
다이에틸알콜		0.021		
다이에틸알콜과이드		-0.002		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.004		
n-알레르산		0.000		
n-팔레르산		0.0009		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-7 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	배출악취가스형 투입구	단위	비고
복합양분		100	㎍/㎥	표치배수
암모니아		304.5		
아세트알데하이드		0.01		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.000		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.001		
황화수소		0.000		
에틸아세트산		0.006		
다이에틸알콜		0.000		
다이에틸알콜과이드		-0.000		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.006		
n-알레르산		0.001		
n-팔레르산		0.0009		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

ktl 한국산업기술시험원 Korea Techno Laboratory		장기기 번호 : 16-093264-01-8 Report No.	페이지 (2 보 중 2) Page of Pages	ktl
시험 결과 (Test Results)				
항 목	재위위치	배출악취가스형 배출구	단위	비고
복합양분		100	㎍/㎥	표치배수
암모니아		281.0		
아세트알데하이드		0.00		
프로판알데하이드		0.00		
부티르알데하이드		0.000		
n-팔레르알데하이드		0.000		
n-알레르알데하이드		0.000		
트라이에틸아민		0.001		
황화수소		0.000		
에틸아세트산		0.001		
다이에틸알콜		0.000		
다이에틸알콜과이드		-0.000		
물유연		0		
가열량		0		
스타이렌		30		
에틸에틸케톤		0		
n-부티르알콜		0		
에틸아세트산과이드		0		
부티르알데하이드		0		
프로판알		0.000		
n-부티르산		0.000		
n-알레르산		0.000		
n-팔레르산		0.0009		
* 측정일자 : 2016.12.05. * 측정장소 : 경기도 용인시 처인구 백암동 축산역 212-1 원동 수당정 발포기 				

<그림-29> 공정 내 악취 공인 분석

5. 원통 수평형 고속발효기의 현장 적용성 평가

가. 수분조절제 적용성 및 경제성 검토

- 본 주관기관에서는 현장 실험을 통해 원통수평형 발효기를 활용하여 가축분뇨의 고속 퇴비화 방안에 대하여 검토하였으며, 가축분뇨의 고속퇴비화를 위해 밀접한 연관성을 갖는 수분 조절제의 현장에 대한 적용성과 경제성을 평가하고자 함.
- <표-14>와 <표-15>에 의하면, 본 연구에서 활용된 원료의 평균 함수율은 고액분리고형분 78.0%, 폐사축 85.0%, 고액분리고형분+폐사축 79.0%로 측정됨.
- 수분 조절제는 톱밥 25.0%, 우드펠렛 6.7%, 톱밥+우드칩 21.7%로 나타남.
- 수분조절제의 평균 가격은 톱밥 220원/kg, 우드펠렛 330원/kg, 톱밥+우드칩 199원/kg로 톱밥+우드칩, 톱밥, 우드펠렛의 순으로 단가가 높음.
- 현장에서 원료에 따른 수분 조절제의 소요량을 검토한 결과는 <표-16>에 나타냄. 투입 함수율 65%를 유지하기 위한 수분 조절제 소요량은 고액분리고형분, 폐사축 및 고액분리고형분+폐사축 투입량 1톤에 대하여 각각 톱밥은 325.0kg, 500.0kg, 351.3kg을 투입하며, 톱밥+우드칩의 경우 각각 300.2kg, 461.9kg, 324.5kg을 투입함. 또한, 우드펠렛은 각각 223.0kg, 343.1kg, 241kg을 투입하는 것으로 나타남. 고액분리고형분 보다 함수율인 높은 폐사축에서 수분조절제의 양이 높고, 우드펠렛<톱밥+우드칩<톱밥 순으로 투입원료에 관계없이 더 많이 소요되는 것으로 평가됨.
- 투입원료에 따른 수분조절제 소요비용은 <표-16>에 나타냄.
- 수분조절제의 소요비용에서 우드펠렛은 사용량이 적음에도 단가가 높아 소요비용이 톱밥 및 톱밥+우드칩에 비해 높음.
- 하지만, 우드펠렛은 톱밥, 톱밥+우드칩에 비하여 저장 보관이 용이하며, 낮은 함수율에 의하여 적은 양으로도 큰 수분조절 효과를 보임.
- 장기적으로 현장에서 운송, 저장 및 취급 등의 용이성과 경제성을 고려한다면 우드펠렛의 적용이 바람직하다고 판단됨.

<표-14> 투입 원료 평균 함수율

구분	함수율 (%)
고액분리고형분	78.0
폐사축	85.0
고액분리고형분+폐사축	79.0

<표-15> 현장에서 사용된 수분조절제

구분	함수율 (%)	비중	가격 (원/kg)
톱밥	25.0	0.30	220
우드펠렛	6.7	0.60	330
톱밥+우드칩	21.7	0.38	199

<표-16> 수분조절제 소요량

구분	톱밥 (kg)	우드펠릿 (kg)	톱밥+우드칩 (kg)
고액분리고형분	325.0	223.0	300.2
폐사축	500.0	343.1	461.9
고액분리고형분+폐사축	351.3	241.0	324.5

* 투입목표 함수율 : 65%, 고액분리고형분 1,000kg, 폐사축 1,000kg 기준

<표-17> 수분조절제 소요비용

구분	톱밥 (원)	우드펠릿 (원)	우드칩 (원)
고액분리고형분	71,500	73,585	59,746
폐사축	110,000	113,208	91,917
고액분리고형분+폐사축	77,275	79,528	64,572

* 투입목표 함수율 : 65%, 고액분리고형분 1,000kg, 폐사축 1,000kg 기준

나. 시설 경제성 검토

- 원통수평형 발효기의 현장 적용을 위하여, 기존 퇴비화 설비와 경제성을 비교 검토함.
- 시설비 설치비에 대한 가격을 비교한 결과, 원통수평형 발효기는 290,000,000원, 수직형 고속 발효기 300,000,000원, 기계식 교반기 450,000,000원으로 원통수평형 발효기가 가장 적은 시설 투자비용이 발생함.

<표-18> 시설투자비용 비교

구분		원통수평형 발효기	수직형 고속 발효기	기계 교반식
시 설 비	기계설비	130,000,000원 × 2대	120,000,000원 × 2대	100,000,000원 × 1대
	악취방지시설	20,000,000원	50,000,000원	100,000,000원
	송풍시설	-	-	50,000,000원
	비가림시설	10,000,000원	10,000,000원	-
	건축물 설치비용	-	-	200,000,000원 (109평)
합계		290,000,000원	300,000,000원	450,000,000원

- 시설 운영 시 발생하는 인건비는 원통수평형 발효기의 경우, 원료 투입 및 수분조절제 투입이 스크류컨베어를 통하여 진행되며, 투입량 역시 조절이 가능한 자동화 시스템.
- 반면, 수직형 고속 발효기 및 기계 교반기의 경우 현장에서 인부가 스키로더를 통하여 원료와 수분조절제를 혼합하여, 투입하는 형태로 별도의 기술적 인건비가 발생됨.

<표-19> 시설 운영 비교

구분		원통수평형 발효기	수직형 고속 발효기	기계 교반식
인 건 비	원료 투입	자동	수분조절제와 혼합 후 스키로더로 투입 실시	수분조절제와 혼합 후 스키로더로 투입 실시
	수분조절제 투입	자동		

- 시설 설치 후 운영 관리비에 대한 비교 검토 결과, 원통수평형 발효기의 경우 연구를 통해 수분조절제 효율이 가장 좋고, 단가가 높은 우드펠릿(kg당 330원)을 사용함에도, 시설운영에 필요한 전력비가 낮아 시설운영비는 105,143,280원으로 나타남.
- 반면, 수직형 고속 발효기의 경우 수분조절제 사용에서 저렴한 톱밥(kg당 220원)을 사용하였지만, 소비 전력 면에서 원통수평형 발효기 보다 높아 시설 운영비가 106,679,100원으로 나타남.
- 기계식 교반기의 경우 사용 전력비는 3가지 시설 중 2번째로 나타났으나, 수분조절제의 양이 1일 3톤으로 다른 시설에 비하여 월등히 높음. 결과적으로 시설 운영비가 비교 기술 중 가장 높은 204,994,498원으로 검토됨.

<표-20> 시설관리비 비교

구분		원통수평 발효기	수직형 고속 발효기	기계 교반기
전 력 비	기계설비	7.5kW × 2대 = 15kW	10kW × 2대 = 20kW	42kW
	악취설비	5kW	5kW	-
	송풍설비	-	-	7.5kW
	가동시간	24시간	24시간	기계(8시간)/송풍(24시간)
	전력사용량	480kW/일	600kW/일	516kW/일
	사용전력비용	6,143,280원	7,679,100원	6,999,498원
수 분 조 절 제	사용량(kg/일)	우드펠릿 1,000kg × 330원	톱밥 1,500kg × 220원	톱밥 3,000kg × 220원
	사용일수(연간)	300일	300일	300일
	비용	99,000,000원	99,000,000원	198,000,000원
시설운영비용		105,143,280원	106,679,100원	204,999,498원

- 경제성 검토 결과 원통수평형 발효기, 수직형 고속 발효기, 기계식 교반기 3가지 기술 중 원통수평형 발효기가 시설 투자 비용, 인건비, 시설 운영비 모든 면에서 기존 시설에 비하여 우수하다고 판단됨.

6. 원통 수평형 고속발효기의 실증화 구축 방안 검토

- 원통 수평형 고속발효기의 실증실험은 <표-18>에 나타난 바와 같이 총 9 종류로 실시.
- 실험 1부터 8까지 투입 원료, 수분조절제(톱밥, 우드칩), 리사이클링 퇴비로 혼합하여 발효시킨 결과는 본 연구의 목표인 퇴비화 일수 10일 이내를 만족하지 못하는 것으로 나타났다으며, 공극 개선을 위해 사용한 우드칩은 실험 조건 4~6의 결과에서 효과가 미미한 것으로 평가됨.
- 톱밥과 우드칩을 대신하여 우드펠릿을 활용한 실험 조건 7~9의 결과는 투입원료와 우드펠릿(수분조절제)만으로 혼합한 경우(실험 7 및 실험 8)는 연구목표를 달성하지 못했지만 리사이클링 퇴비를 같이 혼합하여 발효시킨 경우(실험 9)에는 평균 부숙 기간이 9일로써 고속 퇴비화가 가능한 것으로 나타남.
- 이에 따라, 가축분뇨를 원통 수평형 발효기로 고속 퇴비화 하기 위한 최적의 현장 운전 조건은 원통 수평형 발효기 **회전수 1회/hr, 원료의 발효조 체류기간 10일, 퇴비 리사이클링 비율 30%, 최종 퇴비 함수율 45%** 이었고, 수분조절제는 **우드펠릿이 효과가 우수**한 것으로 평가됨.

<표-21> 원통수평형 고속발효기 실증 실험 결과

구분	실증 실험 세부 내용	부숙기간 (평균, 일)	최적 운영조건
01	고액분리고형분+톱밥	12	<ul style="list-style-type: none"> ● 발효조 회전수 : 1회/hr ● 공기송풍시간 : 24hr ● 발효조 체류기간 : 10일 ● 퇴비 리사이클링 비율 : 30% ● 최종 퇴비 함수율 : 45% ● 수분조절제 : 우드펠릿
02	고액분리고형분+폐사축+톱밥	11	
03	고액분리고형분+폐사축+톱밥+리사이클링 퇴비	11	
04	고액분리고형분+톱밥+우드칩	13	
05	고액분리고형분+폐사축+톱밥+우드칩	12	
06	고액분리고형분+폐사축+톱밥+리사이클링 퇴비+우드칩	12	
07	고액분리고형분+우드펠릿	12	
08	고액분리고형분+폐사축+우드펠릿	11	
09	고액분리고형분+폐사축+우드펠릿+리사이클링 퇴비	9	

7. 연구개발 요약 (주관기관 : 비케이환경종합건설(주))

- 자연 공기 접촉만으로 원통 수평형 발효기 내부 온도를 평균 50℃ 이상 일정하게 유지하고, 우수한 수분조절제인 우드펠렛 사용 및 생산폐비의 리사이클링으로 발효 효율을 극대화하여, 비료공정규격에 적합한 퇴비를 10일 이내에 생산
- 개별농가에서 발생하는 가축분뇨를 별도의 퇴비화 공정 이송처리가 필요가 없고, 저비용 시설로 가축분뇨의 10일이내의 고속발효와 양질의 퇴비를 생산하여 무발효, 무단살포에 대한 악취문제 해결할 수 있음.
- 농가에 보급된 폐사축 처리기는 배치 형식으로, 처리작업이 일일 2~3회 운전되는데 매립 혹은 야적이 다수이므로 부패가 일어나 악취에 대한 문제가 발생하여 민원이 빈번하게 야기되어 이종고를 겪고 있음. 이에 농가에서 문제가 되고 있는 폐사축 처리에 대하여 본 시설은 10일 이내 유기물을 100%로 분해함으로써 위탁 처리비용을 절감하고, 폐사축 무단매립에 의한 침출수 오염과 주변 악취 문제를 해결할 수 있음.
- 본 시설은 폐사축의 무단 매립으로 인해 전염성 병원균(구제역, 조류독감 등) 이동감염을 억제할 수 있고, 폐사축과 고액분리고형분을 발생 즉시 밀폐형 발효기에서 처리하므로 악취 발생을 최소화한 물론 수분조절 목적인 톱밥과 공극개선을 위한 우드칩을 대신하여 우드펠렛과 최종 생산 퇴비의 리사이클링 통해 발효가 우수한 고품질의 퇴비를 생산할 수 있음.
- 본 연구에서 개발된 원통 수평형 발효기는 이동이 쉽고, 조작이 간편하며, 적은 유지비로 인하여 개별농가에 조속히 보급화한다면 농·축산 전반에 걸쳐 생산 비용 절감에 크게 기여할 것으로 판단됨.
- 총 연구기간(2014. 12~2016. 12, 3차년)동안 본 연구시설에 대한 기성품으로 제작과 품질 보증이 가능하도록 하였으며, 이는 R&D를 통한 국가 기술력을 확보로 국내 판매뿐만 아니라 향후 추가 개발을 통해 해외(중국과 동남아(말레이시아) 등) 수출이 가능할 것으로 판단됨.
- 현행법에 따르면 일반 폐사축의 경우 폐기물로 분류돼 폐기물관리법의 적용을 받고 있어, 일반 폐사축은 소각과 매몰 처리만 가능하여 농가의 어려움이 따르고 있음. 이에 본 연구는 경제성 및 효율성이 우수한 폐사축 처리방법 적용에 관한 법적인 보완 및 정부의 관련 예산 편성에 참고 자료로 활용될 것으로 판단됨.

제 3 장. 연구수행 내용 및 결과 (협동기관 : 경상대학교)

코드번호	D-05
------	------

1절. 1차 년도 연구수행 내용

1. 발효 공정 시 수분조절제로 사용되는 톱밥, 왕겨 대체제 선정

가. 과거 국내 수출·입되는 톱밥, 왕겨 현황 DB 구축

- 2009년 수출 · 입량은 <표-1~3>과 같음. (※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr))
- 2009년 1월 곡물의 껍질 수출 17,911,400원, 7월 톱밥 30,817,920원을 제외한 수출은 없음.
- 반면 수입의 경우 톱밥-목재펠릿 2,399,315,000원, 톱밥 4,967,351,000원, 곡물의 껍질 2,011,680,000원으로 수입이 대부분을 차지함.

<표-1> 2009년 톱밥 - 목재 펠릿 수출입 금액 및 수출입 증량

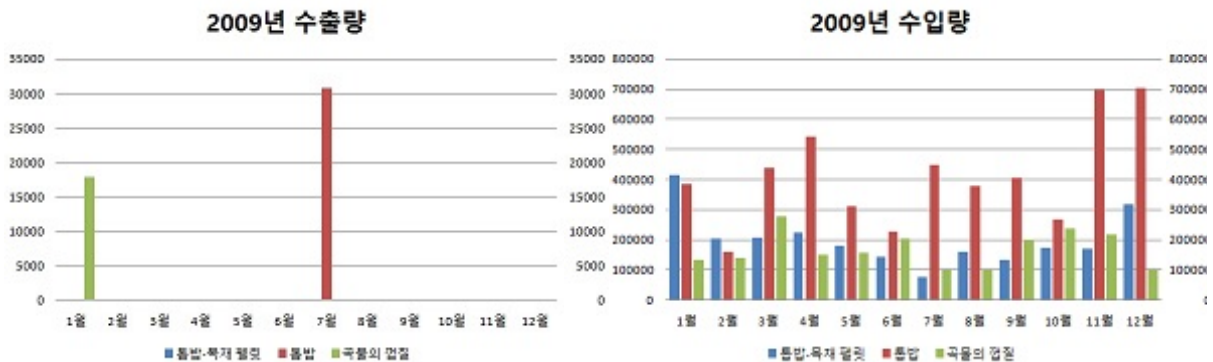
톱밥 - 목재 펠릿						
2009년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출증량 (ton)	수입증량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	312	0	2,146	1,377.8	1,330.41
2월	0	145	0	1,183	1,465.28	1,414.89
3월	0	145	0	980	1,478.85	1,427.80
4월	0	170	0	958	1,359.83	1,313.06
5월	0	145	0	945	1,277.22	1,233.30
6월	0	116	0	802	1,284.07	1,239.91
7월	0	60	0	367	1,284.08	1,239.92
8월	0	132	0	801	1,262.11	1,218.70
9월	0	112	0	630	1,236.02	1,193.51
10월	0	149	0	775	1,194.98	1,153.88
11월	0	148	0	823	1,184.05	1,143.33
12월	0	276	0	1,631	1,186.01	1,145.22

<표-2> 2009년 톱밥 수출입 금액 및 수출입 증량

톱밥						
2009년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출증량 (ton)	수입증량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	289	0	2,082	1,377.80	1,330.41
2월	0	113	0	832	1,465.28	1,414.89
3월	0	308	0	2,066	1,478.85	1,427.80
4월	0	413	0	3,119	1,359.83	1,313.06
5월	0	252	0	1,683	1,277.22	1,233.30
6월	0	184	0	1,165	1,284.07	1,239.91
7월	24	363	5	2,374	1,284.08	1,239.92
8월	0	310	0	1,896	1,262.11	1,218.70
9월	0	340	0	2,649	1,236.02	1,193.51
10월	0	233	0	1,874	1,194.98	1,153.88
11월	0	609	0	4,563	1,184.05	1,143.33
12월	0	614	0	4,769	1,186.01	1,145.22

<표-3> 2009년 곡물 껍질 수출입 금액 및 수출입 중량

2009년	톱밥				환율	
	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	구매	판매
1월	13	100	15	299	1,377.80	1,330.41
2월	0	100	0	422	1,465.28	1,414.89
3월	0	194	0	378	1,478.85	1,427.80
4월	0	114	0	421	1,359.83	1,313.06
5월	0	127	0	362	1,277.22	1,233.30
6월	0	163	0	631	1,284.07	1,239.91
7월	0	79	0	170	1,284.08	1,239.92
8월	0	81	0	157	1,262.11	1,218.70
9월	0	168	0	519	1,236.02	1,193.51
10월	0	205	0	344	1,194.98	1,153.88
11월	0	191	0	565	1,184.05	1,143.33
12월	0	87	0	220	1,186.01	1,145.22



※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<그림-1> 2009년 톱밥, 왕겨 수출입 현황 그래프

- 2010년 수출·입량은 <표-4~6>와 같음. (※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr))
- 2010년 3월, 5월 톱밥 수출량이 각각 24,277,890원, 28,535,520원 총 52,813,410원을 수출.
- 수입의 경우 톱밥-목재펠릿 3,713,431,000원, 톱밥 11,888,947,000원, 곡물의 껍질 5,582,832,000원으로 수입이 대부분을 차지함.

<표-4> 2010년 톱밥 - 목재 펠릿 수출입 금액 및 수출입 중량

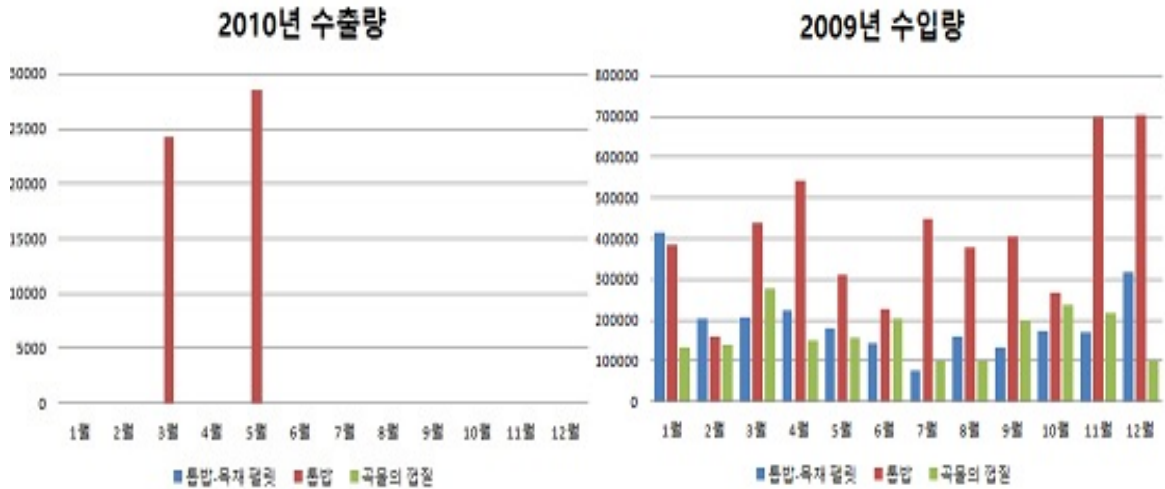
톱밥 - 목재 펠릿						
2010년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	290	0	1,620	1,158.53	1,118.69
2월	0	221	0	1,316	1,176.77	1,136.30
3월	0	185	0	1,204	1,156.09	1,116.34
4월	0	196	0	1,305	1,135.40	1,096.35
5월	0	194	0	1,000	1,188.98	1,148.09
6월	0	180	0	1,029	1,236.56	1,194.03
7월	0	178	0	1,212	1,255.26	1,183.13
8월	0	60	0	350	1,200.96	1,159.66
9월	0	303	0	1,830	1,182.96	1,142.27
10월	0	401	0	2,583	1,142.86	1,103.55
11월	0	386	0	2,798	1,148.59	1,109.09
12월	0	695	0	4,647	1,165.12	1,125.05

<표-5> 2010년 톱밥 수출입 금액 및 수출입 중량

톱밥						
2010년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	686	0	5,693	1,158.53	1,118.69
2월	0	552	0	4,869	1,176.77	1,136.30
3월	21	667	5	6,289	1,156.09	1,116.34
4월	0	877	0	7,718	1,135.40	1,096.35
5월	24	718	6	6,301	1,188.98	1,148.09
6월	0	566	0	4,572	1,236.56	1,194.03
7월	0	810	0	7,983	1,255.26	1,183.13
8월	0	764	0	7,181	1,200.96	1,159.66
9월	0	973	0	8,638	1,182.96	1,142.27
10월	0	1,052	0	9,644	1,142.86	1,103.55
11월	0	1,208	0	11,005	1,148.59	1,109.09
12월	0	1,628	0	14,386	1,165.12	1,125.05

<표-6> 2010년 곡물 껍질 수출입 금액 및 수출입 중량

톱밥						
2010년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	85	0	206	1,158.53	1,118.69
2월	0	128	0	214	1,176.77	1,136.30
3월	0	195	0	388	1,156.09	1,116.34
4월	0	251	0	600	1,135.40	1,096.35
5월	0	626	0	2,552	1,188.98	1,148.09
6월	0	591	0	2,421	1,236.56	1,194.03
7월	0	502	0	1,900	1,255.26	1,183.13
8월	0	645	0	2,254	1,200.96	1,159.66
9월	0	606	0	2,289	1,182.96	1,142.27
10월	0	715	0	2,670	1,142.86	1,103.55
11월	0	283	0	1,081	1,148.59	1,109.09
12월	0	256	0	880	1,165.12	1,125.05



※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<그림-2> 2010년 통밥, 왕겨 수출입 현황 그래프

- 2011년 수출·입량은 <표-7 ~ 9>와 같음. (※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr))
- 2011년 1월, 5월, 8월 통밥 수출량이 각각 23,916,690원, 25,374,750원, 25,133,710원으로 총 74,425,150원을 수출하였고, 통밥-목재 펠릿의 경우 27,342,480원을 수출하였음.
- 수입의 경우 통밥-목재 펠릿 4,928,924,000원, 통밥 13,501,188,000원, 곡물의 껍질 2,442,575,000원으로 수입이 대부분을 차지함.

<표-7> 2011년 통밥 - 목재 펠릿 수출·입 금액 및 수출·입 중량

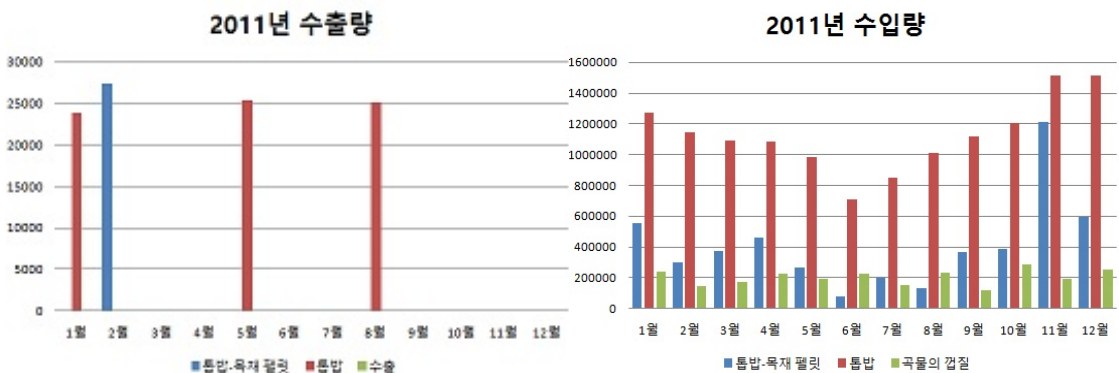
2011년	통밥 - 목재 펠릿				환율	
	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	구매	판매
1월	0	506	0	3,597	1,138.89	1,099.73
2월	24	271	188	1,822	1,139.27	1,100.09
3월	0	337	0	2,097	1,139.62	1,100.43
4월	0	433	0	2,908	1,103.45	1,065.50
5월	0	251	0	1,460	1,103.25	1,065.30
6월	0	76	0	362	1,099.72	1,061.90
7월	0	190	0	1,148	1,077.14	1,040.10
8월	0	125	0	692	1,092.77	1,055.19
9월	0	333	0	1,778	1,145.00	1,105.63
10월	0	343	0	2,314	1,169.99	1,129.76
11월	0	1,090	0	8,057	1,154.07	1,114.38
12월	0	527	0	3,443	1,167.59	1,127.44

<표-8> 2011년 톱밥 수출입 금액 및 수출입 중량

2011년	톱밥				환율	
	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	구매	판매
	1월	21	1,160	5	11,244	1,138.89
2월	0	1,042	0	9,912	1,139.27	1,100.09
3월	0	994	0	9,883	1,139.62	1,100.43
4월	0	1,017	0	9,473	1,103.45	1,065.50
5월	23	923	5	8,311	1,103.25	1,065.30
6월	0	668	0	5,721	1,099.72	1,061.90
7월	0	816	0	6,976	1,077.14	1,040.10
8월	23	959	5	8,614	1,092.77	1,055.19
9월	0	1,009	0	8,793	1,145.00	1,105.63
10월	0	1,065	0	9,148	1,169.99	1,129.76
11월	0	1,359	0	11,367	1,154.07	1,114.38
12월	0	1,344	0	10,974	1,167.59	1,127.44

<표-9> 2011년 곡물 껍질 수출입 금액 및 수출입 중량

2011년	톱밥				환율	
	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	구매	판매
	1월	0	218	0	706	1,138.89
2월	0	134	0	482	1,139.27	1,100.09
3월	0	157	0	475	1,139.62	1,100.43
4월	0	209	0	798	1,103.45	1,065.50
5월	0	181	0	455	1,103.25	1,065.30
6월	0	214	0	776	1,099.72	1,061.90
7월	0	149	0	282	1,077.14	1,040.10
8월	0	221	0	552	1,092.77	1,055.19
9월	0	106	0	246	1,145.00	1,105.63
10월	0	252	0	685	1,169.99	1,129.76
11월	0	174	0	572	1,154.07	1,114.38
12월	0	227	0	926	1,167.59	1,127.44



※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<그림-3> 2011년 톱밥, 양겨 수출입 현황 그래프

- 2012년 수출·입량은 <표-10 ~ 12>와 같음. (※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr))
- 2012년 4월 톱밥-목재 펠릿의 수출량은 5,774,400원을 수출, 톱밥의 경우 2월 26278180원, 7월 9,295,920원, 8월 57,569,500원, 10월 12,366,640원, 12월 12,033,340원 총 117,543,600원을 수출함.
- 수입의 경우 톱밥-목재 펠릿 19,951,670,000원, 톱밥 18,934,637,000원, 곡물의 껍질 8,532,959,000원을 수입을 함.

<표-10>년 톱밥 - 목재 펠릿 수출·입 금액 및 수출·입 중량

톱밥 - 목재 펠릿						
2012년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	850	0	5,739	1,164.30	1,124.25
2월	0	685	0	4,774	1,142.53	1,103.23
3월	0	794	0	5,634	1,146.77	1,107.33
4월	5	749	20	4,848	1,154.88	1,115.17
5월	0	748	0	4,547	1,177.22	1,136.73
6월	0	813	0	5,092	1,183.88	1,143.17
7월	0	744	0	4,736	1,161.99	1,122.03
8월	0	850	0	5,313	1,151.39	1,111.79
9월	0	3,213	0	21,934	1,143.18	1,103.87
10월	0	1,059	0	7,096	1,124.24	1,085.57
11월	0	4,248	0	28,796	1,106.06	1,068.03
12월	0	3,534	0	23,938	1,093.94	1,056.32

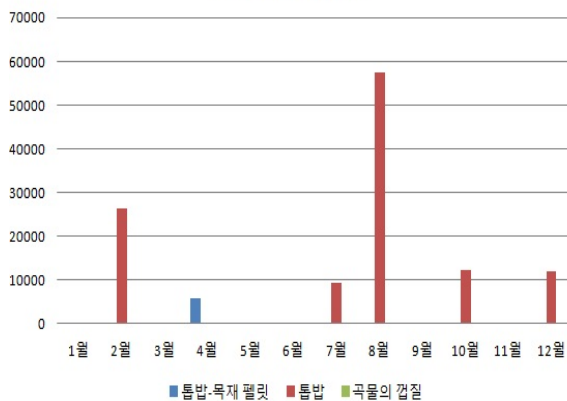
<표-11> 2012년 톱밥 수출·입 금액 및 수출·입 중량

톱밥						
2012년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	1,109	0	9,000	1,164.30	1,124.25
2월	23	856	6	6,582	1,142.53	1,103.23
3월	0	1,409	0	10,991	1,146.77	1,107.33
4월	0	1,280	0	9,764	1,154.88	1,115.17
5월	0	1,458	0	10,488	1,177.22	1,136.73
6월	0	1,121	0	7,943	1,183.88	1,143.17
7월	8	1,409	2	10,451	1,161.99	1,122.03
8월	50	1,229	12	9,270	1,151.39	1,111.79
9월	0	1,438	0	10,589	1,143.18	1,103.87
10월	11	1,550	16	11,710	1,124.24	1,085.57
11월	0	1,932	0	14,903	1,106.06	1,068.03
12월	11	2,401	3	18,341	1,093.94	1,056.32

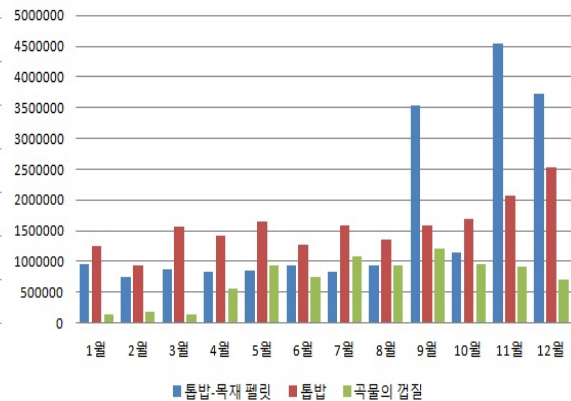
<표-12> 2012년 곡물 껍질 수출입 금액 및 수출입 중량

2012년	톱밥				환율	
	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	구매	판매
1월	0	123	0	438	1,164.30	1,124.25
2월	0	168	0	561	1,142.53	1,103.23
3월	0	126	0	324	1,146.77	1,107.33
4월	0	500	0	1,830	1,154.88	1,115.17
5월	0	830	0	2,933	1,177.22	1,136.73
6월	0	653	0	2,523	1,183.88	1,143.17
7월	0	961	0	3,615	1,161.99	1,122.03
8월	0	852	0	3,349	1,151.39	1,111.79
9월	0	1,094	0	4,111	1,143.18	1,103.87
10월	0	886	0	3,369	1,124.24	1,085.57
11월	0	859	0	3,310	1,106.06	1,068.03
12월	0	672	0	2,538	1,093.94	1,056.32

2012년 수출량



2012년 수입량



※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<그림-4> 2012년 톱밥, 왕겨 수출입 현황 그래프

- 2013년 수출·입량은 <표-13 ~ 15>와 같음. (※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr))
- 2013년 7월 톱밥-목재 펠릿의 수출량은 1,145,970원을 수출, 톱밥의 경우 1월 1,084,790원, 4월 19,393,940원, 8월 24,975,720원, 총 45,454,450원을 수출함.
- 수입의 경우 톱밥-목재 펠릿 82,247,433,000원, 톱밥 30,191,924,000원, 곡물의 껍질 7,599,781,000원을 수입을 함.

<표-13> 2013년 톱밥 - 목재 펠릿 수출입 금액 및 수출입 중량

톱밥 - 목재 펠릿						
2013년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	2,915	0	19,275	1,084.79	1,047.49
2월	0	3,177	0	20,748	1,105.05	1,067.05
3월	0	2,241	0	14,952	1,122.88	1,084.27
4월	0	3,246	0	21,942	1,140.82	1,101.59
5월	0	3,677	0	24,681	1,131.53	1,092.61
6월	0	3,523	0	24,174	1,156.22	1,116.46
7월	1	4,818	1	31,604	1,145.97	1,106.56
8월	0	5,660	0	37,756	1,135.26	1,096.22
9월	0	6,582	0	42,811	1,103.53	1,065.58
10월	0	8,892	0	57,009	1,084.48	1,047.19
11월	0	21,573	0	123,628	1,081.14	1,043.96
12월	0	11,058	0	66,088	1,073.72	1,036.80

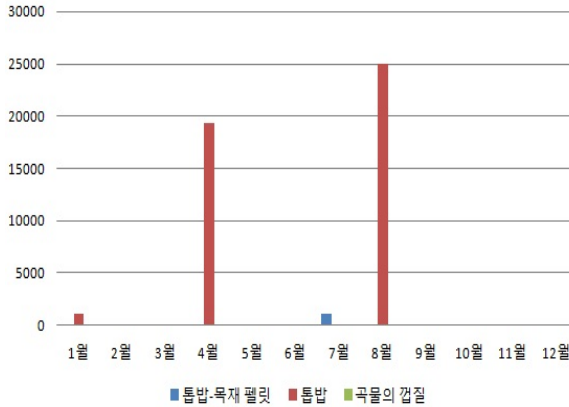
<표-14> 2013년 톱밥 수출입 금액 및 수출입 중량

톱밥						
2013년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	1	3,627	2	27,455	1,084.79	1,047.49
2월	0	2,435	0	18,343	1,105.05	1,067.05
3월	0	2,153	0	16,239	1,122.88	1,084.27
4월	17	2,231	22	16,565	1,140.82	1,101.59
5월	0	2,061	0	15,406	1,131.53	1,092.61
6월	0	1,352	0	10,384	1,156.22	1,116.46
7월	0	1,660	0	12,773	1,145.97	1,106.56
8월	22	1,804	5	13,795	1,135.26	1,096.22
9월	0	1,528	0	11,722	1,103.53	1,065.58
10월	0	2,286	0	17,422	1,084.48	1,047.19
11월	0	2,989	0	22,687	1,081.14	1,043.96
12월	0	4,132	0	30,232	1,073.72	1,036.80

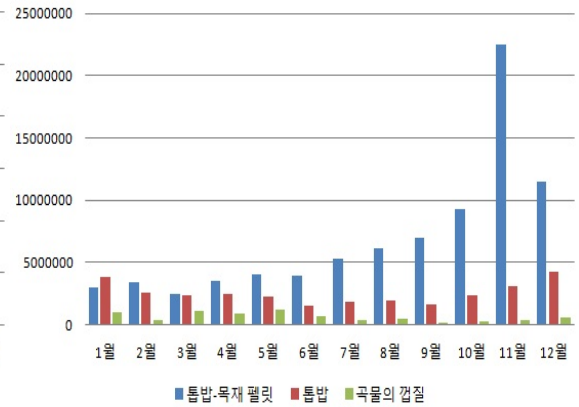
<표-15> 2013년 곡물 껍질 수출입 금액 및 수출입 중량

톱밥						
2013년	수출금액 (USD 1,000)	수입금액 (USD 1,000)	수출중량 (ton)	수입중량 (ton)	환율	
					구매	판매
1월	0	929	0	3,451	1,084.79	1,047.49
2월	0	385	0	1,395	1,105.05	1,067.05
3월	0	986	0	3,295	1,122.88	1,084.27
4월	0	810	0	2,904	1,140.82	1,101.59
5월	0	1,132	0	4,183	1,131.53	1,092.61
6월	0	643	0	2,503	1,156.22	1,116.46
7월	0	380	0	1,487	1,145.97	1,106.56
8월	0	403	0	1,488	1,135.26	1,096.22
9월	0	162	0	691	1,103.53	1,065.58
10월	0	248	0	905	1,084.48	1,047.19
11월	0	359	0	1,858	1,081.14	1,043.96
12월	0	608	0	4,229	1,073.72	1,036.80

2013년 수출량



2013년 수입량



※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

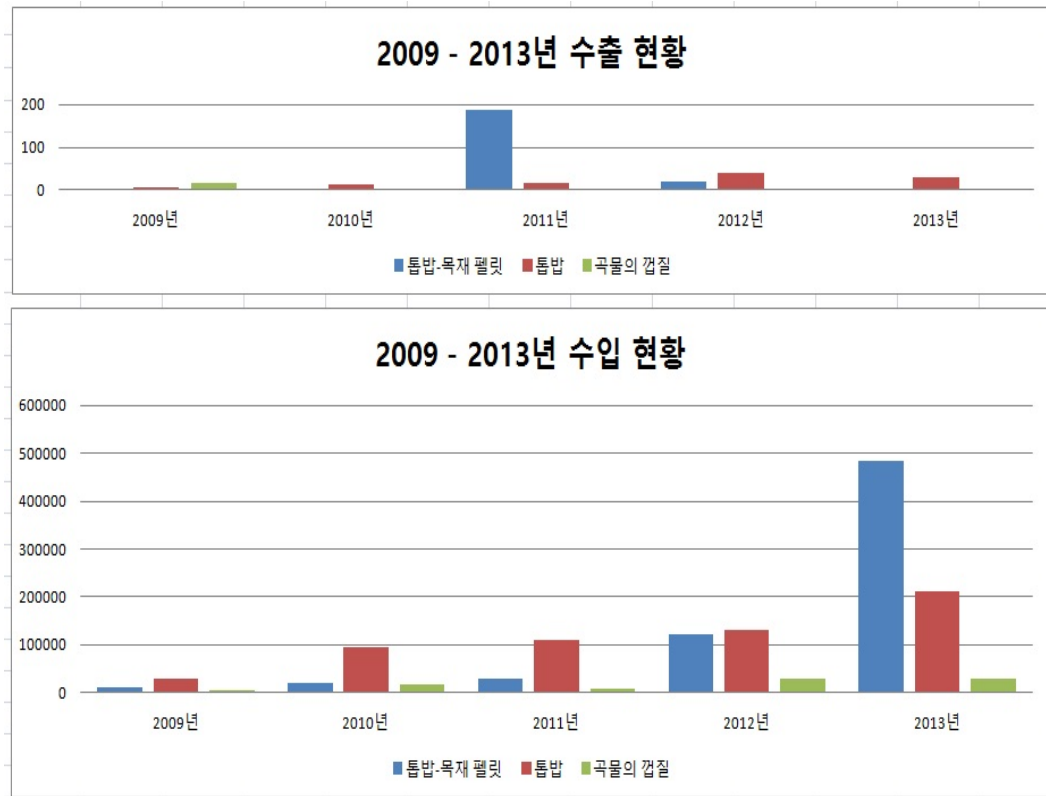
<그림-5> 2013년 톱밥, 왕겨 수출입 현황 그래프

- <그림-6>은 2009년 ~ 2013년 까지 수분조절제의 수출입량(ton 단위) 현황임.
- 국내에서 사용하는 조절제의 대부분 수입 톱밥을 사용하고 있음.
- 국내 수분조절제의 수출현황으로는 톱밥의 경우 2009년~2012년까지 증가하는 추세를 보이다 2013년에는 수출량이 감소, 톱밥-목재 펠릿과 곡물의 껍질의 경우 거의 수출이 없는 실정임. 전체적인 수출량은 수입량에 비해 수출은 거의 이루어지지 않는 수준임.
- 수입의 현황을 보면 톱밥-목재 펠릿의 경우 2009년 대비 40.25배 수입량이 증가하였고, 톱밥의 경우 7.33배, 곡물의 껍질은 6.33배 증가함.

<표-16> 2009년 ~ 2013년 수분조절제의 수출입량(ton 단위) 현황

구분	톱밥-목재 펠릿		톱밥		곡물의 껍질	
	수출(ton)	수입(ton)	수출(ton)	수입(ton)	수출(ton)	수입(ton)
2009년	0	12,041	5	29,072	15	4,488
2010년	1	20,894	11	94,279	0	17,455
2011년	188	29,678	15	110,416	0	6,955
2012년	20	122,447	39	130,032	0	28,901
2013년	1	484,668	29	213,023	0	28,389
총합	210	669,728	99	576,822	15	86,188

※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)



※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<그림-6> 과거 톱밥, 왕겨 수출입 현황

2. 퇴비화 시설에서 가장 널리 이용되고 있는 톱밥과 왕겨의 경제성 분석을 통한 수입 타당성 검증

- 주요 수분 조절재의 수요량은 년 간 184만 톤 정도로 추정되며 이중 톱밥 46만 톤, 왕겨 73만 톤, 총 119만 톤이 공급되고 있는 것으로 나타나고 있어 65만 톤 정도가 부족한 것으로 나타남.
- 2011년 가축분 발생량은 약 97,500톤/일 임.
- 톱밥과 왕겨의 가격비교는 <표-17>과 같음.

<표-17> 톱밥 및 왕겨 가격비교

구분	kg/m ³	원/20m ³	원/m ³	원/kg
톱 밥	250	400,000	20,000	80
왕 겨	125	237,500	11,875	95

※ 왕겨 가격기준 : 40kg포대 3,800원 기준

- 왕겨 kg당 가격은 톱밥보다 약 1.19배 높으나 kg당 부피가 톱밥에 비해 약 2배정도임.

- 수분조절제 소요량 계산

$$- \text{소요량(kg)} = \text{생분뇨량(kg)} \times \frac{\text{생분뇨 수분함량(\%)} - \text{목표수분(65\%)}}{\text{목표수분(65\%)} - \text{수분조절제 수분(\%)}}$$

- 계산 예) 돈분 1m³를 수분65%조절시
 (조건 : 돈분의 수분함량 75, 85, 95%, 톱밥수분 25%)
 . 돈분 수분함량 75%기준 : 톱밥 1m³소요
 . 돈분 수분함량 85%기준 : 톱밥 2m³소요
 . 돈분 수분함량 95%기준 : 톱밥 3m³소요

- 수입의 현황은 <표-18 ~ 22>과 같음.

<표-18> 2009년 수분조절제 수출·입 금액 가격환산 표

		가격 환산				단위(KRW 1,000)	
구분	톱밥-목재 펠릿		톱밥		곡물의 겹질		
	수출	수입	수출	수입	수출	수입	
1월	0	415,087.9	0	384,488.5	17,911.4	133,041	
2월	0	205,159.1	0	159,882.6	0	141,489	
3월	0	207,031	0	439,768.4	0	276,993.2	
4월	0	223,220.2	0	542,293.8	0	149,688.8	
5월	0	178,828.5	0	310,791.6	0	156,629.1	
6월	0	143,829.6	0	228,143.4	0	202,105.3	
7월	0	74,395.2	30,817.92	450,091	0	97,953.68	
8월	0	160,868.4	0	377,797	0	98,714.7	
9월	0	133,673.1	0	405,793.4	0	200,509.7	
10월	0	171,928.1	0	268,854	0	236,545.4	
11월	0	169,212.8	0	696,288	0	218,376	
12월	0	316,080.7	0	73,165.1	0	99,634.14	
총합	0	2399,315	30,817.92	4,967,351	17911.4	2,011,680	

※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<표-19> 2010년 수분조절제 수출입 금액 가격환산 표

구분	가격 환산				단위(KRW 1,000)	
	톱밥-목재 펠릿		톱밥		곡물의 껍질	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입
1월	0	324,420.1	0	767,421.3	0	95,088.65
2월	0	251,122.3	0	627,237.6	0	145,446.4
3월	0	206,522.9	24,277.89	744,598.8	0	217,686.3
4월	0	214,884.6	0	961,499	0	275,183.9
5월	0	222,729.5	28,535.52	824,328.6	0	718,704.3
6월	0	214,925.4	0	675,821	0	705,671.7
7월	0	210,597.1	0	958,335.3	0	593,931.3
8월	0	69,579.6	0	885,980.2	0	747,980.7
9월	0	346,107.8	0	1,111,429	0	692,215.6
10월	0	442,523.6	0	1,160,935	0	789,038.3
11월	0	428,108.7	0	1,339,781	0	313,872.5
12월	0	781,909.8	0	1,831,581	0	288,012.8
총합	0	3,713,431	52,813.41	11,888,947	0	5,582,832

※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<표-20> 2011년 수분조절제 수출입 금액 가격환산 표

구분	가격 환산				단위(KRW 1,000)	
	톱밥-목재 펠릿		톱밥		곡물의 껍질	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입
1월	0	556,463.4	23,916.69	1,275,687	0	239,741.1
2월	27,342.48	298,124.4	0	1,146,294	0	147,412.1
3월	0	370,844.9	0	1,093,827	0	172,767.5
4월	0	461,361.5	0	1,083,614	0	222,689.5
5월	0	267,390.3	25,374.75	983,271.9	0	192,819.3
6월	0	80,704.4	0	709,349.2	0	227,246.6
7월	0	197,619	0	848,721.6	0	154,974.9
8월	0	131,898.8	25,133.71	1,011,927	0	233,197
9월	0	368,174.8	0	1,115,581	0	117,196.8
10월	0	387,507.7	0	1,203,194	0	284,699.5
11월	0	1,214,674	0	1,514,442	0	193,902.1
12월	0	594,160.9	0	1,515,279	0	255,928.9
총합	27,342.48	4,928,924	74,425.15	13,501,188	0	2,442,575

※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<표-21> 2012년 수분조절제 수출입 금액 가격환산 표

구분	가격 환산				단위(KRW 1,000)	
	톱밥-목재 펠릿		톱밥		곡물의 겹질	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입
1월	0	955,612.5	0	1,246,793	0	138,282.8
2월	0	755,712.6	26,278.19	944,364.9	0	185,342.6
3월	0	879,220	0	1,560,228	0	139,523.6
4월	5,774.4	835,262.3	0	1,427,418	0	557,585
5월	0	850,274	0	1,657,352	0	943,485.9
6월	0	929,397.2	0	1,281,494	0	746,490
7월	0	834,790.3	9,295.9	1,580,940	0	1,078,271
8월	0	945,021.5	57,569.5	1,366,390	0	947,245.1
9월	0	3,546,734	0	1,587,365	0	1,207,634
10월	0	1,149,619	123,66.6	1,682,634	0	961,815
11월	0	4536,991	0	2,063,434	0	917,437.8
12월	0	3,733,035	12,033.3	2,536,224	0	70,9847
총합	5,774.4	19,951,670	117,543.6	18,934,637	0	8,532,959

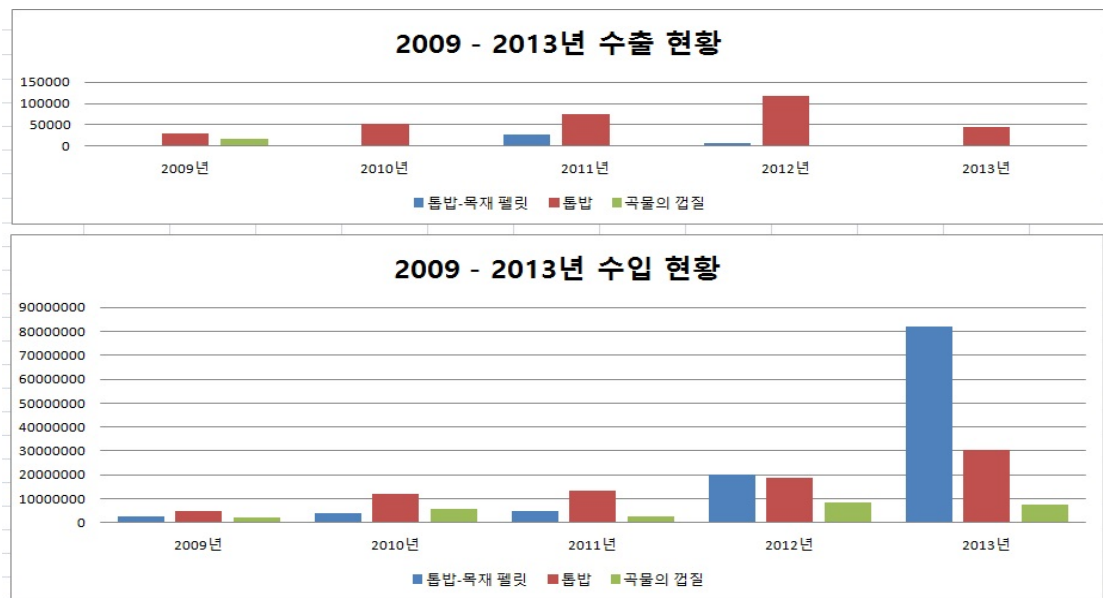
※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<표-22> 2013년 수분조절제 수출입 금액 가격환산 표

구분	가격 환산				단위(KRW 1,000)	
	톱밥-목재 펠릿		톱밥		곡물의 겹질	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입
1월	0	3,053,433	1,084.79	3,799,246	0	973,118.2
2월	0	3,390,018	0	2,598,267	0	410,814.3
3월	0	2,429,849	0	2,334,433	0	1,069,090
4월	0	3,575,761	19,393.94	2,457,647	0	892,287.9
5월	0	4,017,527	0	2,251,869	0	1,236,835
6월	0	3,933,289	0	1,509,454	0	717,883.8
7월	1,145.97	5,331,406	0	1,836,890	0	420,492.8
8월	0	6,204,605	24,975.72	1,977,581	0	441,776.7
9월	0	7,013,648	0	1,628,206	0	172,624
10월	0	9,311,613	0	2,393,876	0	259,703.1
11월	0	22,521,349	0	3,120,396	0	374,781.6
12월	0	11,464,934	0	4,284,058	0	630,374.4
총합	1,145.97	82,247,433	45,454.45	30,191,924	0	7,599,781

※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

- <그림-7>.은 2009년 ~ 2013년 까지 수분조절제의 수출입량 (가격) 현황임.
- 국내 수분조절제의 수출현황으로는 톱밥의 경우 2009년~2012년까지 증가하는 추세를 보인다 2013년에는 수출량이 감소하였으며, 톱밥-목재 펠릿과 곡물의 껍질의 경우 거의 수출이 없는 실정임. 전체적인 수출량은 수입량에 비해 수출은 거의 이루어지지 않는 수준임.
- 톱밥-목재 펠릿의 경우 2009년 대비 34.27배 수입량이 증가하였고, 톱밥의 경우 6.08배, 곡물의 껍질은 3.78배 증가함.



※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

<그림-7> 2009년 ~ 2013년 수분조절제의 수출입량 (가격) 현황

<표-23> 2009년 ~ 2013년 수분조절제의 수출입량(1,000원 단위) 현황

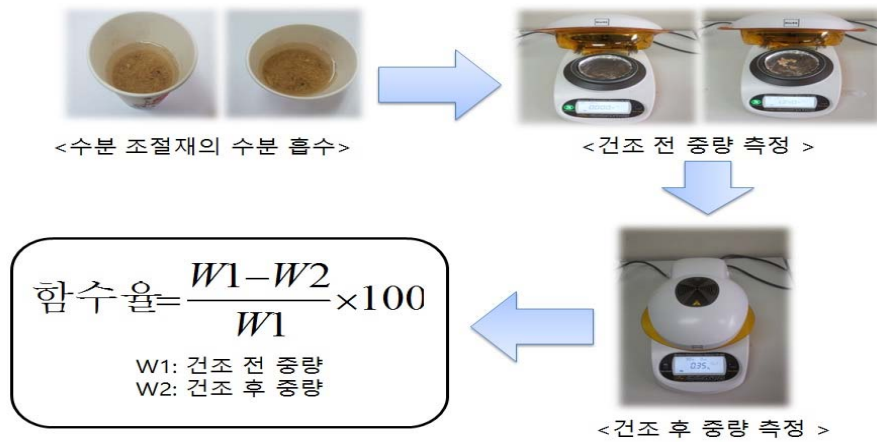
구분	톱밥-목재 펠릿		톱밥		곡물의 껍질	
	수출	수입	수출	수입	수출	수입
2009년	0	2,399,315	30,817.92	4,967,351	17,911.4	2,011,680
2010년	0	3,713,431	52,813.41	11,888,947	0	5,582,832
2011년	27,342.48	4,928,924	74,425.15	13,501,188	0	2,442,575
2012년	5,774.4	19,951,670	117,543.6	18,934,637	0	8,532,959
2013년	1,145.97	82,247,433	45,454.45	30,191,924	0	7,599,781
총합	34,262.85	113,000,000	321,054.5	79,484,047	17,911.4	26,169,827

※ 출처: 통계청 자료(www.kostat.go.kr)

3. 발효 공정 시 30%이상 경제적 절감할 수 있는 수분조절제 선정

가. 측정 장비 구축 및 측정 방법

- 수분 조절제의 함수율 측정을 위해 적외선 수분계(Infrared Moisture Determine Balance FD-660, KETT ELECTRIC LABORATORY, Japan)을 사용하여 수분조절제의 수분 흡수 전,후의 함수율을 측정함.
- 시료는 코코피트, 소나무 우드 칩, 소나무 톱밥을 이용하였으며, 각 시료당 7개의 샘플을 채취한 후 수분 흡수 전, 후의 함수율을 측정하였으며, 7개 샘플의 평균 함수율을 해당 시료의 함수율로 함.
- 목재의 함수율은 [목재의 함수율 측정 방법 KS F 2199 : 2001]을 참고하여 103°C에서 함수율을 측정하였다.
- 수분 흡수율은 수분 흡수 전 중량과 수분 흡수 후의 중량을 비교하여 나타냄.



<그림-8> 수분조절제 함수율 측정 개략도

나. 수분 조절재의 수분 흡수율, 함수율 측정 및 분석

(1) 코코피트

- 코코피트의 수분 흡수 전 함수율 측정결과는 <표-24>와 같음.
- 실험에 사용한 코코피트의 최대 함수율은 13.27%, 최소 함수율은 11.08%, 평균 함수율은 12.62%로 나타남.
- 시료7을 제외한 함수율은 12~13%정도의 함수율을 나타내고 있음.

<표-24> 코코피트의 수분 흡수 전 함수율

시료 순번	건조 전 중량(g)	건조 후 중량(g)	함수율(%)
1	0.57	0.5	13.16
2	0.49	0.43	13.27
3	0.53	0.47	12.26
4	1.5	1.31	12.71
5	1.17	1.02	12.88
6	1.23	1.07	13.01
7	2.08	1.85	11.08

최대 함수율(%)	최소함수율(%)	평균함수율(%)
13.27	11.08	12.62

- 코코피트의 수분 흡수 후 함수율 측정결과는 <표-25>과 같음.
- 실험에 사용한 코코피트의 최대 함수율은 89.91%, 최소 함수율은 86.41%, 평균 함수율은 86.7%로 나타남.

<표-25> 코코피트의 수분 흡수 후 함수율

	건조 전 중량(g)	건조 후 중량(g)	함수율(%)
1	1.065	0.115	89.2
2	1.410	0.160	88.65
3	1.030	0.140	86.41
4	1.235	0.140	88.66
5	1.180	0.120	89.83
6	1.090	0.110	89.91
7	1.06	0.125	88.21

최대 함수율(%)	최소함수율(%)	평균함수율(%)
89.91	86.41	86.7

- 코코피트의 수분 흡수율 측정결과는 <표-26>과 같음.
- 실험에 사용한 코코피트의 최대 흡수율은 820.82%, 최소 흡수율은 607.24%, 평균 흡수율은 696.68%로 나타남.

<표-26> 코코피트의 수분 흡수율

	흡수 전 중량(g)	흡수 후 중량(g)	흡수율(%)
1	6.07	41.58	685.0082
2	6.91	41.96	607.2359
3	6.34	41.45	653.7855
4	4.85	39.81	820.8247
5	4.78	35.11	734.5188
6	5.36	38.65	721.0821
7	5.4	34.64	641.4815

최대 흡수율(%)	최소흡수율(%)	평균흡수율(%)
820.82	607.24	696.68

(2) 소나무 우드칩

- 소나무 우드칩의 수분 흡수 전 함수율 측정결과는 <표-27>과 같음.
- 실험에 사용한 소나무 우드칩의 최대 함수율은 20%, 최소 함수율은 13.64%, 평균 함수율은 15.35%로 나타남.

<표-27> 소나무 우드칩의 수분 흡수 전 함수율

시료 순번	건조 전 중량(g)	건조 후 중량(g)	함수율(%)
1	0.395	0.340	13.92
2	0.240	0.205	14.58
3	0.255	0.220	13.72
4	0.110	0.095	13.64
5	0.225	0.180	20
6	0.275	0.235	14.55
7	0.235	0.195	17.02

최대 함수율(%)	최소함수율(%)	평균함수율(%)
20	13.64	15.35

- 소나무 우드칩의 수분 흡수 후 흡수율 측정결과는 <표-28>과 같음.
- 실험에 사용한 소나무 우드칩의 최대 흡수율은 67.81%, 최소 흡수율은 44.39%, 평균 흡수율은 56.26%로 나타남.

<표-28> 소나무 우드칩의 수분 흡수 후 흡수율

	건조 전 중량(g)	건조 후 중량(g)	흡수율(%)
1	5.080	1.635	67.81
2	2.670	1.210	54.68
3	6.375	3.545	44.39
4	3.540	1.6	54.8
5	4.580	2.160	52.84
6	2.325	0.980	57.85
7	5.485	2.115	61.44

최대 흡수율(%)	최소흡수율(%)	평균흡수율(%)
67.81	44.39	56.26

- 소나무 우드칩의 수분 흡수율 측정결과는 <표-29>와 같음.
- 실험에 사용한 소나무 우드칩의 최대 흡수율은 295.85%, 최소 흡수율은 186.42%, 평균 흡수율은 248.06%로 나타남.

<표-29> 소나무 우드칩의 수분 흡수율

	흡수 전 중량(g)	흡수 후 중량(g)	흡수율(%)
1	5.931	12.802	215.85
2	2.083	6.03	289.49
3	3.918	9.908	252.88
4	3.886	11.306	290.94
5	8.115	15.128	186.42
6	2.975	6.882	231.33
7	2.54	5.834	229.69

최대흡수율(%)	최소흡수율(%)	평균흡수율(%)
295.85	186.42	248.06

(3) 소나무 톱밥

- 소나무 톱밥의 수분 흡수 전 함수율 측정결과는 <표-30>과 같음.
- 실험에 사용한 소나무 톱밥의 최대 함수율은 15.9%, 최소 함수율은 10.66%, 평균 함수율은 12.96%로 나타남.

<표-30> 소나무 톱밥의 수분 흡수 전 함수율

시료 순번	건조 전 중량(g)	건조 후 중량(g)	함수율(%)
1	1.7	1.5	11.76
2	2.15	1.89	12.09
3	2.47	2.11	14.57
4	2.39	2.01	15.9
5	1.22	1.09	10.66
6	1.18	1.03	12.71
7	1.38	1.2	13.04

최대 함수율(%)	최소함수율(%)	평균함수율(%)
15.9	10.66	12.96

- 소나무 톱밥의 수분 흡수 후 함수율 측정결과는 <표-31>과 같음.
- 실험에 사용한 소나무 톱밥의 최대 함수율은 86.87%, 최소 함수율은 82.53, 평균 함수율은 85.1%로 나타남.

<표-31> 소나무 톱밥의 수분 흡수 후 함수율

	건조 전 중량(g)	건조 후 중량(g)	함수율(%)
1	1.080	0.150	86.11
2	1.000	0.150	85.00
3	1.170	0.160	86.32
4	1.145	0.200	82.53
5	1.030	0.165	83.98
6	1.025	0.155	84.88
7	1.105	0.145	86.87

최대 함수율(%)	최소함수율(%)	평균함수율(%)
86.87	82.53	85.1

- 소나무 톱밥의 수분 흡수율 측정결과는 <표-32>과 같음.
- 실험에 사용한 소나무 톱밥의 최대 흡수율은 655.93%, 최소 흡수율은 578.15%, 평균 흡수율은 603.91.%로 나타남.

<표-32> 소나무 톱밥의 수분 흡수율

	흡수 전 중량(g)	흡수 후 중량(g)	흡수율(%)
1	4.64	30.435	655.9267
2	5.67	34.025	600.0882
3	5.34	31.255	585.2996
4	5.47	31.625	578.1536
5	4.64	28.125	606.1422
6	4.49	27.175	605.2339
7	5.16	30.780	596.5116

최대 흡수율(%)	최소흡수율(%)	평균흡수율(%)
655.93	578.15	603.91

나. 용인 현장 실험

- <표-33>은 용인시 처인구에 설치된 비케이종합건설 원통 수평형퇴비화 장치의 생산물의 함수율을 측정하였음.
- 돈분, 코코피트, 1~5번 샘플 채취구, 최종 산물의 배출구에서 샘플을 채취하여 실험을 진행함.
- 함수율 측정결과 투입된 시료가 최종산물이 되는 과정에서 함수율이 거의 낮아지지 않는 것으로 보임.

<표-33> 원통 수평형 퇴비화 장치의 생성물 함수율 측정

구분	1회			2회			3회			평균 함수율 (%)
	초기 (g)	후기 (g)	함수율 (%)	초기 (g)	후기 (g)	함수율 (%)	초기 (g)	후기 (g)	함수율 (%)	
돈분	1.47	0.53	63.95	1.705	0.67	60.7	6.145	2.58	58.01	60.89
코코피트	2.075	1.35	34.94	1.96	1.25	36.22	1.635	0.85	48.01	39.73
1	7.53	2.185	70.98	3.3	1.085	67.12	2.35	0.835	64.47	67.52
2	2.075	0.52	74.94	3.175	1.125	64.57	1.655	0.475	71.3	70.27
3	1.35	0.54	60	2.065	0.83	59.81	1.58	0.615	61.08	60.29
4	1.495	0.495	66.89	1.5	0.48	68	1.92	0.64	66.67	67.19
5	1.935	0.6	68.99	1.38	0.435	68.48	1.7	0.52	69.41	68.96
최종산물	1.36	0.485	64.34	1.17	0.41	64.96	2.045	0.75	63.33	64.21



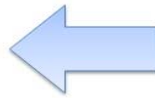
<수분 조절재의 수분 흡수>



<건조 전 중량 측정 >



<건조 후 중량 측정 >



$$\text{함수율} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

W1: 건조 전 중량
W2: 건조 후 중량

<그림-9> 현장실험 시료채취 방법

- 수분조절제 시료채취는 투입 전 건조된 시료를 채취하였으며, 돈분 역시 투입 전 시료를 채취하여 함수율을 측정함.
- 우측부터 1~5번 시료 채취구에서 시료를 채취하여 함수율을 측정함.
- 최종산물의 배출구에서 최종산물 시료를 채취하여 함수율을 측정함.



<수분조절제 시료채취>



<우측부터 1 ~ 5 시료채취구>



<시료채취 방법>



<시료채취 방법>



<시료채취 방법>



<최종산물 채취>

<그림-10> 현장실험 시료채취 방법

2절. 2차 년도 연구수행 내용

1. 톱밥, 왕겨보다 저렴한 경제적 대체 수분 조절제 개발 및 경제성 분석

가. 톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등)의 특성을 이용한 수분조절제의 성능 검증 및 선정

(1) 생산 퇴비의 샘플링 방법 및 함수율 측정 방법



원통 수평형 퇴비화 장치



퇴비화 장치의 투입구



각 샘플 채취구 별 샘플링



적외선 함수율 측정



실험 진행사항 논의

<그림-11> 생산 퇴비의 샘플링 방법 및 함수율 측정 방법

- 용인시 처인구에 위치한 원통수평형 퇴비화 장치를 이용하여 본 실험을 진행함.
- 퇴비화 장치의 위치별 샘플링 홀을 통한 샘플링을 진행함.
- 샘플링 퇴비는 현장에서 적외선 함수율 측정기를 이용하여 간이 함수율 측정과 건조 중량법을 이용한 함수율 측정을 진행함.

나. 퇴비 생산 주요 원료 함수율 측정 및 성분 분석

(1) 생산퇴비의 함수율 측정

- 건조중량법을 이용한 건조 전 후의 중량비교를 통한 함수율 측정
- 시료는 105℃에서 24시간 가열 후 중량 변화를 측정하여 함수율을 산정

(2) 생산퇴비의 C/N비 측정 전처리 방법



<그림-12> 샘플 건조, 샘플 파쇄, C/N비 측정 샘플

- 드라이오븐을 이용하여 105℃에서 24시간 동안 건조된 샘플을 막자와 막자사발을 이용하여 분쇄 후 C/N비를 측정

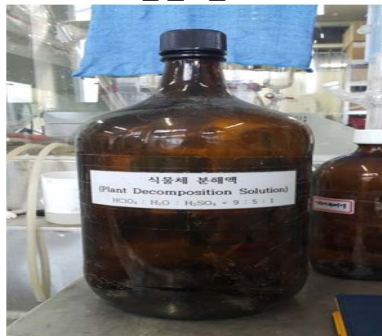
(3) 생산퇴비의 ICP 분석을 위한 전처리 방법



샘플 건조

샘플 중량 측정

침전 수용액 제작



식물체 분해액



샘플 가열



샘플 완료

<그림-13> 생산퇴비의 ICP 분석을 위한 전처리 방법

- 생산퇴비의 중금속 측정을 위한 전처리는 상기 그림과 같은 방법으로 실시함.
- 건조 후 분쇄된 시료는 식물체 분해액에 1일동안 침전시킨 후 핫플레이트를 이용하여 서서히 온도를 증가시키며 침전액이 맑아질 때까지 가열을 시켜 시료를 제작함.

(4) 생산퇴비의 중금속 및 C/N비 측정



샘플 시료 장소

샘플 시료 접시

초기중량 측정



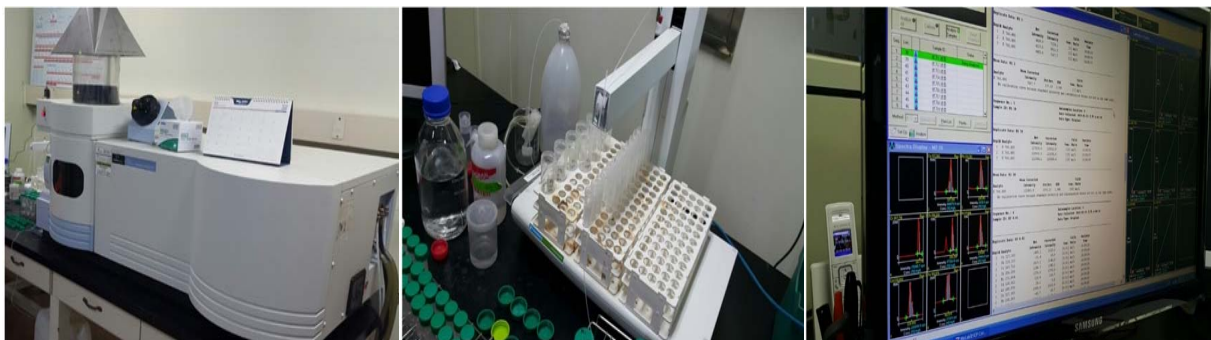
샘플링 중량 측정

분석기 투입

분석결과

<그림-14> C/N비 측정 과정

- 생산퇴비의 C/N비 측정방법은 상기 그림과 같음.
- C/N비는 대용량원소분석기(Automated True Macro Element Analyzer, LECO, USA)를 이용하여 측정함



<그림-15> ICP 측정과정

- 생산퇴비의 중금속 측정방법은 상기 그림과 같음.
- 전처리가 완료된 샘플은 유도결합플라즈마분광계 (ICP spectrometer OPTIMA 4300DV, PerkinElmer Inc., USA)를 이용하여 중금속을 측정함.
- 중금속 측정항목은 K ,P, As, Cd, Pb, Cr, Cu, Ni ,Zn 총 9종류의 항목을 측정

(5) 주요 원료의 성분 분석 결과

<표-34> 주요 원료의 ICP 분석 결과

주 원료	함수율				중금속 함유량	
	sample name	wet weight(g)	dry weight(g)	moist content(%)	성분	함유량(PPM)
돈분	M1	29.76	8.19	72.5%	K	7810
					P	14565
	M2	29.22	8.36	71.4%	As	.55
					Cd	0.35
					Pb	0.675
	M3	29.66	8.28	72.1%	Cr	7.9
					Cu	69.2
	Avg	29.55	8.28	72%	Ni	4.125
					Zn	751.25
	톱밥	Saw1	25.35	18.3	27.8	K
P						534.25
Saw2		25.09	18.16	27.6	As	0.5
					Cd	0.275
					Pb	0.8
Saw3		25.17	18.53	26.4	Cr	8.1
					Cu	8.375
Avg		25.20	18.33	27.3	Ni	3.325
					Zn	91.5
재사용 퇴비	RE1	10.77	6.92	35.69	K	4210
					P	6322.5
	RE2	10.17	6.62	34.95	As	0.525
					Cd	0.3
					Pb	0.3
	RE3	10.17	6.95	31.69	Cr	48.325
					Cu	20.9
	Avg	10.37	6.83	34.11	Ni	15.775
					Zn	241.55

- <표-34>은 퇴비생산의 주 원료의 함수율 및 중금속 함량 측정 결과임.
- 돈분의 경우 평균함수율이 72%로 나타났고, 중금속 함유량의 경우 P, K, Zn, Cu의 순서로 함유량이 높게 측정됨.

- 톱밥의 경우 평균함수율이 27.3%로 측정되었고, K, P, Zn 순서로 높은 함유량을 나타냄.
- 재사용 퇴비의 함수율은 34.11%로 측정되었고, P, K, Zn, Cr, Ni순서로 높은 함유량을 나타냄.

<표-35> 주요 원료의 C/N비 분석 결과

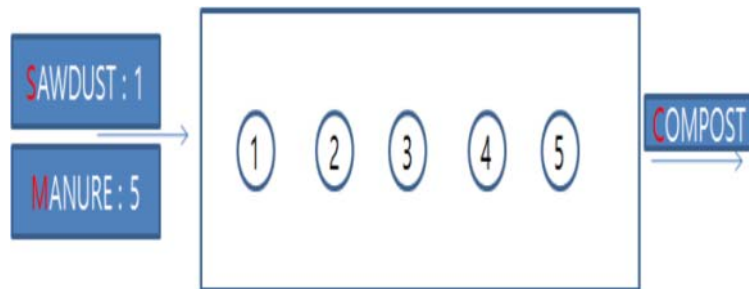
샘플 명	Nitrogen %	Carbon %	C/N 비
톱밥	0.0736	44.33	602.31
돈분	2.21	45.39	20.53
재사용 퇴비	1.50	40.90	27.24

- <표-35>은 주요 원료의 C/N비 분석결과를 나타냄.
- 톱밥의 경우 탄소의 함유량은 44.33%, 질소의 함유량이 0.0736%로 나타나 돈분과 재사용 퇴비의 함유량보다 극히 미량이 포함되어 있는 결과를 나타냄.
- 따라서 톱밥의 경우 C/N비가 602.31로 측정되어 돈분과 재사용 퇴비보다 C/N비가 높게 나타남.
- 돈분과 재활용 퇴비의 경우 각각 C/N비가 20, 27로 나타났으며, 탄소의 비율은 45%와 40%로 나타났고, 질소의 함량은 각각 2.21%와 1.5%로 나타남.

다. 완숙퇴비 일부를 수분조절제로 이용하여 1차발효 공정을 RECYCLE 함으로써 퇴비생산비 30%이상 절감

※ < 현장실험 I - 용인시 처인구 >

(1) 일반 운전 조건



<그림-16> 일반 운전 조건 모식도

- 퇴비 생산을 위한 분뇨와 톱밥의 투입은 오전 오후 2회에 걸쳐 진행 함.
- 투입 시 톱밥과 분뇨의 배합비율은 주요 원료의 함수율 측정 결과에 따라 투입함수율 60~65%로 만들어 실험을 진행함.
- 일반 운전조건인 주요 원료의 함수율은 돈분 72%, 27.3%로 측정됨.

- 투입 시 배합비율은 Eq.1을 이용하여 돈분의 양에 따른 톱밥의 비율을 산정 후 최종 배합비율을 산정하여 혼합물을 투입함.

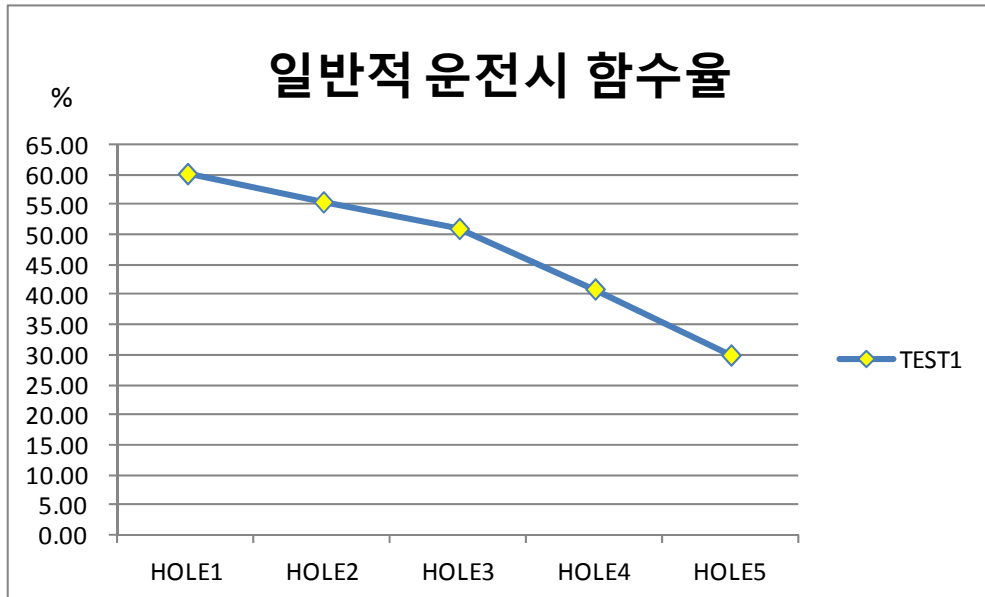
<Eq. 1>일반적 운전 시 퇴비생산 주원료 배합계산식

$$S_c X_c + S_r X_r = S_m (X_c + X_r)$$

$$S_m = \frac{S_c X_c + S_r X_r}{X_c + X_r}$$

S_c : 톱밥의 함수율 X_c : 톱밥의 양
 S_r : 돈분의 함수율 X_r : 돈분의 양
 S_m : 혼합물의 함수율

(가) 일반 운전 시 생산퇴비의 함수율 분석



<그림-17> 일반 운전 시 생산퇴비의 함수율 분석

- 일반적 운전 시 함수율은 투입함수율 60%에서 약 30%까지 줄어든 것을 확인함.
- 이때의 각 샘플 채취구 HOLE 1 ~ 5의 온도는 다음 표와 같음

<표-36> 일반적 운전 시 각 구간별 평균온도

샘플 채취구	HOLE 1	HOLE 2	HOLE 3	HOLE 4	HOLE 5
평균 온도(°C)	51.8	62.07	57.8	53.73	51.26

- 평균발효 온도는 투입 후 온도가 서서히 증가하며 2번 샘플 채취구(HOLE 2)에서 가장 높은 온도를 나타내었으며, 서서히 발효온도가 감소하는 현상을 보임.

(나) 일반 운전 시 생산퇴비의 중금속 성분 분석

<표-37> 일반적 운전 시 생산퇴비의 중금속 분석

샘플링 위치	합수율			중금속 함유량		
	sample name	wet weight(g)	dry weight(g)	moist content(%)	성분	함유량(PPM)
INPUT	IN 1	50.3	21.3	57.7	K	7.710
					P	14.925
	IN 2	50.4	21.6	57.2	As	0.35
					Cd	0.013
	IN 3	50.5	21.1	58.2	Pb	0.5
					Cr	7.65
	Avg	50.40	21.33	57.7	Cu	2.786
Ni					4.15	
Zn					782.25	
HOLE 1	H1-1	10.12	4.05	60.02	K	6862.5
					P	13.395
	H1-2	11.74	4.66	60.27	As	0.45
					Cd	0.275
	H1-3	11.82	4.71	60.14	Pb	0.45
					Cr	8.1
	Avg	11.23	4.47	60.14	Cu	64.6
Ni					4.175	
Zn					776.75	
HOLE 2	H2-1	11.33	4.96	56.24	K	7.750
					P	16.502.5
	H2-2	11.35	5.08	55.28	As	0.425
					Cd	0.35
	H2-3	10.84	4.90	54.81	Pb	0.8
					Cr	10
	Avg	11.17	4.98	55.44	Cu	105.45
Ni					5.625	
Zn					1041	
HOLE 3	H3-1	11.59	5.79	50.03	K	7.737.5
					P	13.282.5
	H3-2	12.26	6.13	49.98	As	0.375
					Cd	0.375
	H3-3	12.68	5.96	53.02	Pb	0.6
					Cr	13.9
	Avg	12.18	5.96	51.01	Cu	68.375
Ni					6.8	
Zn					752.25	
HOLE 4	H4-1	11.30	6.57	41.88	K	7142.5
					P	12.882.5
	H4-2	11.75	7.12	39.36	As	0.325
					Cd	0.3
	H4-3	11.04	6.45	41.56	Pb	0.375
					Cr	17.65
	Avg	11.36	6.71	40.93	Cu	54.6
Ni					8.925	
Zn					744.75	
HOLE 5	H5-1	10.25	7.15	30.24	K	5250
					P	6822.5
	H5-2	11.12	7.76	30.22	As	0.275
					Cd	0.35
	H5-3	10.27	7.26	29.33	Pb	0.5
					Cr	17.8
	Avg	50.40	21.33	57.70	Cu	28.875
Ni					8.975	
Zn					403	
OUTPUT	OUT 1	10.77	6.92	35.69	K	4210
					P	6355
	OUT 2	10.17	6.61	34.95	As	0.525
					Cd	0.3
	OUT 3	10.17	6.95	31.69	Pb	0.3
					Cr	48.325
	Avg	50.40	21.33	57.70	Cu	20.9
Ni					15.775	
Zn					241.55	

- <표-37>는 일반 운전 시 생산퇴비의 함수율 및 중금속 함유량 결과를 나타냄.
- 생산이 완료된 퇴비의 함수율은 34.11%로 농촌진흥청 비료공정규격에 고시된 함수율 55% 이하에 충족하며 비소, 카드뮴, 수은, 납, 크롬, 구리, 니켈, 아연 모두 함유할 수 있는 유해성분 최대량 기준에 적합함.

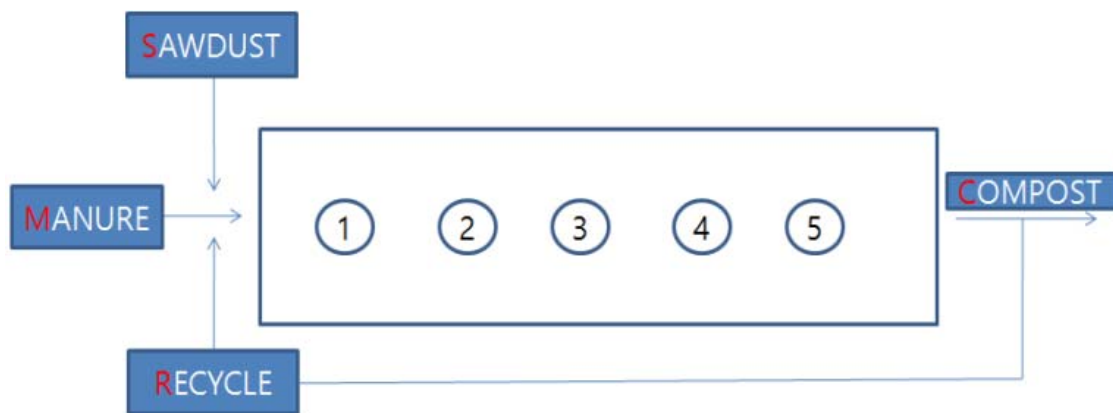
(다) 일반 운전 시 생산퇴비의 C/N비 분석

<표-38> 일반적 운전 시의 C/N비 분석 결과

샘플 명	Nitrogen %	Carbon %	C/N 비
Input	2.035	45.44	22.33
Hole 1	2.161	42.91	19.86
Hole 2	2.195	40.91	18.66
Hole 3	1.171	41.16	24.07
Hole 4	1.183	42.79	36.17
Hole 5	1.194	43.13	36.12
Output	1.501	40.90	27.25

- <표-38>는 일반적 운전시의 C/N비를 결과임.
- 전체적인 C/N비는 비료공정규격에 고시된 C/N비인 40이하를 충족함.
- 3~5번 샘플채취구의 퇴비샘플은 배합 시 분뇨의 양이 적게 혼합된 것으로 판단이 됨.
- 이는 혼합당시의 작업자의 배합미숙으로 판단이 됨.

(2) 30% 퇴비 재순환 사용 시 운전 조건



<그림-18> 퇴비 재사용을 위한 배합방법 모식도

- <그림-19>은 1번 샘플링 구간부터 5번 샘플링 구간까지의 함수율 감소 경향을 나타냄.
- 3번 샘플링 홀부터 4번 샘플링 홀 사이 구간에서 급격한 함수율 감소를 나타냄.

<표-39> 퇴비 재사용 시 각 구간별 평균온도

샘플 채취구	HOLE 1	HOLE 2	HOLE 3	HOLE 4	HOLE 5
평균 온도(°C)	51	60.67	59.13	58.40	57.60

- 평균발효 온도는 일반적 운전 시와 같이 투입 후 온도가 서서히 증가하며 2번 샘플 채취구 (HOLE 2)에서가장 높은 온도를 나타내었으며, 서서히 발효온도가 감소하는 현상을 보임.
- 각 지점의 평균 발효온도는 일반적 운전 시 보다 높게 측정이 됨.
- 함수율 측면에서는 최초 함수율 60%에서 44%까지 전체적인 감소 추세를 보이거나 일반적 운전 시 보다 감소의 폭은 적은 것으로 나타남.

(나) 퇴비 재사용 운전 시 생산퇴비의 중금속 성분 분석

<표-40> 퇴비 재사용 운전 시 생산퇴비의 함수율 및 중금속 성분결과

샘플링 위치	함수율				중금속 함유량	
	sample name	wet weight(g)	dry weight(g)	moist content (%)	성분	함유량(PPM)
INPUT	IN 1	10.17	4.35	57.24	K	7,322.5
					P	13,750
	IN 2	10.40	4.41	61.35	As	0.2
					Cd	0.325
	IN 3	10.51	4.40	58.19	Pb	0.6
					Cr	7.275
	Avg	10.36	4.39	58.93	Cu	63.975
Ni					3.625	
Zn					726.75	
HOLE 1	H1-1	22.59	8.87	60.76	K	9,417.5
					P	18,117.5
	H1-2	22.27	8.68	61.02	As	0.45
					Cd	0.325
	H1-3	21.58	8.51	60.56	Pb	0.625
					Cr	10.15
	Avg	10.36	4.39	58.93	Cu	113.325
Ni					5.475	
Zn					1,128.25	
HOLE 2	H2-1	20.06	8.35	58.37	K	9,892.5
					P	22,112.5
	H2-2	21.53	8.96	58.38	As	0.2
					Cd	0.325
	H2-3	21.46	8.87	58.67	Pb	0.7
					Cr	11.375
	Avg	22.15	8.69	60.78	Cu	139.975
Ni					6.125	
Zn					1,313	

HOLE 3	H3-1	22.31	9.63	56.85	K	10,060
					P	26,075
	H3-2	22.75	9.71	57.33	As	0.25
					Cd	0.35
	H3-3	21.72	9.28	57.29	Pb	0.8
					Cr	17.35
	Avg	9.02	5.04	29.47	Cu	152
				Ni	8.65	
				Zn	1,552.5	
HOLE 4	H4-1	14.07	7.79	44.66	K	10,480
					P	22,932.5
	H4-2	14.07	8.11	44.83	As	0.125
					Cd	0.325
	H4-3	14.20	7.88	44.52	Pb	0.85
					Cr	14.25
	Avg	14.01	6.99	47.01	Cu	126.425
				Ni	7.275	
				Zn	1429	
HOLE 5	H5-1	13.20	7.35	44.32	K	10,842.5
					P	21,412.5
	H5-2	13.38	7.44	44.41	As	0.1
					Cd	0.3
	H5-3	13.69	7.67	44.01	Pb	0.575
					Cr	18.525
	Avg	0.00	0.00	0.00	Cu	128.575
				Ni	8.775	
				Zn	1543.5	
OUTPUT	OUT 1	13.22	7.11	46.2	K	396.8
					P	790.4
	OUT 2	11.20	5.98	46.6	As	0.006
					Cd	0.013
	OUT 3	13	6.97	46.4	Pb	0.03
					Cr	0.75
	Avg	17.83	8.01	48.03	Cu	5.111
				Ni	9.25	
				Zn	1,511.75	

- <표-40>은 생산된 퇴비를 일부 초기단계로 반환시켜 생산한 퇴비의 함수율 및 중금속 함량을 측정한 결과임.
- 발효조 내부의 함수율은 점차적으로 감소하는 추세를 보임.
- 생산된 퇴비의 함수율은 농촌진흥청 비료공정규격에 고시된 함수율인 55%이하를 충족시키는 46.4%로 측정됨.
- 이를 통해 생산된 퇴비의 중금속 함유량은 아연을 제외한 모든 중금속이 농촌진흥청 비료공정규격에 적합한 것으로 나타남.
- 아연의 경우 퇴비생산 원료 중 톱밥의 배합비율이 일반적인 운전 시보다 적게 포함되어 나타나는 결과로 판단됨.
- 이는 추후 배합비율에서 톱밥과 재사용퇴비의 비율을 조절하여 중금속 함유량 조절이 필요한 것으로 판단됨.

(다) 퇴비 재사용 생산퇴비의 C/N비 분석

<표-41> 일반적 운전 시의 C/N비 분석 결과

샘플 명	Nitrogen %	Carbon %	C/N 비
Input	2.451	45.68	18.64
Hole 1	2.172	42.28	19.47
Hole 2	2.358	41.08	17.42
Hole 3	2.075	40.64	19.59
Hole 4	2.128	40.61	19.8
Hole 5	1.954	52.20	21.60
Output	2.251	40.41	17.95

- <표-41>은 각 지점의 샘플의 C/N비를 측정한 결과임.
- 모든 샘플의 C/N비는 비료공정규격에 고시된 탄소와 질소의 비인 40이하를 충족함.

(3) 생산퇴비 30%재순환에 따른 톱밥사용량 분석

<표-42> 퇴비 원료 사용량

일반적 운전 시 원료 사용량		퇴비 30% 재사용 시 원료 사용량		
돈분	톱밥	돈분	톱밥	재사용 퇴비
10	3.25	10	2	2

- <표-42>는 일반적 운전 시 소요되는 원료의 사용량과 생산퇴비의 30%를 재순환 사용하기 위한 원료의 사용량임.
- 반출되는 퇴비의 30%를 투입구로 이송시켜 사용함.
- 일반적인 운전시의 톱밥사용량 보다 1.25ton의 톱밥을 적게 사용함.
- 중금속 함유량 중 아연의 함유량을 낮추기 위한 톱밥의 사용량을 높여야 할 것으로 판단되지만, 일반적인 운전시보다 적은 톱밥을 사용함을 알 수 있음.

※ < 현장실험 II - 제주시 동부축산 >

(4) 제주 동부축산 원통수평형 직렬 2단 발효기



<그림-20> 제주 직렬 2단 발효기, 퇴비 반출구, 최종 생산 퇴비

- 제주 동부축산의 원통수평형 발효기의 퇴비의 성분분석결과는 다음과 같음.
- 제주 동부축산의 퇴비장치의 경우 샘플링 가능한 구간이 없어 최종 생산된 퇴비만을 분석함.
- 분석 방법은 이전 실험과 동일하게 퇴비의 함수율, 중금속 함유량, C/N비를 측정함.

<표-43> 제주 동부축산 직렬 2단 발효 시의 생산퇴비의 함수율 및 중금속 분석 결과

샘플링 위치	함수율(%)				중금속 함유량	
	sample name	wet weight(g)	dry weight(g)	moist content(%)	성분	함유량 (PPM)
Jeju OUTPUT	OUT 1	12.4	10.07	18.83	K	5,860
					P	9,542.5
					As	0.675
	OUT 2	11.56	9.38	18.89	Cd	0.3
					Pb	0.275
					Cr	9.825
	OUT 3	12.13	9.79	19.28	Cu	26.2
	Avg	12.03	9.75	19	Ni	5.225
					Zn	265.75

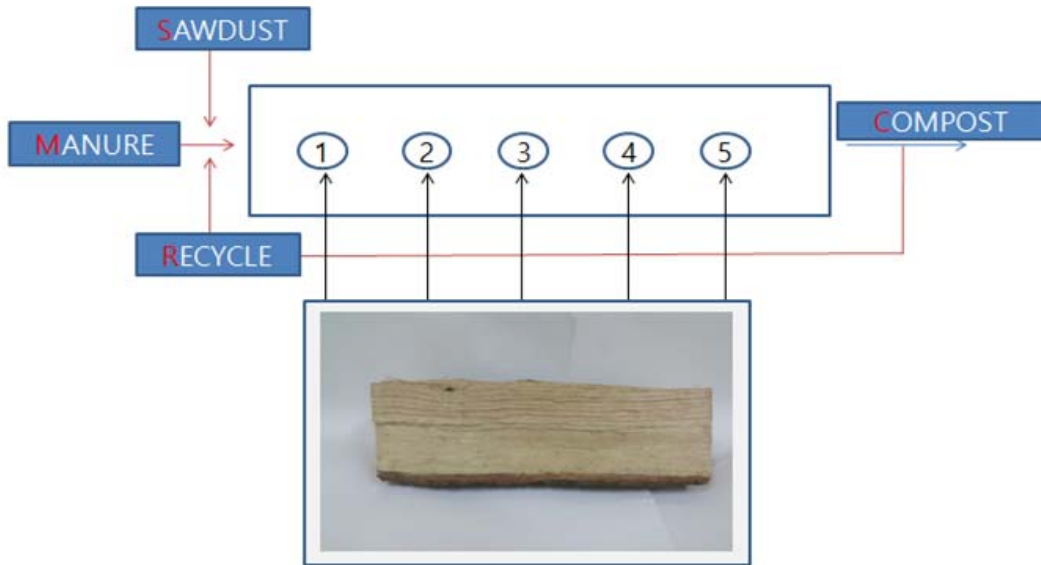
<표-44> 직렬 2단 발효시의 생산퇴비의 C/N비 측정 결과

샘플 명	Nitrogen %	Carbon %	C/N 비
Jeju compost	3.09	47.91	15.50

- <표-43 ~ 44>은 제주 동부축산의 원통수평형 발효기에서 생산한 퇴비의 함수율, 중금속 함유량, C/N비를 측정한 결과임.

(5) 원활한 공급을 다양화하기 위해 우리나라 수목을 선정하고 Wood Block의 성형을 통한 공극개선제 개발

(가) 우드블럭 공극개선효과 검증을 위한 예비실험



<그림-21> 우드블럭 공극개선효과 검증을 위한 예비실험

- 본 실험은 톱밥, 돈분, 재사용퇴비로 퇴비생산하는 과정에서 함수율 저감효과를 확인하기 위해 참나무로 가공된 가로 10cm, 세로10cm, 높이30cm의 우드블럭을 1~5번 샘플 채취구로 각 10개씩 투입함.
- 투입된 퇴비생산 원료는 퇴비 재사용 실험과 동일한 비율로 원료를 투입함.
- 퇴비 반출시 반출되는 우드블럭은 1번 투입구로 재투입하여 실험을 진행함.
- 일반 운전 시, 퇴비 재사용 운전 시와 동일한 방법으로 샘플을 채취 및 전처리를 진행
- 우드블럭을 이용한 공극개선효과를 확인하기 위해 함수율을 측정하였고, 퇴비의 성분을 검증하기 위한 ICP 중금속 측정, C/N비를 측정함.

(나) 우드블럭의 공극개선효과 검증을 위한 운전 시 생산퇴비의 중금속 성분 분석

<표-45> 생산퇴비 중금속 성분 분석

샘플링 위치	함수율				중금속 함유량	
	sample name	wet weight(g)	dry weight(g)	moist content(%)	성분	함유량(PPM)
HOLE 1	H1-1	15.215	8.97	41.5	K	10,427.5
					P	20,490
	H1-2	15.045	8.915	40.7	As	0
					Cd	0
	H1-3	15.252	9.286	39.1	Pb	0.455
					Cr	9.5
	Avg	15.17	9.06	40.43	Cu	134.375
					Ni	5.225
Zn					1,317.75	
HOLE 2	H2-1	15.451	10.027	35.1	K	9,385
					P	22,300
	H2-2	16.444	10.598	35.55	As	0
					Cd	0
	H2-3	15.429	9.915	35.74	Pb	0.45
					Cr	10.35
	Avg	15.17	9.06	40.43	Cu	153.225
					Ni	5.425
Zn					1,414.75	
HOLE 3	H3-1	17.439	9.019	48.28	K	14,655
					P	29,550
	H3-2	15.095	7.863	47.91	As	0
					Cd	0
	H3-3	16.198	8.43	47.96	Pb	1.1
					Cr	16.175
	Avg	15.77	10.18	35.46	Cu	210.5
					Ni	8.3
Zn					191.25	
HOLE 4	H4-1	16.387	7.865	52	K	14,535
					P	28,500
	H4-2	17.628	8.381	52.46	As	0
					Cd	0
	H4-3	17.452	8.269	52.62	Pb	0.8
					Cr	18.725
	Avg	16.24	8.44	48.05	Cu	200.85
					Ni	9.9
Zn					1,891.25	
HOLE 5	H5-1	20.632	8.44	59.09	K	14,952.5
					P	30,425
	H5-2	18.394	7.435	59.58	As	0
					Cd	0
	H5-3	16.57	6.751	59.26	Pb	0.75
					Cr	16.775
	Avg	17.16	8.17	52.36	Cu	213.325
					Ni	8.025
Zn					2,004.25	

- <표-45>는 우드블럭의 공극개선효과 검증을 위한 운전 시 생산퇴비의 함수율 및 중금속 성분 분석 결과임.
- 중금속 함유량 분석결과 아연을 제외한 모든 중금속은 농촌진흥청의 비료공정규격에 적합함.
- 함수율의 경우 발효현장에서 원료투입이 일정하지 못하여 각 위치별 함수율이 일반적 운전시와 재사용 운전시 보다 높게 나타남. 이는 추후 원료투입을 안정적으로 할 수 있는 대응 방향설정 및 배합비율 재선정을 통해 추가실험이 필요로 할 것으로 판단됨.

(다) 우드블럭의 공극개선효과 검증을 위한 운전 시 생산퇴비의 C/N비 분석

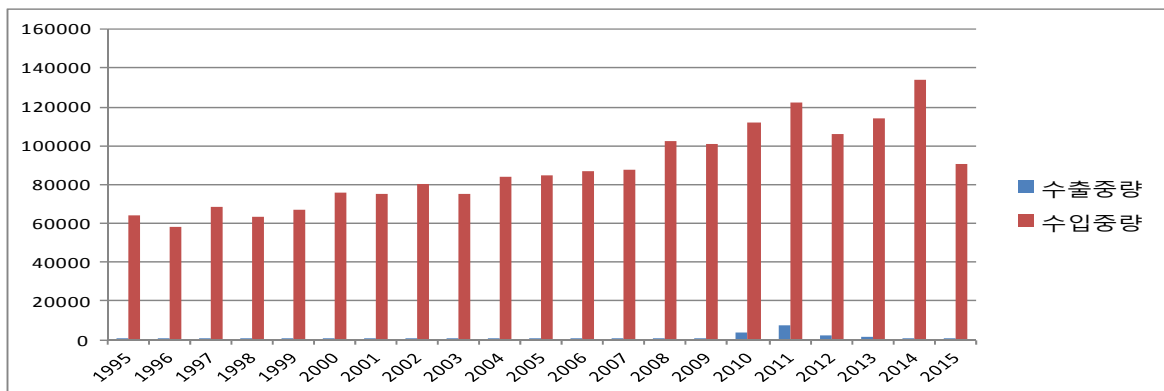
<표-46> 우드블럭의 공극개선효과 검증을 위한 운전 시의 C/N비 분석 결과

샘플 명	Nitrogen %	Carbon %	C/N 비
Hole 1	2.17	44.20	20.37
Hole 2	2.36	43.03	18.27
Hole 3	2.70	43.77	16.19
Hole 4	2.66	43.68	16.40
Hole 5	2.58	43.97	17.05

- <표-46>은 우드블럭의 공극개선효과 검증을 위한 운전 시의 C/N비 분석 결과임.
- C/N비 측정결과 모든 샘플은 농촌진흥청 비료공정규격의 40이하의 C/N비를 충족하는 것을 확인함.

(라) 커피 생산 부산물(은피)을 이용한 퇴비생산비용 경제성 분석 및 화학적 분석

(3) 커피 생두 수입량 분석 및 이용가능성 분석



<그림-22> 커피 수출, 입량 비교 (출처: 관세청 품목별 수출입 실적[1995-2015])

- 국내의 커피 원두 수입량은 상기 그래프와 같음.
- 1995년부터 커피시장은 꾸준히 성장하는 추세를 그에 따라 커피 생두의 수입량 역시 성장하는 추세임.
- 은피란 커피콩을 로스팅하는 과정에서 발생하는 부산물로 커피에 남으면 기분 나쁜 신맛을 내기에 로스팅 과정에서 제거함.
- 커피시장의 성장에 따라 커피생산 부산물인 은피의 발생역시 증가하며, 은피는 현재 전량 폐기함.

(4) 은피의 특성 파악

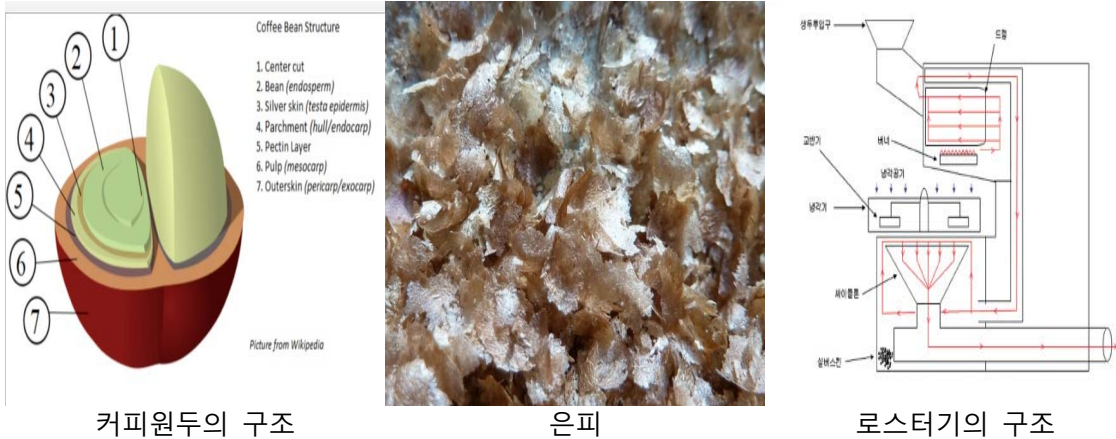
<표-47> 은피의 함수율 및 중금속 함유량 측정결과

	함수율				중금속 함유량	
	sample name	wet weight(g)	dry weight(g)	moist content(%)	성분	함유량(PPM)
Silverskin	Sil 1	10.2	9.437	7.47	K	14,105
					P	43,625
	Sil 2	10.3	9.534	7.43	As	0
					Cd	0
					Pb	0
	Sil 3	10.5	9.696	7.65	Cr	0.085
					Cu	43.525
	Avg	10.33	9.56	7.52	Ni	2.175
					Zn	27.225

<표-48> 은피의 C/N비 측정결과

샘플 명	Nitrogen %	Carbon %	C/N 비
Silverskin	2.31	40.91	17.71

- <표-47 ~ 48>는 은피의 함수율, 중금속 함량 및 C/N비 측정 결과이다.
- 은피의 경우 함수율이 평균 7.52%로 톱밥보다 낮게 측정되었으나, 은피는 커피 로스터기의 구조상 따로 배출이 가능하여 수집의 용이성과, 폐기물 재처리라는 관점에서 큰 장점이 있음.
- 로스팅 과정에서 함수율 저감효과가 있어 톱밥보다 낮은 함수율을 가지므로 톱밥과 혼합하여 사용할 경우 함수율 저감에 효과적으로 사용이 가능할 것으로 판단됨.



커피원두의 구조

은피

로스터기의 구조

<그림-23> 커피콩 및 로스터기의 구조

다. 생산퇴비를 이용한 작물생육실험을 통한 생산퇴비의 품질 검증

(1) 생산퇴비의 작물 생육실험

(가) 퇴비의 품질이 국화의 성장과 중금속 흡수에 미치는 영향 비교

- ① 연구 목적: 생산퇴비를 이용한 작물의 중금속 축적량 확인
- ② 재료 및 방법:

- 본 실험에서는 용인시 처인구의 원통수평형 퇴비화 장치에서 생산된 퇴비와 일반적으로 구입 가능한 가축 분퇴비를 이용한 작물생육 비교 실험임.

③ 생육작물: 국화

- 국화는 줄기를 수확 후 2주간 양액에 담구어 두었다 정식함.

(나) 퇴비 혼합비율

<표-49> 퇴비와 상토의 혼합 비율 및 생육작물 수

	혼합율	작물[국화] 포기 수
대조구 - 상토	0%	18
용인퇴비 1 (SC1)	10%	18
용인퇴비 2 (SC2)	25%	18
가축분 퇴비 1 (CC1)	10%	18
가축분 퇴비 2 (CC2)	25%	18



<그림-24> 각 혼합율 별 포트

(다) 가축분퇴비와 용인생산퇴비 실험 시 성분 분석항목

<표-50> 가축분퇴비와 용인생산퇴비의 초기성분 분석항목

측정항목	측정내역
물리적	ph, EC
다량 영양소	C, N, P, K
미량 영양소	Na, Mg, Ca Fe
독성 중금속	Cu, Zn, Ni, Pb, Cd

<표-51> 정식 초기 및 실험 후 국화의 특성 측정

측정항목	측정내역
물리적	ph, EC
독성 중금속	Cu, Zn, Pb, Cd



pH meter HM-31P

EC meter cyberscan con110

<그림-25> pH 및 EC측정 장치

- 기타 중금속 측정 장치는 본 과제의 측정장비와 동일함

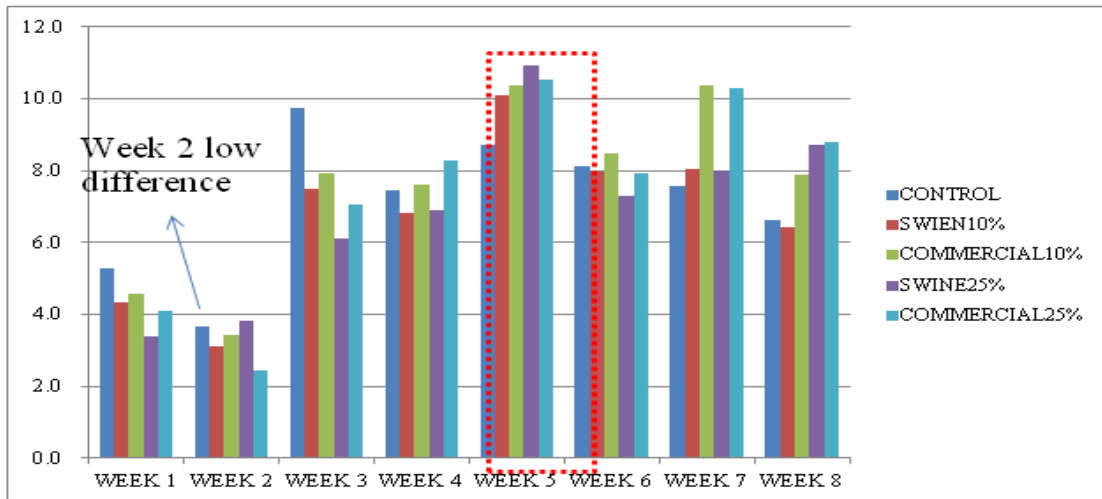
(라) 결과

<표-52> 각 퇴비의 pH 및 EC 측정결과

변수	용인 퇴비	일반 가축분퇴비
pH	5.11	6.51
EC	5.03	7.55

<표-53> 퇴비의 혼합율에 따른 pH와 EC 결과

변수	대조구	SC1	SC2	CC1	CC2
pH	5.84	5.41	5.99	6.69	6.65
EC	1.42	3.15	3.78	4.13	5.88



<그림-26> 각 주별 국화의 평균 성장량 결과

- 실험초기는 상토에 비해 국화 줄기의 성장속도가 늦으나 후반부에는 상토만 사용한 경우보다 빠른 성장을 보임.
- CC1의 경우 CC2보다 성장속도가 빠른 것을 확인함.
- SC1의 경두도 SC2보다 성장속도가 빠르게 나타남.
- 5주차에 모든 실험구가 가장 많은 성장을 함을 확인함.
- 5주차에서는 대조구, SC1, CC1에서 SC2, CC2보다 빠른 성장을 나타냈으나, 6주차부터는 5주차와 대조적으로 SC2, CC2는 증가 추세로, 대조구, SC1, CC1은 감소하는 추세를 나타냄.
- 퇴비의 성상이 좋지 않을 시기에 샘플링한 퇴비를 사용한 결과로 인한 생육부분에서는 일반 가축분퇴비보다 더딘 성장을 보이지만 추후 정상적인 퇴비성상으로 비교실험을 진행한다면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단됨.

3절. 3차 년도 연구개발 내용

1. 대체 수분조절제를 이용한 경종농가 적용성 평가

가. 대체 수분조절제의 경제성 분석 및 퇴비화 시스템 구축

(1) 대체수분조절제의 경제성 분석

- 퇴비생산의 부자재로 쓰이는 대표적 부자재는 톱밥임.
- 대체 수분조절제로 이용이 가능한 우드브리켓과 우드펠렛의 비용은 <표-54>과 같음.

<표-54> 수분조절제 가격비교

구 분	원/20m³	원/m³	원/kg
톱밥	4,400,000	220,000	220
우드브리켓	4,000,000	200,000	175
우드브리켓2			
우드브리켓3			
우드펠렛	6,600,000	330,000	330

- 톱밥의 가격보다 저렴한 수분조절제를 투입하기는 현실적으로 어려움
- 톱밥의 사용량 저감을 위해 퇴비 간 공극을 개선할 수 있는 우드브리켓이나 우드펠렛을 사용하는 것이 바람직하다고 판단됨.
- 우드브리켓은 공극을 개선할 수 있다는 점에서 활용이 가능하나 현장에서 사용목적에 맞게 적용하기에는 어려움이 있음.

<표-55> 재료 간 가격 비교

구 분	원/20m³	원/m³	원/kg
톱밥	4,400,000	220,000	220
우드칩	3,000,000	150,000	150
절단목	3,000,000	150,000	150
우드펠렛	6,600,000	330,000	330

- 공극개선 효과를 극대화하기 위해 전단강도가 높고 재사용이 가능한 절단목, 우드칩 및 우드펠렛을 선정함.
- 절단목의 경우 2차년도 실험에 적용하여 사용하여 공극의 개선을 확인하였지만, 투입 시 스크류의 이송방식에 따라 측면의 채취구로 투입하여야 하는 문제가 있음.
- 따라서 부피가 작고 표면적이 넓은 우드칩과 우드펠렛을 이용하여 공극을 개선함.
- 우드칩과 우드펠렛의 경우 퇴비화 출하 전 단계에서 입자별 분리를 통해 재사용 할 수 있어 경제적임.

(가) 수분조절제 변경을 통한 30% 절감효과 검증

- 본 연구에서는 다양한 방향으로 수분조절제의 사용량을 절감하고자 하였음.
- 수분조절제의 소요량을 판단하기 위해 투입원료의 함수율 분석을 통해 투입비율을 산정함
- 투입원료의 종류와 함수율은 다음과 표와 같이 나타남.

<표-56> 투입원료의 종류 및 함수율

투입 원료	고액분리 고형분	폐사축	톱밥	우드펠렛	리사이클링 퇴비
함수율	78%	85%	25%	6.7%	45%

- 퇴비생산에 가장효율적인 함수율로 알려진 60-65% 함수율을 유지하고자 배합비율을 다음과 같이 산정함.
- 투입물의 혼함을 작업자가 직접함에 따라 함수율의 변화를 고려하여 투입함수율을 63%로 산정하여 적용함.
- 본 실험의 장비는 배합물의 최대 투입 가능량이 2톤임. 따라서 2톤 미만의 배합 실시함.

※ [case 1] 일반적인 퇴비 생산 (고액분리고형분 + 톱밥)

<표-57> 투입원료의 종류 및 함수율

투입 원료	고액분리고형분	톱밥	혼합물
함수율(%)	78	25	63.54
사용량(kg)	800	300	1,100
구매가격(원)	-	220	-
소요비용(원)	-	66,000	-

- 일반적인 퇴비 생산시 800kg의 분뇨를 처리하기 위해 발생하는 톱밥의 사용량은 300kg이 필요하며, 이때 발생하는 소요비용은 66,000원으로 판단됨.

※ [case 2] 펠릿사용 퇴비생산 (고액분리고형분 + 우드펠렛)

<표-58> 투입원료의 종류 및 함수율

투입 원료	고액분리고형분	우드펠렛	혼합물
함수율(%)	78	6.7	63.17
사용량(kg)	800	210	1,010
구매가격(원)	-	330	-
소요비용(원)	-	69,300	-

- 우드펠렛만으로 수분조절할 경우 800kg의 고액분리고형분을 처리하기 위해서는 우드펠렛의 사용량이 210kg이 필요함.
- 단순 소요량으로 판단한다면 회당 90kg 정도 사용량이 절감될 것으로 판단됨.
- 하지만 수분조절제의 구매가격이 톱밥에 비해 높은 처리비용이 발생함.

※ [case 3] 펠렛과 생산폐비 재사용 (고액분리고형분 + 우드펠렛 + 리사이클링 폐비)

<표-59> 투입원료의 종류 및 함수율

투입 원료	고액분리 고형분	폐사축	리사이클링 폐비	우드펠렛	혼합물
함수율(%)	78	85	45	6.7	63.17
사용량(kg)	800	160	480	112	1,552
구매가격(원)	-	-	-	330	-
소요비용(원)	-	-	-	36,960	-

- 고액분리분뇨 800kg과 폐사축 160kg을 처리하기 위해 우드펠렛은 112kg이 필요로 함. 하지만, 우드펠렛만으로 수분을 조절하기에는 추가적인 비용이 많이 발생함으로 이를 생산폐비를 30% 재사용을 통해 추가 수분을 조절함.
- 이 경우의 폐비 생산비용은 36,960원으로 판단되었으며, 톱밥만으로 고액분리고형분을 처리한 case 1에 비해 29,040원의 절감효과가 있을 것으로 판단함.
- 이는 44%의 비용적으로 절감효과를 나타낼 수 있을 것으로 판단함.
- 하지만, 축사의 상황에 따라 분뇨의 함수율 변동범위와 작업자의 판단에 의한 함수율 조절에 추가적인 변동사항을 고려 할 경우도 30%이상의 절감효과를 가질 것으로 판단함.

(2) 원통수평형 퇴비화 시스템의 경제성 강화를 위한 폐사축 처리기능 확인

- 폐사축의 경우 매물과 소각을 통한 처리가 대표적인 방법임.
- 농가에서 폐사축은 매일 소각 또는 매물이 불가능한 상황임.
- 매물 침출수로 인한 악취와 소각의 다이옥신을 해결할 자연분해 방법이 필요함.

(3) 원통수평형 퇴비화 장치의 퇴비 생산시 폐사축 동시처리 가능여부 판단

- 원통 수평형 퇴비화 장치의 공극개선과 폐사축 사용성 판단을 위해 <표-56>과 같이 실험을 실시함.
- 투입 시 고액분리고형분, 톱밥, 폐사축, 우드펠렛의 배합비율은 주요 원료의 함수율 측정
- 결과에 따라 투입함수율 60~65%로 만들어 실험을 진행함.
- 각 실험의 비교를 위해 고액분리고형분과 톱밥만을 이용한 일반적 운전/ 폐사축 적용성 평가를 위해 고액분리고형분, 톱밥, 폐사축으로 구성된 폐사축 운전/ 고액분리고형분, 톱밥, 우드펠렛으로 구성된 공극개선 실험/ 폐사축과 우드펠렛을 이용한 공극개선 실험으로 총 4가지로 분류함.

<표-60> 원통 수평형 퇴비화 시스템 구축의 실험구성

	실험 구성			
	투입원료			
	고액분리고형분	톱밥	폐사축	우드펠렛
일반적 운전시	○	○		
폐사축 운전시	○	○	○	
우드펠렛 운전시	○	○		○
통합 운전시	○	○	○	○

(4) 중금속 결과 분석

<표-61> 고액분리고형분+톱밥

product	농도(ppm)
K	9,980
Cu	361.35
Zn	1,551
Pb	2.1
Cr	13.3
Ni	7.4
Cd	0
As	0
P	45,515

- 고액분리고형분과 톱밥을 이용한 퇴비의 생성의 경우 구리 아연의 측정결과가 기준치를 넘어서는 것을 확인 함.
- 생산퇴비를 직접적으로 사용하기에는 무리가 있음을 확인함.
- 구리와 아연의 함유량이 비교적 낮은 퇴비화 혼합하여 중금속의 함유량을 낮추어 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

<표-62> 고액분리고형분 + 톱밥 + 폐사축

HOLE 1	ppm	HOLE 2	ppm	HOLE 3	ppm	HOLE 4	ppm	HOLE 5	ppm
K	8,330	K	7,960	K	7,705	K	7,980	K	8,195
Cu	211.25	Cu	169.75	Cu	174.55	Cu	187.95	Cu	199.35
Zn	1,489.5	Zn	1282.5	Zn	1,282	Zn	1361	Zn	1,480
Pb	1.9	Pb	1.25	Pb	1.5	Pb	1.3	Pb	1.4
Cr	12.4	Cr	14.25	Cr	12.1	Cr	12.75	Cr	14.4
Ni	7.05	Ni	7.8	Ni	7.15	Ni	7.6	Ni	8.05
Cd	0	Cd	0	Cd	0	Cd	0	Cd	0
As	0	As	0	As	0	As	0	As	0
P	18,310	P	16,810	P	15,005	P	16,030	P	16,460

- 고액분리고형분, 톱밥, 폐사축을 이용한 실험결과 역시 아연과 구리의 함유량이 초과되는 것을 확인함.
- 폐사축을 투입함에 따라 생산퇴비의 구리의 함유량이 고액분리고형분만을 이용한 실험보다 낮은 것으로 측정되었으며 비료공정 규격의 고시된 최대함유량에 만족하는 수치를 나타냄.
- 반면 아연의 경우는 돈분과 톱밥을 이용한 실험과 유사한 경향을 나타냄.
- 폐사축을 투입하여 비료생성을 진행할 경우 아연의 최대함유량 초과로 다른 퇴비와의 혼합을 통해 사용하여야 할 것으로 판단됨.

<표-63> 고액분리고형분 + 톱밥 + 우드펠릿

HOLE 1	ppm	HOLE 2	ppm	HOLE 3	ppm	HOLE 4	ppm	HOLE 5	ppm
K	6,305	K	5,845	K	6,305	K	7,525	K	7,410
Cu	176.1	Cu	189.15	Cu	184.7	Cu	177.3	Cu	188.2
Zn	581	Zn	652	Zn	640	Zn	610	Zn	773
Pb	2.2	Pb	5.15	Pb	3.85	Pb	3.75	Pb	3.7
Cr	28.35	Cr	63.65	Cr	46.45	Cr	32.7	Cr	33.95
Ni	13.25	Ni	28.7	Ni	20.15	Ni	15.75	Ni	15.9
Cd	0	Cd	0	Cd	0	Cd	0	Cd	0
As	0	As	0	As	0	As	0	As	0
P	12,610	P	13,160	P	11,335	P	12,110	P	12,785

- 고액분리고형분과 톱밥, 우드펠릿을 통해 공극을 개선한 실험결과는 상기의 표와 같음
- 구리의 경우 안정적인 수치를 나타냄 아연의 경우도 일반적인 퇴비의 수치보다 낮게 측정되어 직접적으로 사용이 가능할 것으로 판단됨. 중금속 수치는 적절한 것으로 판단

<표-64> 고액분리고형분 + 톱밥 + 폐사축 + 우드펠릿

HOLE 1	ppm	HOLE 2	ppm	HOLE 3	ppm	HOLE 4	ppm	HOLE 5	ppm
K	4,966	K	4,646.5	K	4,717.5	K	4,902.5	K	6,145
Cu	196.1	Cu	168.5	Cu	136.75	Cu	125.65	Cu	158.9
Zn	683	Zn	565.5	Zn	477.8	Zn	478.25	Zn	620.5
Pb	7.15	Pb	3.4	Pb	3.1	Pb	2.65	Pb	2.4
Cr	12.05	Cr	14.6	Cr	15.95	Cr	15.35	Cr	14.6
Ni	5.55	Ni	6.75	Ni	7.35	Ni	7.1	Ni	6.95
Cd	0.1	Cd	0	Cd	0	Cd	0	Cd	0
As	0	As	0	As	0	As	0	As	0
P	17,355	P	168,05	P	13,005	P	12,655	P	16,205

- 고액분리고형분, 톱밥, 폐사축, 우드펠릿을 사용하여 퇴비를 생산한 결과는 상기의 표와 같음.
- 본 처리구에서는 구리와 아연 모두 비료공정규격의 최대함유량을 만족하는 결과를 나타냄. 이는 공극개선제로 사용된 우드칩/펠릿에서 흡수를 통한 저감 효과로 판단됨.
- 폐사축 혈액의 경우 비료공정 규격에서도 사용가능한 물질로 인정되어 함수율 관리만 만족한다면 폐사축을 처리함에 문제는 없을 것으로 판단됨.

(5) 함수율 및 C/N 결과

<표-65> 폐사축 운전시

폐사축 운전시	1	2	3	4	5
함수율[%]	69.1	53.6	68.0	75.4	37.2
C[%]	38.19	43.76	42.20	42.54	42.87
N[%]	2.646	2.621	3.069	9.671	2.150
Sulf.[%]	0.7234	0.3873	0.3363	0.4996	0.3764

<표-66> 우드펠릿 운전시

우드펠릿 운전시	1	2	3	4	5
함수율[%]	56.6	49.0	47.2	44.5	40.9
C[%]	39.82	32.62	37.67	39.61	36.64
N[%]	1.893	1.514	1.968	2.159	2.130
Surf[%]	0.3624	0.4462	0.2872	0.2892	0.3216

<표-67> 통합 운전시

통합 운전시	1	2	3	4	5
함수율[%]	36.1	31.9	32.4	27.1	18.6
C[%]	39.25	38.76	37.76	41.85	38.85
N[%]	2.596	1.908	2.077	1.660	1.873
Surf[%]	0.613	0.623	0.631	0.467	0.468

나. 대체 수분조절제의 경종농가 적용성 평가

(1) 제주시 동부축산



<그림-27> 제주 동부축산

- 제주시 구좌읍 동부축산 영농조합에 설치된 원통수평형 퇴비화 장치를 이용함.
- 본 장비는 주관기관인 비케이환경종합건설에서 납품한 퇴비화 장치임.
- 본 장치는 분뇨, 폐사축의 처리를 위해 설치됨.
- 설치된 퇴비화장치는 20,000두 규모의 농가에서 발생하는 분뇨를 처리함.
- 분뇨와 폐사축을 원통수평형퇴비화 장치를 통해 퇴비를 생산하였으며, 생산된 퇴비를 분석함
- 현장관리자와 법인의 대표의 다년간의 사용으로 폐사축 및 돈분의 처리를 농장 내에서 동시에 할 수 있는 강점을 높이 평가함.
- 하지만 초기 사용 시 측정 장비 없이 정확한 배합비율을 경험적으로 추정하여야 한다는 어려움을 나타냄.
- 현재 경험적 배합으로 퇴비를 생산하며 적정함수율을 유지함.
- 동부축산에서 채취한 퇴비시료의 분석결과는 다음과 같음.

<표-68> 1차 시료분석결과

제주시 동부축산 샘플 1									
함수율[%]	55.55								
성분	K	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Cd	As	p
ppm	3412.5	9.3	116.55	0.7	5.3	2.55	0	0	6660
C [%]	23.58								
N [%]	1.9460								
Sulf. [%]	0.5798								

<표-69> 2차 시료분석결과

제주시 동부축산 샘플 2									
함수율[%]	34.37								
성분	K	Cu	Zn	Pb	Cr	Ni	Cd	As	p
ppm	4614	107	1371.5	344.75	34.95	11.85	0	0	22760
C [%]	39.98								
N [%]	1.9840								
Sulf. [%]	0.605								

다. 대체제로 가능한 수분조절제들에 대한 분석 요망

(1) 수분조절제의 화학적 분석 결과 정리

<표-70> 우드 브리켓 1 분석 결과

우드 브리켓 1	성분	ppm
	K	679.5
	Cd	1.1
	Pb	2.3
	Ni	0.75
	Zn	5.75
	Cu	2.85
	Cr	3.1
	As	0.5

<표-71> 우드 브리켓 2 분석 결과

우드 브리켓 2	성분	ppm
	K	927
	Cd	0.2
	Pb	0.9
	Ni	2.5
	Zn	14.05
	Cu	2.55
	Cr	4.7
	As	0
P	138.6	

<표-72> 우드 브리켓 3 분석 결과

우드 브리켓 3	성분	ppm
	K	980.5
	Cd	0
	Pb	0.5
	Ni	1.15
	Zn	8.8
	Cu	2.1
	Cr	2.45
	As	0
P	106.25	

<표-73> 소나무 우드칩 분석 결과

소나무 우드칩	성분	ppm
	K	449.4
	Cd	0
	Pb	0.3
	Ni	0.65
	Zn	9.75
	Cu	2.2
	Cr	2
	As	0
P	43	

<표-74> 우드펠릿 분석 결과

우드펠릿	성분	ppm
	K	451.6
	Cd	0
	Pb	0.3
	Ni	0.8
	Zn	8.85
	Cu	1.85
	Cr	2.1
	As	0
P	37.4	

<표-75> 참나무 절단목 분석 결과

참나무 절단목	성분	ppm
	K	2289.5
	Cd	0
	Pb	2.35
	Ni	2.1
	Zn	34.1
	Cu	5.95
	Cr	13.65
	As	0
P	172.7	

라. 톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등)의 특성 분석

(1) 물리적 특성 분석

- 수분조절제의 물리적 특성을 분석하기 위해 LLOYD EZ20 만능재료시험기를 이용함.
- 물리적 특성의 분석항목은 <표-72>와 같음.
- 건조 상태의 물리적 특성을 확인하기 위해 모든 샘플은 135℃에서 24시간 가열하여 건조함
- 흡수상태의 물리적 특성을 확인하기 위해 60g의 증류수에 24시간 흡수시킨 후 측정함.
- 전단강도의 경우 발효조 내부에서 파쇄되는 횡력에 대항하는 정도를 판단하기 위해 측정함.

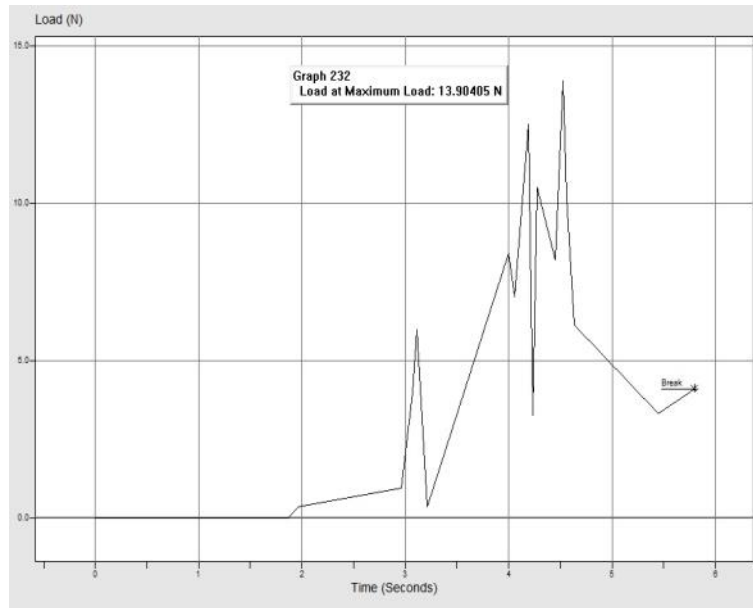
<표-76> 수분조절제의 물리적 특성 분석항목

상태	건조상태		기존상태		흡수상태	
측정항목	중량		함수율/흡수율		전단강도	
측정대상	우드 브리켓 1	우드 브리켓 2	우드 브리켓 3	소나무 우드칩	우드펠릿	참나무 절단목
측정대상크기	3 cm x 3 cm x 1 cm					
측정장비	LLOYD EZ 20					

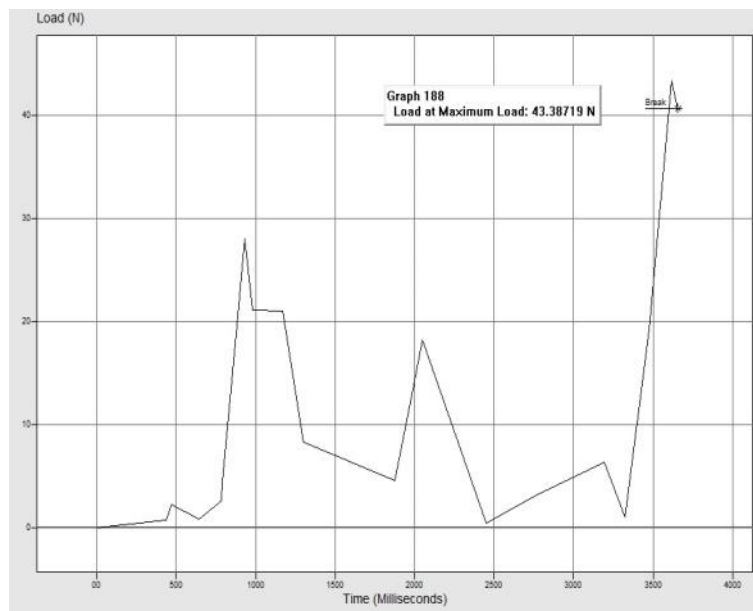
(가) 우드 브리켓 1

<표-77> 우드 브리켓 1 결과 분석

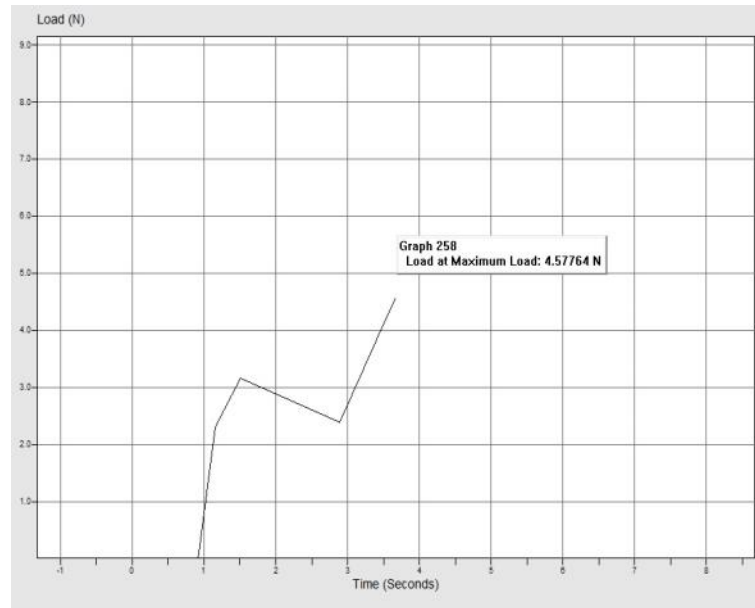
우드 브리켓 1 3 cm x 3 cm x 1cm	상태				
	건조상태		기존상태	흡수상태	
	건조 전	건조 후	무처리	흡수 전	흡수 후
중량 [g]	6.65	5.89	8.881	9.246	40.124
함수율 / 흡수율 [%]	11.42857		-	472.8964	
전단강도[N]	13.90405		43.38	4.57764	



<그림-28> 우드 브리켓 1 건조상태 전단강도 측정



<그림-29> 우드 브리켓 1 기존상태 전단강도 측정



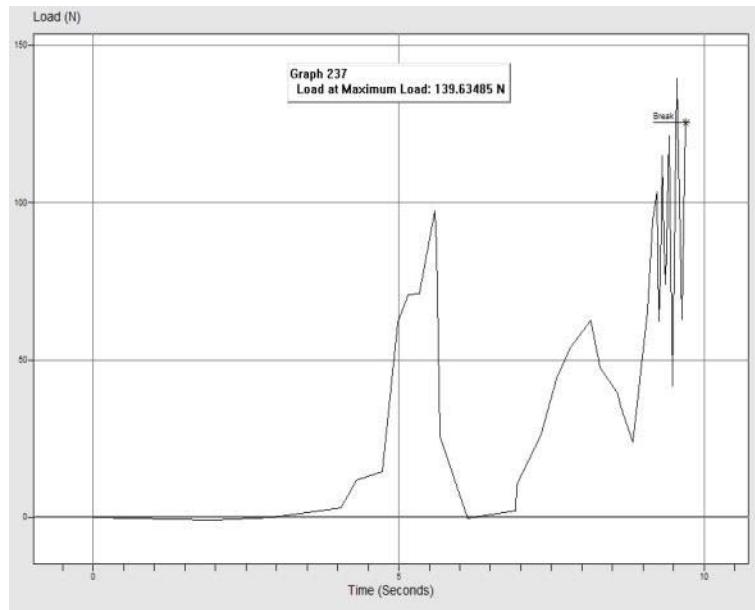
<그림-30> 우드브리켓 1 흡수상태 전단강도 측정

- 우드 브리켓 1의 함수율과 흡수율은 11.42%와 472.89%로 나타남.
- 건조 상태의 전단강도는 13.90N, 기존상태의 전단강도는 43.38N, 흡수상태의 전단강도는 4.57764N으로 측정됨.
- 기존상태의 전단강도가 가장 높게 측정되었고, 물을 흡수하는 경우 전단강도가 급격하게 하락하는 경향을 나타냄.
- 건조 상태의 경우 건조 시 열이 가해짐에 따라 입자간의 결합력이 약해지는 것으로 판단됨.
- 기존상태의 우드 브리켓 1은 퇴비화 초반에는 공극개선의 효과를 보일 것으로 판단되나, 퇴비화 후반에는 수분흡수로 인한 교반시 파쇄되어 재사용 혹은 공극개선효과를 기대하기는 힘들 것으로 판단됨.

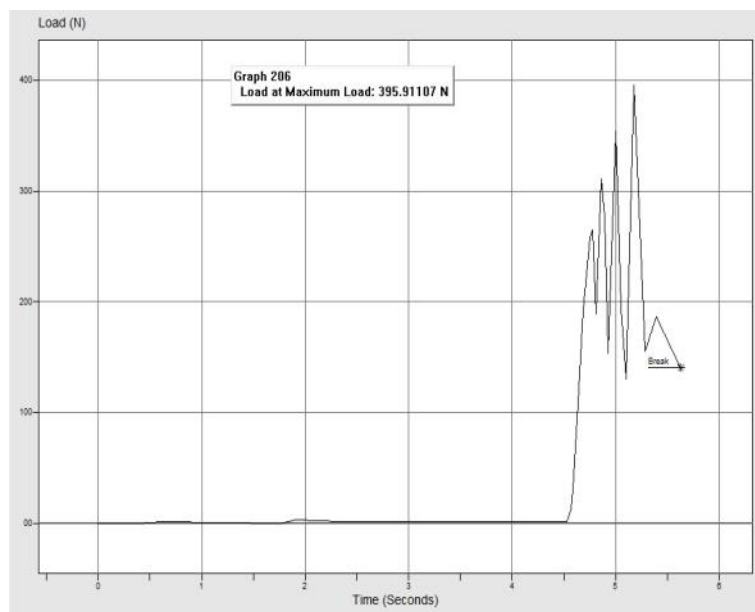
(나) 우드 브리켓 2

<표-78> 우드 브리켓 2 결과 분석

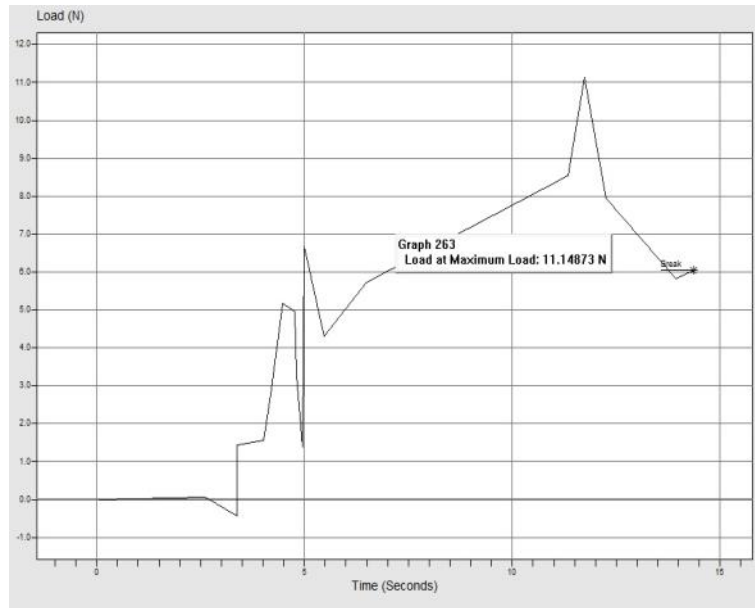
우드 브리켓 2	상태				
	건조상태		기존상태	흡수상태	
	건조 전	건조 후	무처리	흡수 전	흡수 후
중량 [g]	10.91	9.7	10.541	11.883	39.123
함수율 / 흡수율 [%]	11.09074		-	329.235	
전단강도[N]	139		395.911	11.14	



<그림-31> 우드브리켓 2 건조상태 전단강도 측정



<그림-32> 우드브리켓 2 기존상태 전단강도 측정



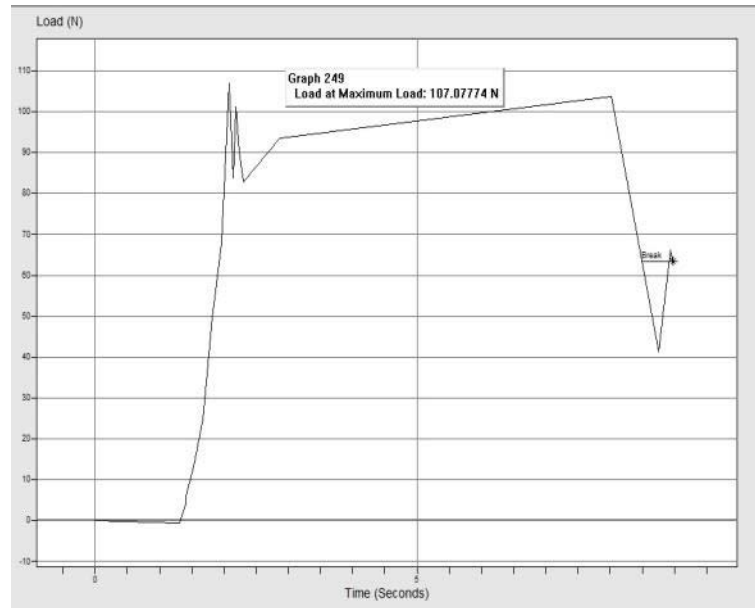
<그림-33> 우드브리켓 2 흡수상태 전단강도 측정

- 우드 브리켓 2의 함수율과 흡수율은 각각 11.09%, 329.235%로 측정됨.
- 우드 브리켓 2의 건조상태의 전단강도는 139N, 기존상태의 전단강도는 395.91N, 흡수 상태에서는 11.14N으로 측정됨.
- 기존상태의 전단강도가 가장 높게 측정이 되었음, 건조상태, 흡수상태 순으로 전단 강도가 높게 나타남.
- 우드 브리켓 2 역시 퇴비화 초반에는 흡수력이 좋아 수분조절에는 용이할 것으로 판단되나, 퇴비화 후반부의 수분의 흡수가 완료된 상황에서는 전단강도가 급격히 감소하여 재사용하여 사용하기는 어려울 것으로 판단됨.

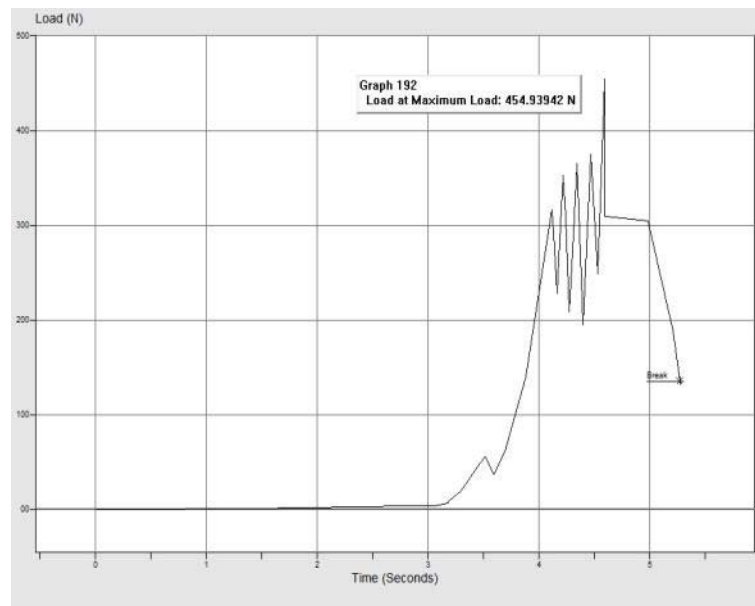
(다) 우드 브리켓 3

<표-79> 우드 브리켓 3 결과 분석

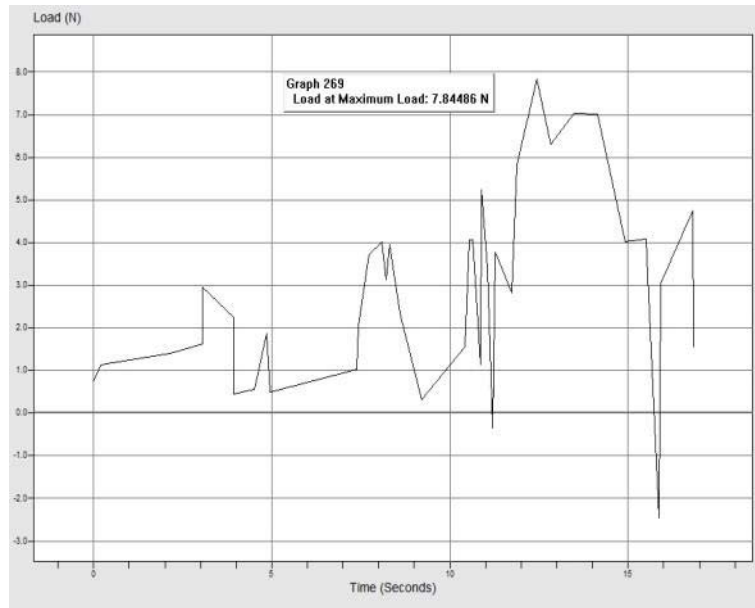
우드 브리켓 3	상태				
	건조상태		기존상태	흡수상태	
	건조 전	건조 후	무처리	흡수 전	흡수 후
중량 [g]	10.21	9	10.21	16.304	57.31
함수율 / 흡수율 [%]	11.85113		-	451.5088	
전단강도[N]	107.077		454.9394	7.84486	



<그림-34> 우드브리켓 3 건조상태 전단강도 측정



<그림-35> 우드브리켓 3 기존상태 전단강도 측정



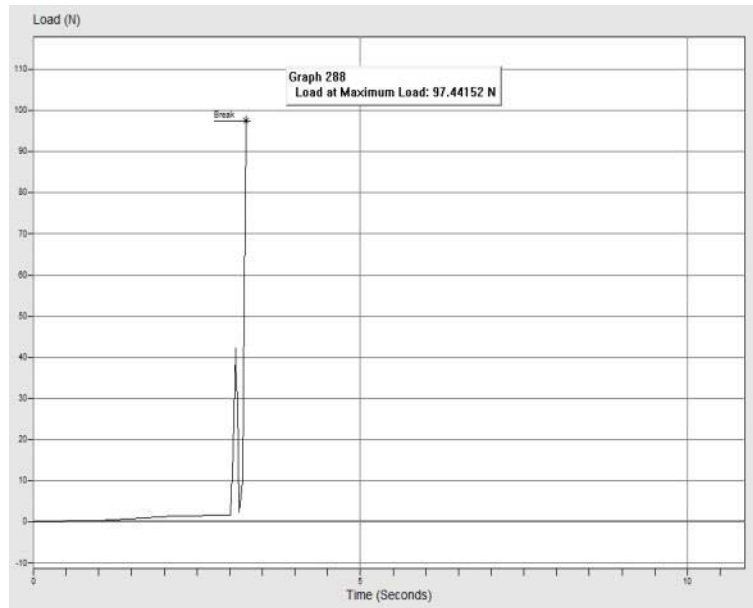
<그림-36> 우드브리켓 3 흡수상태 전단강도 측정

- 우드 브리켓 3의 경우 함수율과 흡수율은 각각 11.85%, 7.84%로 측정됨.
- 우드 브리켓 3의 전단강도의 경우 건조상태 107.077N, 기존상태 454.93N, 흡수상태 7.844N으로 측정됨. 우드브리켓 1~3중 기존상태의 전단강도 면에서는 가장 높은 수치를 나타냄.
- 우드 브리켓 3의 경우도 흡수상태에서 교반 시 원래형상을 유지하기 쉽지 않을 것으로 판단되나, 우드 브리켓을 퇴비화 지점별 추가 공급으로 수분을 조절하기에는 적절한 것으로 판단됨.

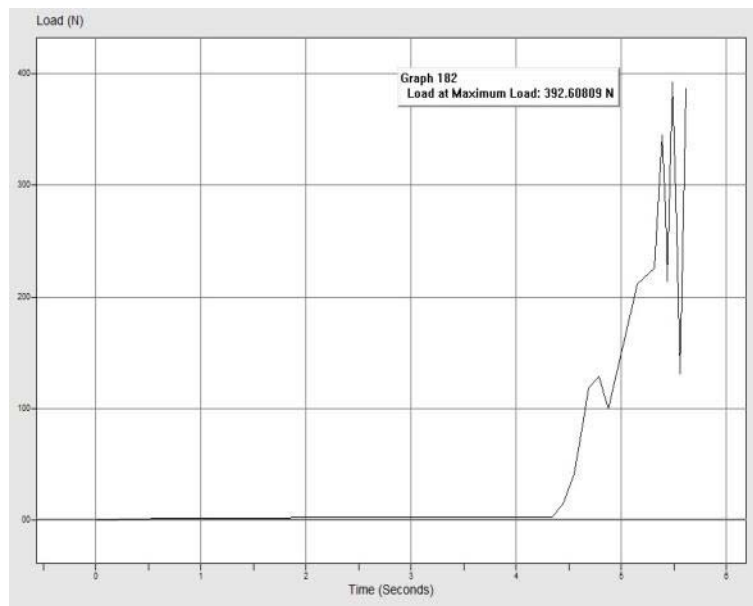
(라) 소나무 우드칩

<표-80> 소나무 우드칩 결과 분석

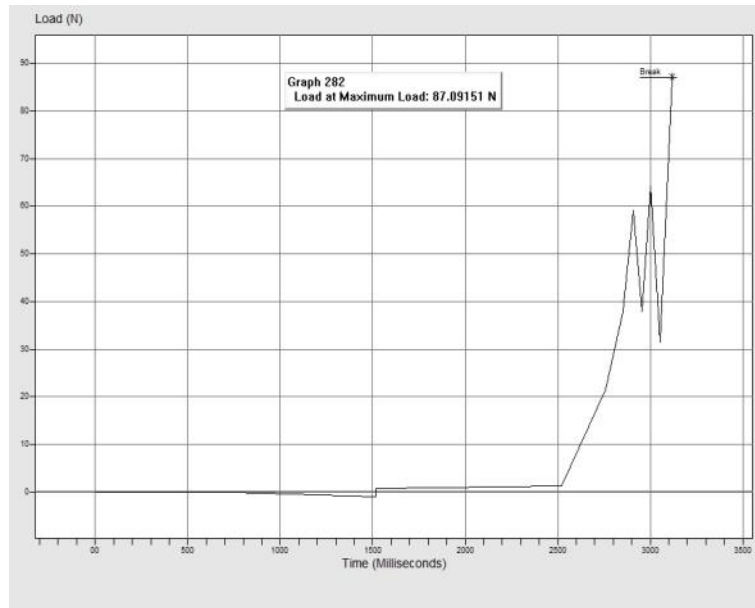
소나무 우드칩	상태				
	건조상태		기존상태	흡수상태	
	건조 전	건조 후	무처리	흡수 전	흡수 후
중량 [g]	0.84	0.705	1.498	5.53	2.073
함수율 / 흡수율 [%]	16.07143		-	266.7631	
전단강도[N]	97.44152		392.60809	87.09151	



<그림-37> 소나무 우드칩 건조상태 전단강도 측정



<그림-38> 소나무 우드칩 기존상태 전단강도 측정



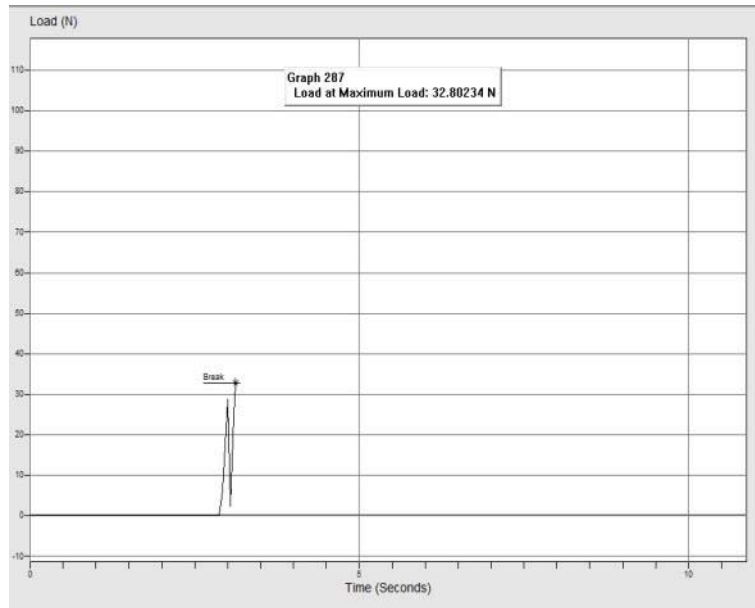
<그림-39> 소나무 우드칩 흡수상태 전단강도 측정

- 소나무 우드칩의 함수율과 흡수율은 16.071%, 266.763%로 측정됨.
- 소나무 우드칩의 전단강도는 건조상태 97.44N, 기존상태 392.60809N, 흡수상태 87.09151N으로 측정되었으며, 기존상태의 전단강도가 가장 높은 것으로 나타남.
- 흡수상태의 전단강도는 우드 브리켓 1~3보다 월등히 높은 것으로 나타나며, 이는 퇴비 생산후기의 공극개선을 위한 교반 시 퇴비와 우드칩 사이에 나타나는 응력을 견딜 수 있을 것으로 판단됨.
- 또한 퇴비생성 초기단계의 함수율을 일부 저감시킬 수 있는 방법으로도 사용이 가능 할 것으로 판단됨.

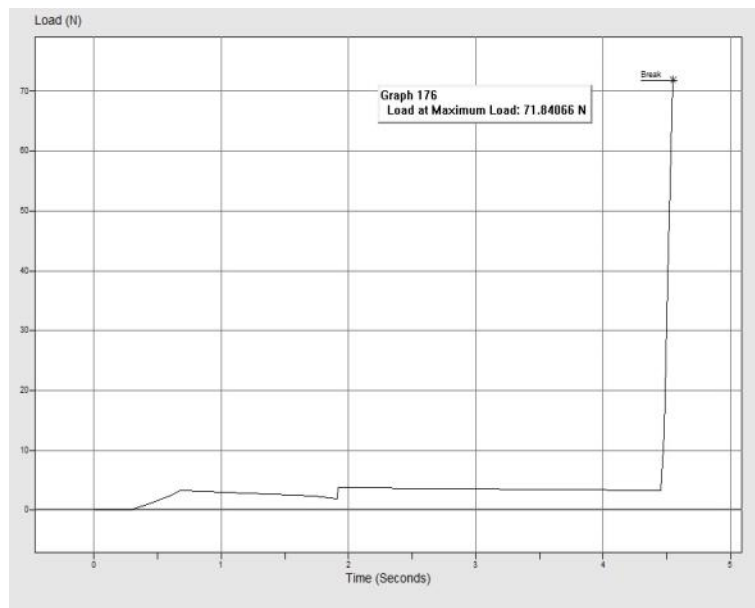
(마) 우드펠릿

<표-81> 우드펠릿 결과 분석

우드펠릿	상태				
	건조상태		기존상태	흡수상태	
	건조 전	건조 후	무처리	흡수 전	흡수 후
중량 [g]	0.68	0.61	0.583	0.591	4.169
함수율 / 흡수율 [%]	10.29412		-	705.4146	
전단강도[N]	32.80N		71.84066	측정불가	



<그림-40> 우드펠렛 건조상태 전단강도 측정



<그림-41> 우드펠렛 기존상태 전단강도 측정



<그림-42> 우드펠렛 흡수상태 전단강도 측정

- 우드펠렛의 함수율은 10.294%로 측정되었으며, 흡수율은 705.41%로 측정됨
- 우드펠렛의 전단강도는 건조상태 32.80N, 기존상태 71.384N로 측정됨.
- 수분 흡수 후 톱밥과 유사한 형상을 나타내므로 재사용을 하기는 어려울 것으로 보이나 퇴비의 다른 공극개선제 대비 이물질 제거의 추가 공정이 없어도 살포에 문제가 없을 것으로 판단됨.
- 또한 압축 성형된 우드펠렛의 경우 최초 투입 후 수분을 흡수하기 전 까지 공극개선의 효과를 추가적으로 기대할 수 있을 것으로 판단됨.

(바) 참나무 절단목

<표-82> 참나무 절단목 결과 분석

참나무 절단목	상태				
	건조상태		기존상태	흡수상태	
	건조 전	건조 후	무처리	흡수 전	흡수 후
중량 [g]	11.62	10.2	11.509	14.359	19.032
함수율 / 흡수율 [%]	12.22		-	132.544	
전단강도[N]	측정불가				



<그림-43> 참나무 절단목 전단강도 측정

- 참나무 절단목의 함수율 및 흡수율은 각각 12.22%, 132.544%로 측정됨.
- 참나무 절단목은 함수율이 우드칩보다 낮아 흡수를 통한 함수율 저감보다 공극개선을 통한 함수율 저감 방법으로 채택하는 것이 적절한 것으로 판단됨.
- 참나무 절단목은 <그림-43>과 같이 전단칼날의 응력이 참나무 절단목의 전단강도보다 낮아 칼날의 휨이 발생함에 따라 참나무의 전단강도는 측정하지 못함.

제 3 장. 연구수행 내용 및 결과 (협동기관 : 부산가톨릭대학교)

코드번호	D-05
------	------

1절. 1차 년도 연구개발 내용

1. 현재 설치되어 가동 중인 국내 가축분뇨 퇴비화 시스템에서 발생하는 공기 오염물질(악취, 분진, 부유 미생물)의 발생 패턴 규명을 위한 현장 조사

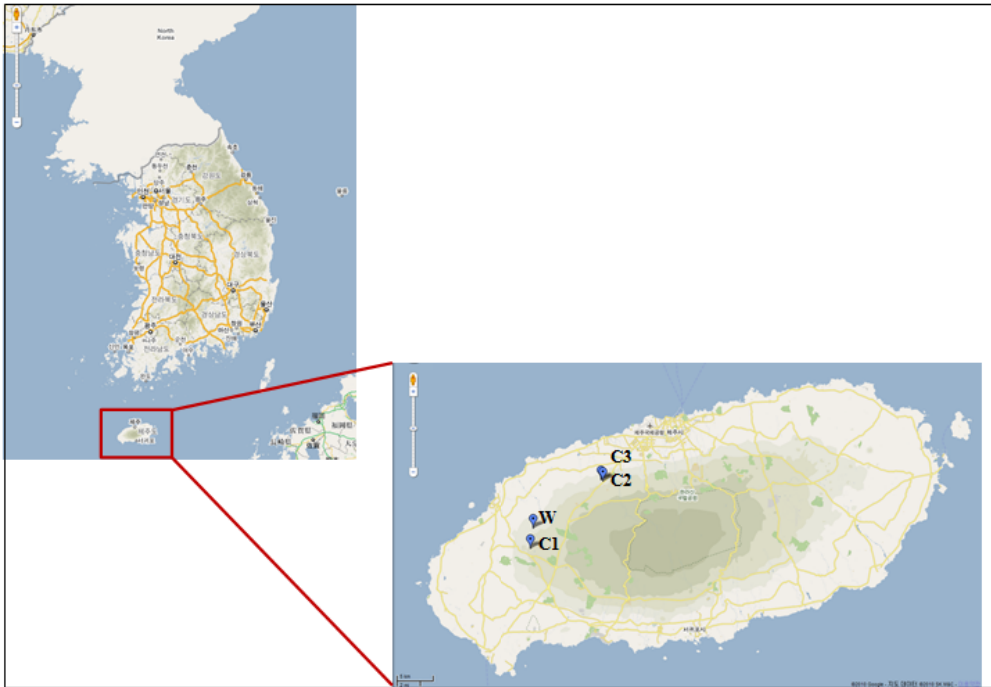
가. 현장 시료채취 시설 선정

- 본 연구는 외부환경요인(산업시설 등의 외부 공기오염 유입 등)을 최소화시킬 수 있는 청정지역인 제주지역을 대상 지역으로 하였으며, 제주지역에 소재한 가축분뇨 퇴비화시설 3개소를 선정.
- 퇴비화시설은 반응기형태 및 교반방식에 따라 횡형 스크류(Screw) 교반방식의 퇴비화시설 1개소, 횡형 로터리(Rotary) 교반방식의 퇴비화시설 1개소, 퇴적형 자연건조화(Natural Dry)방식의 퇴비화시설 1개소가 각각 조사 대상으로 선정.
- <표-1>은 연구대상 시설의 특징을 요약 정리하였으며, <그림-1>은 연구대상 지역의 위치를 보여줌.

<표-1> 현장연구조사 대상시설 선정

지점	반응조 형태	교반방식	처리용량	소재지
C1	횡형	스크류 교반	10(7.5)* ton/day	제주시
C2	횡형	로터리 교반	5(1) ton/day	제주시
C3	퇴적형	자연건조(자연 통기)	3(1.5) ton/day	제주시

* 제시된 처리용량은 최대처리용량이며, ()은 실제처리용량을 의미함



<그림-1> 1차년도 현장 연구대상 시료채취 지점

나. 현장 조사기간

- 본 연구는 2014년 1월부터 2014년 9월(본 연구보고서 제출일 기준)까지 겨울철(1~2월), 봄철(3~5월), 여름철(6~8월), 가을철(9~11월, 조사 예정)에 조사대상 가축분뇨 퇴비화 시설 3개소에 각 1회 현장 방문하여 조사를 실시.
- 본 연구는 1차년도 연구종료시점인 12월 16일까지 가을철 추가 현장조사를 실시 예정.

다. 현장 시료채취 및 분석항목

- 현장 측정은 맑은 날을 기준으로 오후 시간대(13:00 pm~17:00 pm)에 진행.
- 현장 측정과 관련한 시료 채취 항목 및 분석방법은 <표-2>에 정리.
- 측정 지점은 중앙 지면으로부터 상부 1m되는 위치로 하였고, 각 측정시마다 3회 반복으로 시료를 채취하여 평균값을 대푯값으로 함 (<그림-2> 참조).
- 생물학상 유해인자인 부유미생물에 대한 시료채취 및 분석법은 다음과 같음.

<표-2> 현장 시료 채취 항목 및 분석 방법

	항목	시료채취 장비 및 분석방법
가스상 유해인자	암모니아(ammonia)	Portable gas monitor (Gray wolf, Instruments Ltd, USA)
	황화수소(hydrogen sulfide)	
	악취 농도(odor concentration)	Hand-Held Odor (OMX-SR, Shinyei, Japan)
입자상 유해인자	TSP, PM10, PM2.5, PM1	Portable Dust Monitor (Dustmate, TurnKey Instruments Ltd, USA)
생물학상 유해인자	부유세균(airborne bacteria)	1-stage Microbial Sampler (10-890, Tisch Environmental, USA), 6-stage Microbial Samplerr (10-800, Tisch Environmental, USA)
	부유진균(airborne fungi)	



1단 앤더스 샘플러 시료채취 준비 작업
(C1 지점)



1단 앤더스 샘플러를 이용한 부유 미생물 시료채취 모습(C3 지점)

<그림-2> 시료채취 준비 작업 및 시료채취 모습

다. 세부 시료 분석 항목 (생물학상 유해인자)

(1) 부유 세균과 진균

(가) 정량평가

- <그림-3>에서 제시하는 바와 같이 부유 세균과 진균을 채취하기 위해 이용한 장비는 1단 앤더슨 샘플러 (one-stage viable particulate cascade impactor, Model 10-800 Andersen Inc, USA)와 입경별 크기분포를 알아보기 위해 6단 앤더슨 샘플러(6-stage viable particulate cascade impactor , Model 10-800 Anderson Inc, USA)를 사용.
- 각 단계별 공기역학적 직경범위는 stage 1(>7.0 μ m), stage 2(4.7-7.0 μ m), stage 3(3.3-4.7 μ m), stage 4(2.1-3.3 μ m), stage 5(1.1-2.1 μ m), stage 6(0.65-1.1 μ m).
- 시료 포집은 분당 28.3 l의 유량으로 현장 환경 조건에 따라 1~5분 동안 공기를 채취.
- 멸균 확인된 배지를 측정 장비에 삽입하여 공기 시료를 채취한 후 외부 인자에 의한 오염 방지를 위해 현장에서 즉시 실험실용 필름으로 배지를 밀봉한 후 미생물 분석실로 운반.
- 부유 세균 분석을 위한 배지는 진균 생장을 억제하기 위해 cycloheximide 500mg이 첨가된 세균용 배지 Trypticase Soy Agar (TSA) (Lot 3087230, Becton Dickinson and Company, USA), 부유 진균은 반대로 세균의 생장을 억제하기 위해 chloramphenicol 100 mg이 첨가된 진균용 배지 Sabourand Dextrose Agar (SDA) (Lot 5111476, Becton Dickinson and Company, USA)로 선정(<그림 4> 참조).
- 배양 조건은 부유 세균의 경우 30~37 $^{\circ}$ C 조건하에서 24~48 시간 동안, 부유 진균의 경우 실온 조건 (15~25 $^{\circ}$ C) 하에서 72시간 이상으로 함.
- 부유 세균과 진균의 농도는 각 배지에서 배양된 집락 (colony) 수를 시료 채취 공기량 (m^3)으로 나눈 cfu m^{-3} 의 단위로 산출 (식 1,2 참조).

cfu (Colony Forming Unit)/ m^3

= Colony counted on agar plate / Air volume(m^3) 식(1)

Air volume (m^3) = 28.3 ℓ /min x sampling time(min)/10³..... 식(2)



<그림-3> 공기시료 채취장비 (Left: 1단 앤더슨 샘플러, Right: 6단 앤더슨 샘플러)



<그림-4> 본 연구에 사용된 미생물 배지 (Tryptic Soy Agar & Sabourand Dextrose Agar)

(나) 정성 평가 : 부유세균의 동정

- 부유세균 중 우점종을 분리하여 동정하였으며 Bergey's manual 분류법에 따라 균종을 1차 동정하였고, Gram 염색 후 자동화 시스템인 VITEK(Model VITEK 32 system, bioMerieux Inc, France)을 통해 2차 동정 실시.
- 본 분석 장비의 원리는 세균의 생화학적 기질을 이용한 색깔 판정하는 것으로 용도는 세균의 신속동정 및 항생제 감수성 검사장라 할 수 있음.
- 특징적인 사항은 2-13시간이내에 균 동정이 가능하고, 균액주입 및 배양과 판독이 동시에 이루어지는 전자동화 장비로 전처리 과정이 비교적 간단.
- 본 분석 장비의 세부적인 사항은 <표-3>과 같음.

<표-3> 부유미생물 정성평가를 위한 VITEK 세부사항

카드명	대상미생물	비고
GNI card	Gram(-) 간균, Enterobacteriaceae, non-enterobacteriaceae	116종 동정 가능
GPI card	Streptococci, Staphylococci, Listeria, Corynebacteria 등 gram(+) 간균, 구균	53종 동정 가능
YBC card	yeasts	36종 동정 가능
ANI card	혐기성 세균과 Lactobacillus를 4시간 이내에 동정	86종 동정 가능
BAC card	Bacillus	17종 동정 가능
NFC card	Non-fermenting gram(-) 간균, 주로 환경에서 분리되는 세균 동정에 사용	42종 동정 가능
Bioburden card	5-80 organism/ml사이의 균수를 셀 수 있음	
Gram(+) susceptibilitytest card	한 카드 내에 15-16개의 항생제를 동시에 검사할 수 있으며 gram(+)균에 사용	항생제 감수성 카드(45 well)
Gram(-) susceptibilitytest card	한 카드 내에 15-16개의 항생제를 동시에 검사할 수 있으며 gram(-)균에 사용	항생제 감수성카드(45 well)
NHI card	Neisseria, Haemophilus동정	44종 동정 가능

(다) 정성 평가 : 부유진균의 동정

- 부유진균의 경우 광학현미경을 통해 균 집락의 모양과 색깔, 영양균사, 유성 및 무성 생식기관 및 포자의 색깔 및 형태를 관찰하여 Ainworth, Baron 등의 분류 검색법에 따라 균속을 동정하였으며, 부유진균 동정에 관한 세부적인 사항은 <표-4>와 같음.

<표-4> 부유진균 동정분리

분류체계	형태학적 특성
- Division Chytridiomycota (병꼴균문) - Division Zygomycota (접합균문) - Division Ascomycota (자낭균문) - Division Basidiomycota (담자균문) - Form-Division Deuteromycota (불완전균문)	- 콜로니(균집); 모양, 색, 거친정도, 영양원 이용도 기준 - 균사: 격막유무, 핵의 수, 껍쇠연결유무, 두께, 색 기준 - 포자: 유성포자, 무성포자, 크기, 모양, 색, 형성 수 - 포자경: 색, 길이, 가지수, 격벽유무, 포자형성 모양

라. 데이터 분석

- SAS package (SAS/Stat 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 각 공기오염물질의 발생 농도 차이를 ANOVA 및 Duncan의

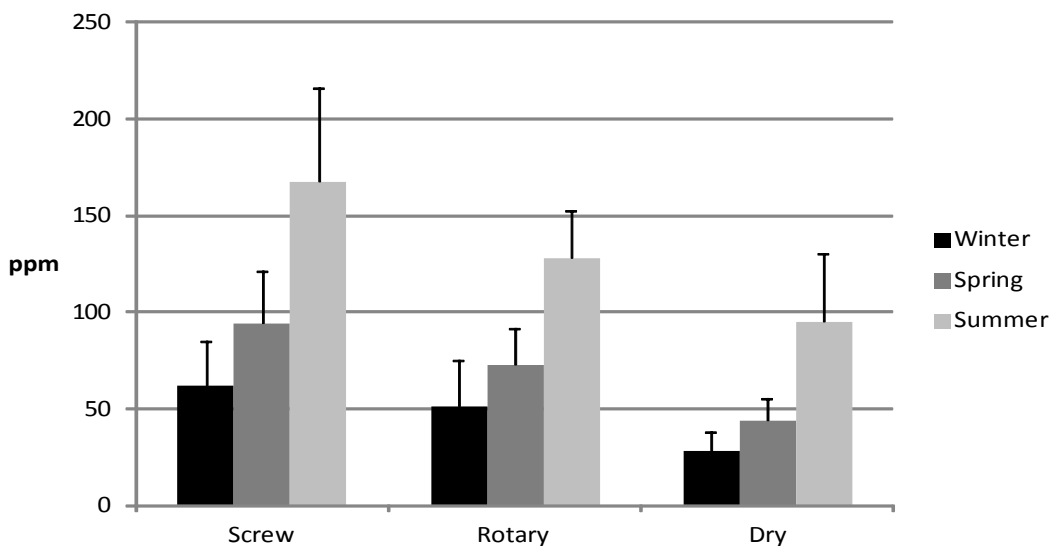
다중 비교 분석비교 분석 방법을 통해 통계적 유의성을 검증하였다. 공기오염물질과 열적 인자 등의 환경 요인간의 통계적 상관관계를 규명하기 위해 Pearson's correlation test를 실시.

마. 연구 수행 결과 및 고찰

(1) 가스상 유해인자

(가) 암모니아(ammonia)

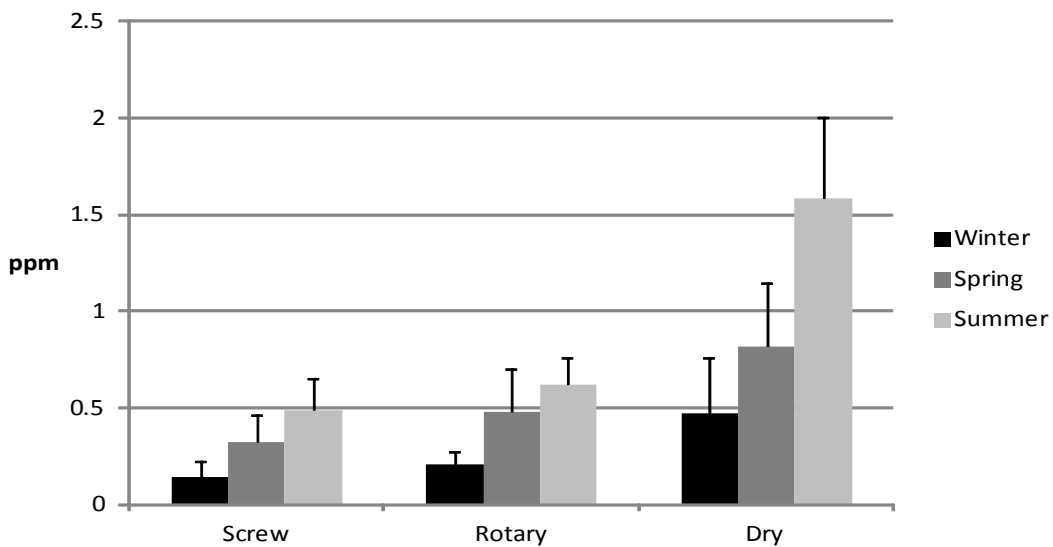
- <그림-5>는 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 암모니아의 발생 농도 분포를 보여주고 있다. Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 107.9(±32.6)ppm 이였고, 계절별 최대 농도는 여름철에 167.2(±48.4)ppm, 최소 농도는 겨울철에 62.1(±23.1)ppm인 것으로 조사됨.
- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 83.5(±23.0)ppm 이였고, 계절별 최대 농도는 여름철에 127.5(±25.3)ppm, 최소 농도는 겨울철에 50.8(±24.5)ppm인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 55.6(±18.9)ppm 이였고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 94.8(±35.7)ppm, 최소 농도는 겨울철에 28.4(±9.6)ppm인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 Screw>Rotary>Dry 순서로, 계절에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 나타냄 (p<0.05).



<그림-5> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 암모니아의 계절별 실내 농도 분포 현황

(나) 황화수소(hydrogen sulfide)

- <그림-6>은 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 황화수소의 발생 농도 분포를 보여주고 있음.
- Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $0.32(\pm 0.13)$ ppm 이였고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $0.49(\pm 0.16)$ ppm, 최소 농도는 겨울철에 $0.14(\pm 0.08)$ ppm인 것으로 조사됨.
- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $0.44(\pm 0.14)$ ppm 이였고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $0.62(\pm 0.14)$ ppm, 최소 농도는 겨울철에 $0.21(\pm 0.06)$ ppm인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $0.96(\pm 0.35)$ ppm 이였고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 $1.58(\pm 0.42)$ ppm, 최소 농도는 겨울철에 $0.47(\pm 0.29)$ ppm인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 황화수소의 시설 내부 농도는 Dry>Rotary>Screw 순서로, 계절에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 나타냄 ($p < 0.05$).

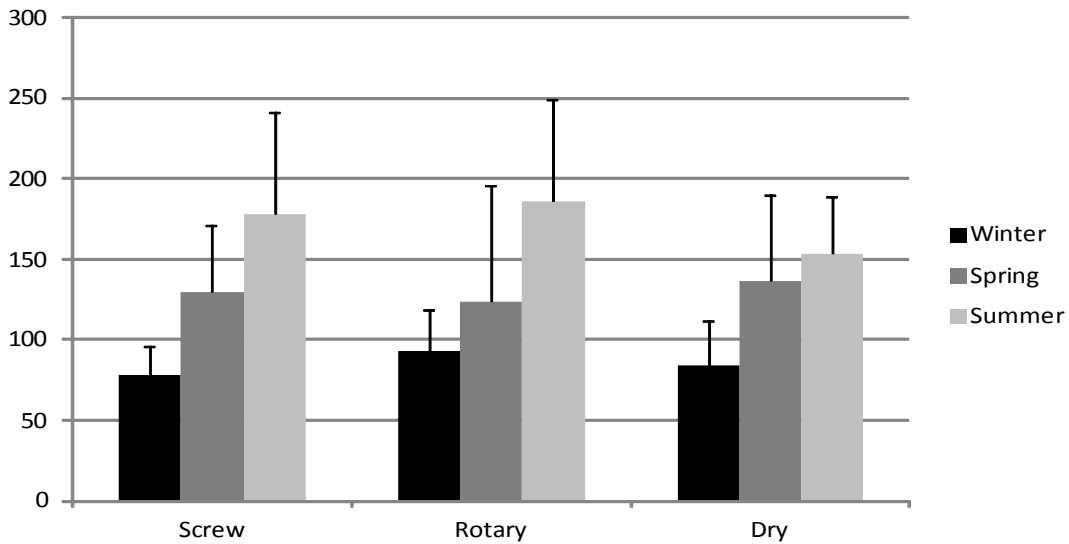


<그림-6> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 황화수소의 계절별 실내 농도 분포 현황

(다) 악취 농도(odor concentration)

- <그림-7>은 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 악취 농도의 발생 농도 분포를 보여줌.
- Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $129(\pm 41)$ 이였고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $178(\pm 63)$, 최소 농도는 겨울철에 $78(\pm 18)$ 인 것으로 조사됨.

- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 134(±54)ppm 이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 186(±63), 최소 농도는 겨울철에 93(±26)인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 125(±39)ppm 이었고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 153(±36), 최소 농도는 겨울철에 84(±28)인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 시설 내부의 악취 농도는 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고 (p>0.05), 계절에 따른 시설 내부의 악취 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 보이는 것으로 분석됨 (p<0.05).



<그림-7> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 악취 농도의 계절별 분포 현황

(라) 가스상 유해인자 현장 조사 결과에 대한 고찰

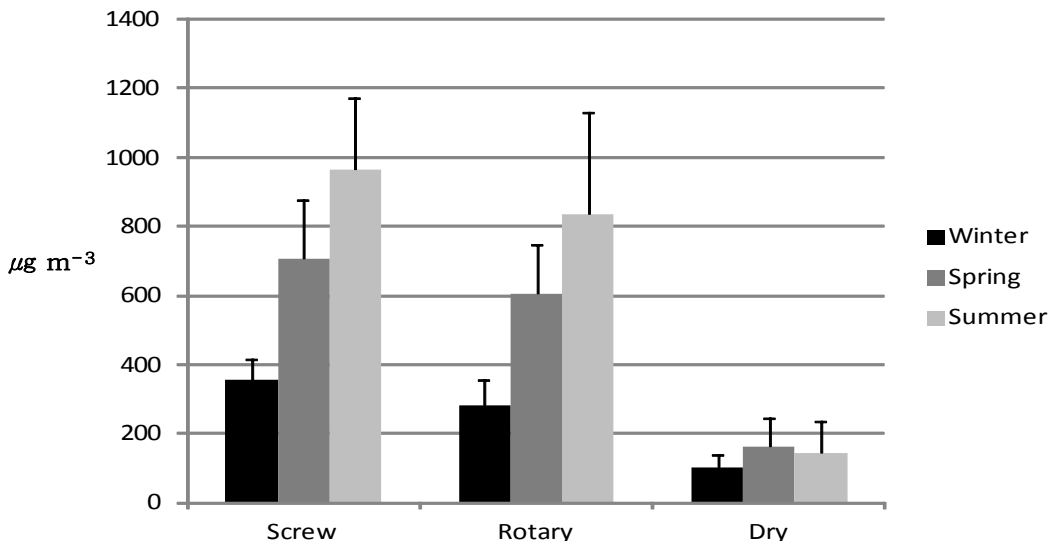
- 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 가스상 유해인자의 발생량 분포 경향을 살펴보면 암모니아는 Screw 유형에서, 황화수소는 Dry 유형에서 상대적으로 높은 것으로 나타났고, 악취 농도는 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따라 유의한 차이가 없는 것으로 분석됨.
- 이는 교반 방식의 종류에 따른 가축분뇨 더미내 산소 농도 차이에 근거한 것으로, Screw 형태가 가축분뇨의 교반을 가장 용이하게 하기 때문에 가축분뇨 더미내 원활한 산소 공급에 따른 부숙의 진행 속도가 빨라 동시에 암모니아의 발생량도 높게 나타난 것으로 사료됨.
- 한편 황화수소는 혐기성 미생물에 의해 가축분뇨가 분해되어 발생하는 가스상 물질로 교반 방식이 적용되지 않는 Dry (자연 건조화) 방식은 가축분뇨 더미 내부의 산소 농도가 상대적으로 낮아 이로 인해 황화수소의 발생량이 높게 검출된 것으로 판단됨.

- 악취 농도의 경우 가축분뇨 더미내 호기성 미생물과 혐기성 미생물에 의해 여러 가지 악취 원인 물질들이 복합적으로 상호 발생하여 나타나기 때문에 자원화 운용 방식별 농도 차이가 크지 않은 것으로 추정됨.
- 계절에 따른 가스상 유해인자의 발생량 추이를 살펴보면 가축분뇨 자원화 운용 방식에 관계없이 암모니아, 황화수소, 악취농도 모두 여름철에 가장 높은 것으로 조사되었고, 다음으로 봄철, 겨울철 순으로 나타났는데, 이는 실외 온도가 상승하면 가축분뇨 더미내 미생물의 분해 활성도도 동시에 높아져 미생물 대사 산물 중 하나인 악취 원인 물질의 발생량도 따라서 증가했기 때문이라 판단됨.

(2) 입자상 유해인자

(가) 총부유분진(TSP)

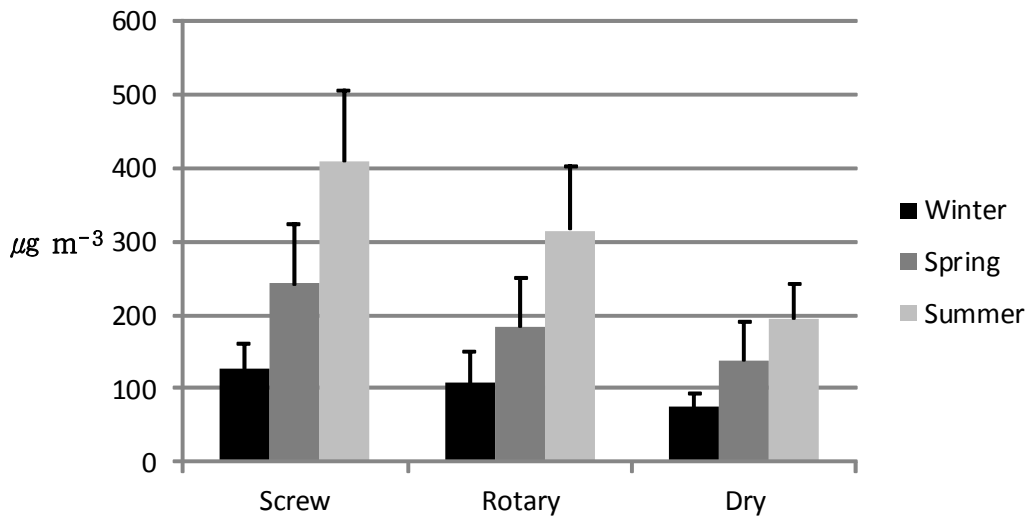
- <그림-8>은 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 총부유분진의 발생 농도 분포를 보여주고 있음. Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $676(\pm 145)\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $964(\pm 208)\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 $356(\pm 62)\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $574(\pm 169)\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $836(\pm 293)\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 $280(\pm 74)\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $137(\pm 71)\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 $145(\pm 90)\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 $102(\pm 39)\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 총부유분진의 시설 내부 농도는 Screw>Rotary>Dry 순서로, 계절에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 나타냄 ($p<0.05$).



<그림-8> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 총부유분진의 계절별 실내 농도 분포 현황

(나) 미세먼진(PM10)

- <그림-9>는 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 미세먼진의 발생 농도 분포를 보여 줌.
- Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $260(\pm 71)\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $409(\pm 97)\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 $128(\pm 34)\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $202(\pm 65)\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $315(\pm 86)\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 $107(\pm 44)\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $136(\pm 40)\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 $196(\pm 47)\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 $74(\pm 19)\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 미세먼진의 시설 내부 농도는 Screw>Rotary>Dry 순서로, 계절에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 나타냄 ($p<0.05$).

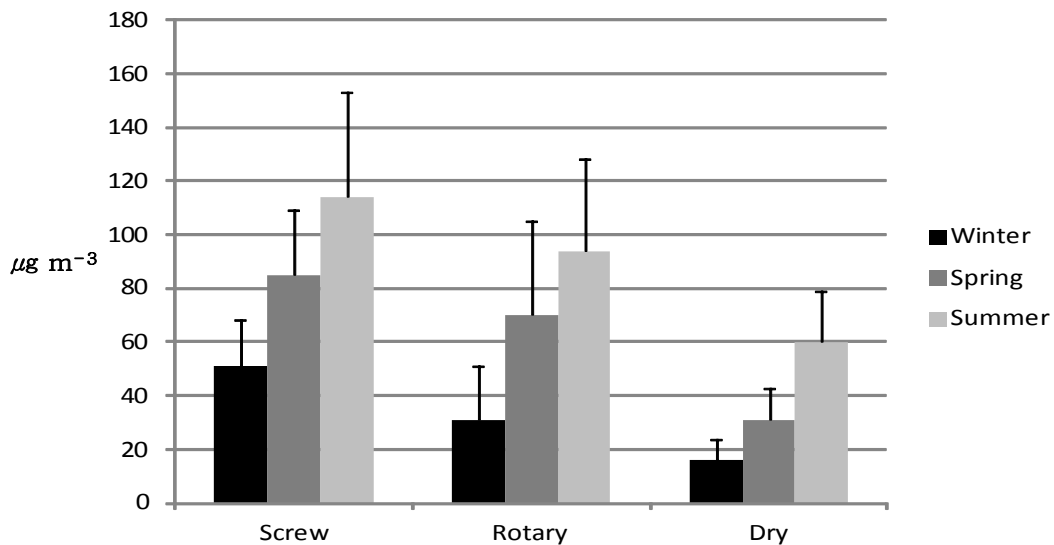


<그림-9> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 미세먼진의 계절별 실내 농도 분포 현황

(다) 극미세분진(PM2.5)

- <그림-10>은 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 극미세분진의 발생 농도 분포를 보여주며, Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 $83(\pm 27)\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 $114(\pm 39)\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 $51(\pm 17)\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.

- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 65(±30) $\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 94(±34) $\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 31(±20) $\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 36(±13) $\mu\text{g m}^{-3}$ 이었고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 60(±19) $\mu\text{g m}^{-3}$, 최소 농도는 겨울철에 16(±8) $\mu\text{g m}^{-3}$ 인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 극미세분진의 시설 내부 농도는 Screw>Rotary>Dry 순서로, 계절에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 나타냄 (p<0.05).



<그림-10> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 극미세분진의 계절별 실내 농도 분포 현황

(라) 입자상 유해인자 현장 조사 결과에 대한 고찰

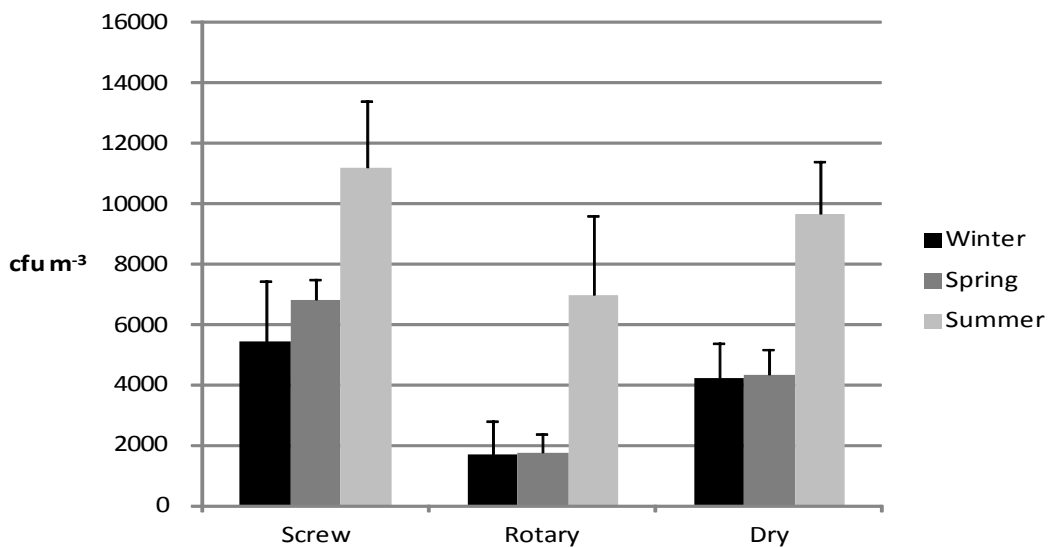
- 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 입자상 유해인자의 발생량 분포 경향을 살펴보면 총부유분진(TSP), 미세분진(PM10), 극미세분진(PM2.5) 모두 Screw 유형에서 가장 높게 발생되는 것으로 나타났고, 다음으로 Rotary, Dry 방식 순인 것으로 조사됨.
- 이는 교반 작용의 적용 유무에 의한 것으로 부숙이 진행되어 건조화된 가축분뇨가 분진 등의 입자상 형태로 공기 중으로 배출되는 속도가 교반율과 양의 상관관계로 비례적으로 나타난 결과라 해석됨.
- 계절에 따른 입자상 유해인자의 발생량 추이는 가스상 유해인자의 경우와 마찬가지로 가축분뇨 자원화 운용 방식에 관계없이 총부유분진(TSP), 미세분진(PM10), 극미세분진(PM2.5) 모두 여름철에 가장 높은 것으로 조사되었고, 다음으로 봄철, 겨울철 순으로 나타남.

- 이른 실외 온도가 상승하면 가축분뇨의 부숙 진행에 따른 더미의 함수율이 감소되어 건조화로 인한 분진 등의 입자상 유해인자로의 형태 전환이 활발하게 이루어졌기 때문이라 사료됨.

(3) 생물학상 유해인자

(가) 부유세균(airborne bacteria)의 농도 분포

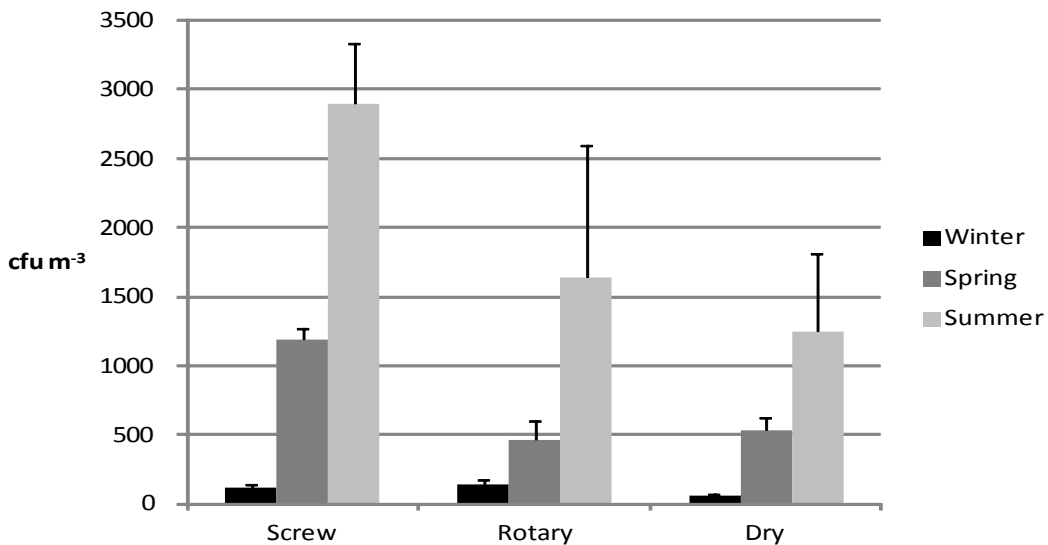
- <그림-11>은 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 부유세균의 발생 농도 분포를 보여줌. Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 7,813(±1,634)cfu m⁻³이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 11,190(±2,232)cfu m⁻³, 최소 농도는 겨울철에 5,431(±2,005)cfu m⁻³인 것으로 조사됨.
- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 3,483(±1,449)cfu m⁻³이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 6,991(±2,259)cfu m⁻³, 최소 농도는 겨울철에 1,692(±1,124)cfu m⁻³인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 6,086(±1,220)cfu m⁻³이었고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 9,676(±1,697)cfu m⁻³, 최소 농도는 겨울철에 4,229(±1,131)cfu m⁻³인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유세균의 시설 내부 농도는 Screw>Dry>Rotary 순서로, 계절에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 나타냄 (p<0.05).



<그림-11> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유세균의 계절별 실내 농도 분포 현황

(나) 부유진균(airborne bacteria)의 농도 분포

- <그림-12>는 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 계절별 부유진균의 발생 농도 분포를 보여줌.
- Screw 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 1,400(±180)cfu m⁻³이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 2,898(±433)cfu m⁻³, 최소 농도는 겨울철에 115(±20)cfu m⁻³인 것으로 조사됨.
- Rotary 방식으로 가축분뇨의 교반이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 744(±378)cfu m⁻³이었고, 계절별 최대 농도는 여름철에 1,637(±958)cfu m⁻³, 최소 농도는 겨울철에 136(±34)cfu m⁻³인 것으로 조사됨.
- Dry 방식으로 가축분뇨의 자연 부숙이 적용되는 자원화 시설의 경우 전체 평균이 614(±225)cfu m⁻³이었고, 위 두 운용 방식의 경우와 마찬가지로 계절별 최대 농도는 여름철에 1,246(±571)cfu m⁻³, 최소 농도는 겨울철에 64(±9)cfu m⁻³인 것으로 조사됨.
- 현장 조사 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유세균의 시설 내부 농도는 Screw>Dry>Rotary 순서로, 계절에 따른 암모니아의 시설 내부 농도는 여름철>봄철>겨울철 순서로 발생 경향을 나타냈다 (p<0.05).

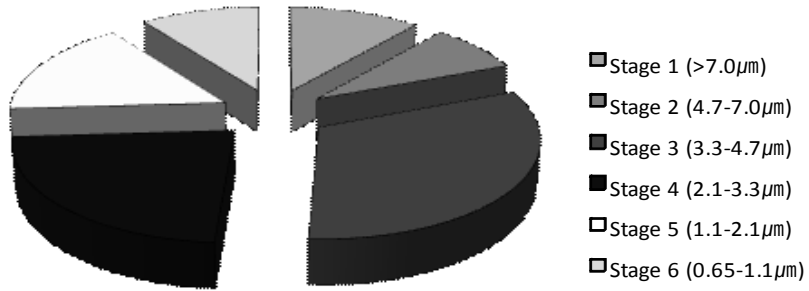


<그림-12> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유진균의 계절별 실내 농도 분포 현황

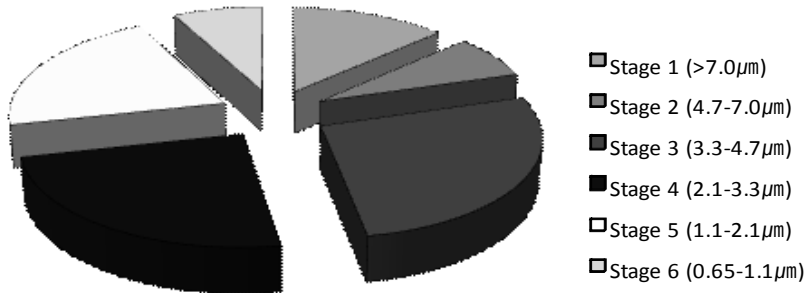
(다) 생물학상 유해인자의 입경별 농도 분포

- <그림-13>과 <그림-14>는 가축분뇨 자원화 시설에서 발생하는 부유 세균과 진균의 입경별 분포 특성을 보여주는 것으로 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유 세균과 진균의 입경별 분포 비율을 살펴보면 다음과 같음.

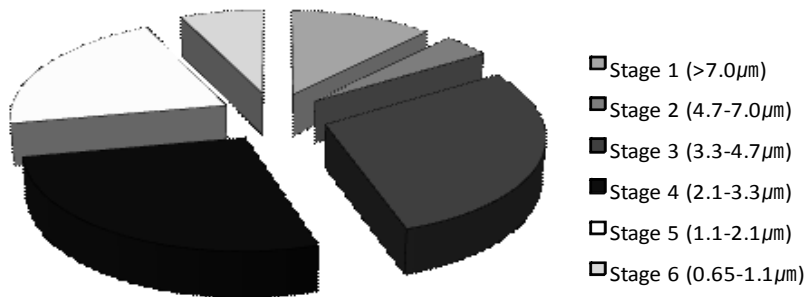
- 부유세균의 경우 stage 1(>7.0 μm)에서 11%(Screw), 13%(Rotary), 12%(Dry); stage 2(4.7-7.0 μm)에서 8%(Screw), 7%(Rotary), 4%(Dry); stage 3(3.3-4.7 μm)에서 32%(Screw), 27%(Rotary), 29%(Dry); stage 4(2.1-3.3 μm)에서 23%(Screw), 24%(Rotary), 27%(Dry); stage 5(1.1-2.1 μm)에서 16%(Screw), 21%(Rotary), 21%(Dry); stage 6(0.65-1.1 μm)에서 10%(Screw), 8%(Rotary), 7%(Dry)의 분포 특성을 나타냈고, 부유진균의 경우 stage 1(>7.0 μm)에서 36%(Screw), 32%(Rotary), 41%(Dry); stage 2(4.7-7.0 μm)에서 23%(Screw), 31%(Rotary), 32%(Dry); stage 3(3.3-4.7 μm)에서 21%(Screw), 19%(Rotary), 17%(Dry); stage 4(2.1-3.3 μm)에서 5%(Screw), 7%(Rotary), 5%(Dry); stage 5(1.1-2.1 μm)에서 8%(Screw), 7%(Rotary), 3%(Dry); stage 6(0.65-1.1 μm)에서 7%(Screw), 4%(Rotary), 2%(Dry)의 분포 특성을 보이는 것으로 분석됨.
- 측정 결과 입경 범위 중 가장 높은 빈도율을 보인 단계는 자원화 운용 방식에 관계없이 부유 세균은 stage 3~5에서, 부유 진균은 stage 1~3에서 상대적으로 높은 것으로 조사 되었으며, 전체 농도 대비 호흡성 입경 범위에 해당되는 0.65 μm 이상 4.7 μm 이하 (stage 3~6)의 부유 세균의 비율은 자원화 운용 방식에 관계없이 약 80%, 부유 진균의 비율은 25~40%인 것으로 분석됨.
- 가축분뇨 자원화 시설을 대상으로 부유 세균과 진균의 입경별 분포 특성을 연구한 국내외 선행 자료로는 실험적 조건하에서 chamber test를 통해 특정 미생물의 공기 중 입경 분포 특성을 보고한 하나의 연구 사례 (Byeon 등, 2008)가 있으나, 현장 조사 결과인 본 연구와의 비교는 현실적으로 불가능함.
- 현재 총부유세균 항목으로 규제적용을 받고 있는 병원, 유치원, 노인복지시설, 산후조리원의 다중이용시설에 대해 이 등 (2004)은 1단과 5단에서 부유세균이 가장 높은 비율을 나타낸다 하였고, Kim과 Kim (2007)과 Kim 등 (2010)은 부유세균의 경우 5단에서 가장 높은 비율을 보이고 호흡성 입경 비율은 30~40%, 부유진균의 경우 4단에서 가장 높은 비율을 보이고 호흡성 입경 비율은 55~70%를 보인다고 보고함.
- 사료제조공장 작업환경 내 부유세균과 부유진균의 입경 분포 특성을 보고한 Kim 등 (2009)은 부유세균의 경우 가장 높은 비율은 5단, 가장 낮은 비율은 3단에서 보였고, 호흡성 입경 비율은 70%였으며, 부유진균의 경우 가장 높은 비율은 4단, 가장 낮은 6단에서 보였고 호흡성 입경 비율은 60%인 것으로 보고함.
- 본 측정 결과와 비교시 입경별 분포 특성은 전반적으로 유사한 것으로 나타났으나, 호흡성 입경 비율은 상대적으로 부유세균은 높고 부유진균은 낮은 것으로 조사됨.



(a) Screw

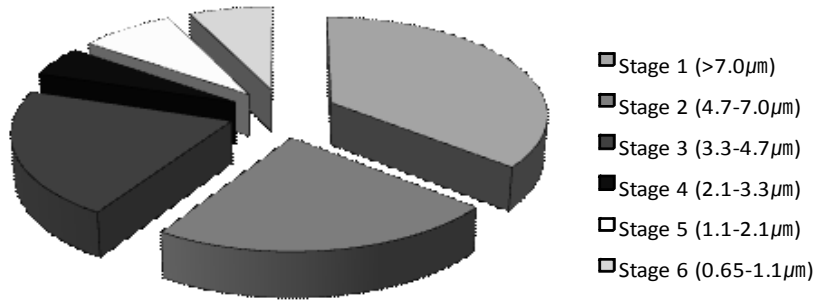


(b) Rotary

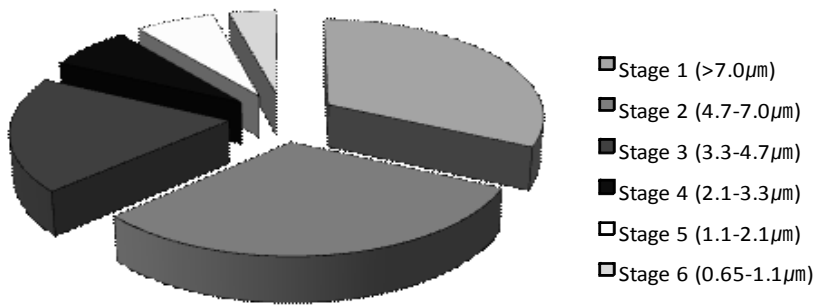


(c) Dry

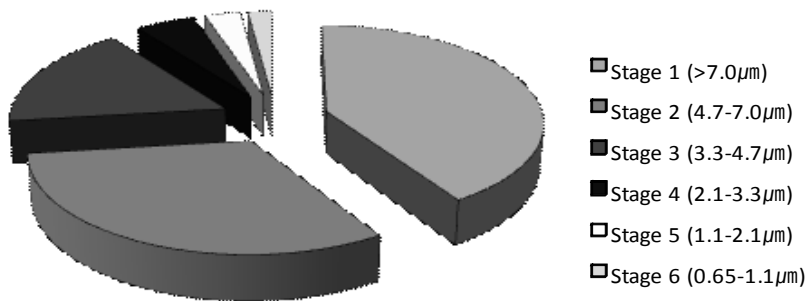
<그림-13> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유세균의 입경별 농도 분포 비율



(a) Screw



(b) Rotary



(c) Dry

<그림-14> 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유진균의 입경별 농도 분포 비율

(4) 생물학상 유해인자의 정성 분석 결과

- <표-5>는 가축분뇨 자원화 운용 방식에 따른 부유 세균과 진균의 동정 분석 결과 중 전체 대비 10% 이상 검출된 미생물 종을 나타내 주고 있음.
- Rotary 방식의 경우 부유세균은 Escherichia 속(21.3%), Staphylococcus 속(17.4%), Micrococcus 속(16.2%), Enterococcus 속(13.0%)인 것으로 나타났고, 부유진균은 Cladosporium 속(28.3%), Penicillium 속(17.6%), Aspergillus 속(12.42%), Fusarium 속(12.3%), Chrysosporium 속(10.8%)인 것으로 조사됨.
- Screw 방식의 경우 부유세균은 Escherichia 속(19.2%), Staphylococcus 속(14.2%), Micrococcus 속(12.9%), Enterococcus 속(10.7%)인 것으로 나타났고, 부유진균은 Cladosporium 속(22.4%), Penicillium 속(21.46%), Aspergillus 속(18.7%), Fusarium 속(14.2%), Chrysosporium 속(11.8%)인 것으로 조사됨.
- Dry 방식의 경우 부유세균은 Escherichia 속(23.7%), Staphylococcus 속(16.3%), Micrococcus 속(15.2%), Enterococcus 속(14.3%)인 것으로 나타났고, 부유진균은 Cladosporium 속(23.6%), Penicillium 속(19.86%), Aspergillus 속(14.8%), Fusarium 속(13.4%), Chrysosporium 속(12.7%)인 것으로 조사됨.
- 정성 분석 결과 가축분뇨 자원화 운용 방식에 관계없이 부유 세균과 진균의 속별 분포 특성은 전반적으로 유사한 것으로 분석되었고, 이는 3 시설 모두 공통적으로 돈분뇨를 자원화의 주원료로 사용하고 있어 부유 미생물의 발생원 역시 동일하기 때문에 나타난 결과라 판단됨.

<표-5> 가축분뇨 퇴비화 공장 운용 방식에 따른 부유 세균과 진균의 동정결과 (Unit : %)

	Rotary 방식	Screw 방식	Dry 방식
부유 세균			
Escherichia(E-Coli) spp.	21.3	19.2	23.7
Staphylococcus spp.	17.4	14.2	16.3
Micrococcus spp.	16.2	12.9	15.2
Enterococcus spp.	13.0	10.7	14.3
부유 진균			
Cladosporium spp.	28.3	22.4	23.6
Penicillium spp.	17.6	21.4	19.8
Aspergillus spp.	12.4	18.7	14.8
Fusarium spp.	12.3	14.2	13.4
Chrysosporium spp.	10.8	11.8	12.7

* : Detection rate (검출율)

(5) 생물학상 유해인자 현장 조사 결과에 대한 고찰

- 생물학상 유해인자들의 계절별 농도 분포는 가축분뇨 자원화 운용 방식에 관계없이 외부 기온이 높은 여름철에 농도가 증가했음을 알 수 있었고, 측정 당시의 시설 내부 환경 조건 (온도, 습도, 기류 등)의 변이에 따라 부유세균의 농도가 상당한 영향을 받았을 것이라 추정됨.
- 선행 연구들을 살펴보면 국내에서는 퇴비화 공장을 대상으로 생물학적 유해인자의 발생 및 노출량을 조사한 사례가 현재까지 보고된 바 없음. 국외의 경우 Hryhorczuk 등 (2001)은 평균 농도로 부유 세균이 $3,204\text{cfu m}^{-3}$, 부유 진균이 $3,068\text{cfu m}^{-3}$ 수준인 것으로, Sanchez-Monedero와 Stentiford (2003)는 부유 세균과 진균이 $103\sim 105\text{cfu m}^{-3}$, Fracchia 등 (2006)은 부유 세균이 $261\sim 18,700\text{cfu m}^{-3}$, 부유 진균이 $33\sim 6,278\text{cfu m}^{-3}$ 의 농도 범위를 보이는 것으로 보고됨.
- Fischer 등 (2008)은 퇴비더미를 교반하는 과정 중에 고온성 세균들이 최대 $2.4\times 10^6\text{cfu m}^{-3}$ 까지 공기 중으로 배출된다고 하였고, 가장 최근에 발표된 연구 결과에 의하면 중온성 부유세균, 저온성 부유세균, 부유진균이 각각 평균 308cfu m^{-3} , 328cfu m^{-3} , 258cfu m^{-3} 수준으로 발생된다고 보고됨 (Grisoli 등, 2009).
- 선행 국외 연구 결과들을 고찰해 보면 생물학상 유해인자들의 농도 수치가 연구자들간의 상당한 차이가 있는 것을 알 수 있고, 본 연구 결과와 비교시에도 상당한 차이가 있는 것으로 나타남.
- 이는 자원화 대상인 가축분뇨의 조성이 서로 달라 나타난 현상이라 볼 수 있는데, 본 연구의 경우 가축분뇨 중 주로 돈분뇨를 주원료로 한 퇴비화 공장을 조사대상으로 한 반면, 국외 연구들의 경우 도시 고형 폐기물 및 음식물 쓰레기 등의 일반 폐기물을 퇴비화하는 시설을 대상으로 선정하였기 때문이라 사료됨.
- 또한 자원화 공정에서 부유 세균을 포함한 생물학적 인자들의 발생에 영향을 주는 온도, 습도, 풍속, 계절 등의 기상학적 요인들 (Tong과 Lighthart, 1997; Folmsbee와 Strevett, 1999; Jones와 Harrison, 2004)이 본 현장 조사 시기와 서로 다른 점도 하나의 원인으로 작용했을 것이라 판단됨.
- 동일 측정 지점이라 하더라도 부유 세균과 진균의 공기시료 채취에 이용되는 흡수법, 여과법, 충돌법에 따라 측정값의 편차가 통계적으로도 유의하기 때문에 (Thorne 등, 1992) 다른 시설들을 대상으로 현장 조사한 국내외 선행 연구 결과들과의 객관적 비교가 비객관적이라 할 수 있음.
- 하지만 이러한 제한점을 고려하더라도 가축분뇨 자원화 시설 내 생물학상 유해인자들에 의한 실내공기 오염도는 다른 시설 공간에 비해 상당히 높은 수준이라 할 수 있음.

바. 가축분뇨 자원화 시설 내 공기오염물질과 환경요인과의 상관성 분석

- <표-6>은 가축분뇨 자원화 시설에서 측정된 공기오염물질의 농도와 온도/습도 등 실내 환경요인과의 통계적 상관관계를 나타냄.
- 99% 유의수준에서 상관성을 보인 변수들은 없는 것으로 분석되었으나, 95% 유의수준에서 상관성을 나타낸 변수 관계를 살펴보면 먼저 양의 상관관계는 온도/암모니아, 온도/황화수소, 온도/악취농도, 온도/총부유분진, 온도/부유세균, 온도/부유진균, 황화수소/악취농도, 암모니아/총부유분진, 악취농도/총부유분진, 미세분진/부유세균, 총부유분진/부유진균에서 조사되었고, 음의 상관관계는 상대습도/총부유분진에서만 유의한 것으로 조사됨.
- 자원화 시설 내 열적 환경요인(온도와 상대습도)과 공기오염물질간의 통계적 상관성은 미세분진과 극미세분진을 제외하고는 모든 공기오염물질이 온도와 양의 상관관계를 보여 실내 온도가 증가하면 대체로 공기오염물질의 발생량이 증가됨.
- 상대습도의 영향은 가스상 유해인자와 생물학상 유해인자의 발생 패턴에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 분석되었으나, 입자상 유해인자 중 입경이 큰 총부유분진과는 음의 상관관계를 나타내 상대습도가 높게 되면 전반적으로 분진의 발생이 감소되는 경향이 있음.
- 가스상 유해인자 중 악취 농도와 유의한 양의 상관관계를 보인 물질은 황화수소로 나타나 가축분뇨 자원화시 발생하는 악취 기여도는 암모니아보다는 황화수소가 상대적으로 더 높은 것으로 분석됨.
- 분진과 같은 입자상 유해인자들은 표면에 가스상 물질이나 부유 미생물들을 흡착하여 공기 중에 이동하는 것으로 보고되고 있어(Kim 등, 2005) 총부유분진과 암모니아 및 악취농도와 통계적으로 유의한 양의 상관관계를 보인 것은 당연한 결과라 판단됨.
- 입자상 유해인자 중 총부유분진이 부유진균과, 그리고 미세분진이 부유세균과 유의한 양의 상관성을 보인 것으로 분석된 이유는 서로 입경 크기가 유사함에 비롯된 결과로 추정됨.
- 온도와 상대습도가 공기오염물질의 발생에 어떠한 영향을 주는 지에 대한 국외 선행 연구 결과들을 살펴보면 연구자들간의 의견이 서로 상이하고 (Marthi와 Lighthart, 1990; Walter 등, 1990; Macher 등, 1991; Li와 Hsu, 1996), 상대적으로 적은 측정 시료 결과들을 근거로 통계 분석을 하였기 때문에 본 연구 결과에 대한 객관적 신뢰도가 높은 수준이라 할 수 없음.
- 따라서 이에 대한 명확한 과학적 결론을 내리기 위해서는 향후 추가 연구들이 계속해서 수행되어야 할 것이라 사료됨.

<표-6> 가축분뇨 자원화 시설내 공기오염물질과 환경요인과의 상관분석

	Temp	RH	NH3	H2S	Odor	TSP	PM10	PM2.5	†TAB	‡TAF
Temp.		-.254	.571*	.428*	.648*	.403*	.136	.193	.534*	.421*
RH			.204	.194	.383	-.434*	-.214	-.164	-.096	.156
NH3				.138	.168	.514*	.328	.236	.108	.028
H2S					.521*	.120	.295	.157	.164	.127
Odor						.492*	.201	.148	-.023	.184
TSP							.164	.257	.128	.517*
PM10								.206	.406*	.126
PM2.5									.154	.084
TAB										.127
TAF										

† : Total Airborne Bacteria (총부유세균)

‡ : Total Airborne Fungi (총부유진균)

2. 본 연구를 통해 개발될 고 수분 가축분뇨 고속 퇴비화 공정에서 발생하는 공기오염물질(악취, 분진, 부유미생물)의 발생 농도 및 배출 계수 관련 선행 연구자료 고찰

가. 국외 연구 자료

(1) 가축분뇨 자원화 시설로부터 발생하는 공기오염물질 국외 연구는 주로 고상 퇴비화 시설에서 유래하는 생물학적 유해인자의 발생기작, 발생농도, 주민영향 평가 등에 주로 초점을 두고 수행

- 가축분뇨는 미생물의 성장 영양원으로서의 역할을 하는 원료이기 때문에 퇴비는 수많은 종류의 미생물들이 서식할 수 있는 좋은 환경 조건을 조성. (Seidl, 1995)
- 퇴비화 기간 중 공기를 유입하는 부숙 단계에서는 가축분뇨의 호기성 분해를 급속히 유도하여 퇴비더미가 60℃ 이상의 고온 조건을 유지하게 되어 대부분의 미생물이 사멸되나, *Aspergillus Fumigatus* 등의 몇몇 호열성 미생물들은 생존하게 됨. 이 미생물은 대부분 고병원성이며, 퇴비더미 교반 중에 공기 중으로 방출되어 사람들에게 노출시에는 심각한 호흡기계 질환을 유발하는 것으로 알려져 있음. (Fischer et al., 1999)
- 가축분뇨 자원화 시설에서 발생하는 생물학적 유해인자는 작업자와 인근 주민들에게 공기 중으로 노출되어 주로 호흡기계 질환들을 유발시킴. (Bunger et al., 2000; Herr et al., 2003)

- 특히 가축분뇨를 직접 취급하는 퇴비화 시설 작업자들의 경우 생물학적 유해인자에 고농도로 노출되기 때문에 인근 주민들보다 건강 위해도가 상대적으로 높다고 많은 연구자들에 의해 보고됨. (Douwes et al., 2000; Wouters et al., 2002; Douwes et al., 2003; Heldal et al., 2003a; Heldal et al., 2003b)
- 인근 주민들의 생물학적 유해인자 노출은 공기 전파가 주요 경로이기 때문에 대기 확산에 의한 이동 경로를 파악한 연구도 수행됨. (Jager et al., 1994; Reinthaler et al., 1997; Hryhorczuk et al., 2001)
- 가축분뇨 퇴비화시 생물학적 유해인자 발생에 영향을 미치는 요인들을 정확히 이해하는 것이 건강 위해성 평가에 있어 가장 중요한 척도이며(Douwes et al., 2003), 지금까지 온도, 습도, 기류, 계절이 주요 변수들로 인식되고 있음. (Tong and Lighthart 1997; Folmsbee and Strevett 1999; Jones and Harrison 2004)
- 유럽에서는 가축분뇨를 재순환 에너지원으로 오래전부터 인식하고 많이 활용하고도 있기 때문에 2000년대부터 가축분뇨 자원화 시설 운용에 따른 작업자와 일반 사람들의 건강 보호를 위한 특별 가이드라인 재정을 준비 중에 있으며(EU Council Directive, 2000), 가축분뇨 자원화 시설 운용의 감시 체계는 병원성 생물학적 유해인자를 중심으로 한 환경보건학적 측면을 강조하고 있는 상황임. (Carducci et al., 2000)

(2) 가축분뇨 자원화 시설로부터 유래하는 생물학적 유해인자의 질병 유발성을 규명하기 위해서는 실외 생물학적 유해인자의 분포특성에 관한 기초 자료 구축이 반드시 선행되어야 함: 국외 연구는 지역 및 기후 특성에 따른 실외 생물학적 유해인자 발생 특성 관련 기초 DB 확보에 주력하고 있음.

<표-7> 외국의 실외 바이오에어로졸 분포에 관한 연구

	정량 평가		정성 평가 (우점종)		참고문헌
	세균	진균	세균	진균	
미국	평균0.013~1.88 균종/Liter	-	Micrococcus 속 : 41% Staphylococcus 속 : 11%	-	Mancinelli and Shulis (1977)
스웨덴	2~4000 cfu/m ³	-	-	-	Bovallius et al (1978)
폴란드	13~4344 cfu/m ³	4~4121 cfu/m ³	Micrococcus 속 : 36.3% Staphylococcus epidermidis : 13.9%	Penicillium sp., Aspergillus sp.	Pastuszka et al (2000)
대만	-	100 cfu/m ³ , >1000 cfu/m ³	-	Penicillium 속 : 70%	Kuo and Li (1994)
중국	71~22,100 cfu/m ³	-	Micrococcus 속(20~30%)	-	Fung et al (2007)

나. 국내 연구 자료

(1) 국내의 경우 가축분뇨 자원화 시설에서 발생하는 악취, 분진, 부유 미생물 등 공기 오염물질과 관련한 연구가 미진한 실정임

- 우리나라에서 발생하는 가축분뇨의 조성 및 특성은 국외와 구별될 수 있기 때문에 자원화에 따른 공기오염물질의 발생 특성 또한 국외와 상이할 것으로 예상됨.

(2) 농업분야에서 국내 공기오염물질 관련 연구는 주로 축사(돈사 & 계사)를 중심으로 주로 암모니아, 황화수소 등 악취 물질의 발생 농도 조사에 국한됨

- 돼지 생육 단계에 따른 계절별 암모니아와 황화수소의 돈사 내 농도 비교 연구. (김기연 등, 2012).
- 돈사에서 발생하는 실내 악취물질에 대한 현장 조사 연구. (김기연 등, 2012)
- 계사 악취 물질의 발생 분포 특성에 관한 연구. (김기연, 2012)

다. 본 연구를 통해 개발될 다기능 수분 조절재의 유형 및 투입 조건에 따른 공기오염물질(악취, 분진, 부유미생물)의 발생 농도 관련 예비 조사

(1) 연구대상 및 기간

(가) 측정 대상

- 원통 수평형 고속 퇴비화 장치 대상 측정 실시
- 경기 용인시 처인구 백암면 옥산리에 위치



<그림-15> 측정 대상 원통 수평형 고속 퇴비화 장치

(나) 측정 일시

- 2014년 9월 26일. 금요일.
- 오후 시간대(13:00 pm ~ 16:30 pm) 측정 실시



<그림-16> 현장 예비조사 준비 모습

(다) 측정 물질

- 선행 연구 및 유사 연구 자료 고찰을 통해 물질 선정
- 주요 공기오염물질 대상 측정 실시
- 미세먼진(TSP, PM10, PM2.5, PM1), 부유미생물(부유진균, 부유세균), 악취물질(NH₃, H₂S), 온/습도

(2) 시료 채취 및 분석방법

(가) 측정 장비

- 입자상 물질
 - ▶ 부유미생물



제품명 : BUCK Bio-culture
 제조사 : A.P. BUCK

측정항목	배지	측정조건
부유세균	TSA (Tryptic Soy Agar)	1min/120L
부유진균	SDAC (Sabouraud dextrose agar +Chloramphenicol)	3min/360L

▶ 온/습도



제품명 : Veloci Calc Plus
 제조사 : TSI Inc

측정항목	측정방식	측정조건
온도	센서 감지 타입	24hr/day 5min마다 Monitoring
습도		

▪ 악취물질(NH₃, H₂S)



제품명 : GASTEC
 제조사 : GASTEC

측정항목	검지관	측정조건
NH ₃	3M(50~500 ppm)	100 ml / 45 초
H ₂ S	4LT(0.2~2.0 ppm)	100 ml / 1 분



<그림-17> 입자상 물질 측정 모습



<그림-18> 부유미생물 측정 모습



<그림-19> 온/습도 측정 모습



<그림-20> 악취물질 측정 모습

(3) 측정 방법

- 총 4개 지점으로 분류하여 측정 실시 (투입구, 배출구, 장치 내부)
- 각 물질별 1개 지점 당 3회 반복 측정 (1회/시간 측정 실시)
- 부유 미생물의 경우 측정 시간을 달리하여 실시 (30초, 1분, 2분)
- 퇴비화 장치 주변 외곽 미설치로 인해 부지 경계선 측정지점 제외
- 측정치를 산술평균하여 대푯값으로 선정



<그림-21> 예비조사 측정 지점

▪ 측정 사진

▶ 투입구



<그림-22> 투입구 측정 사진

▶ 장치 내부



<그림-23> 장치 내부 측정 사진

▶ 배출구

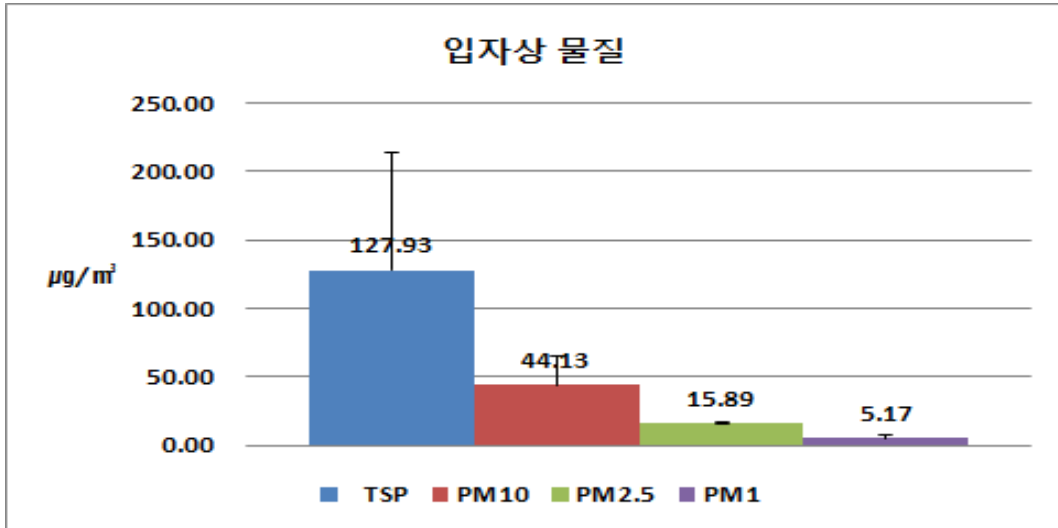


<그림-24> 배출구 측정 사진

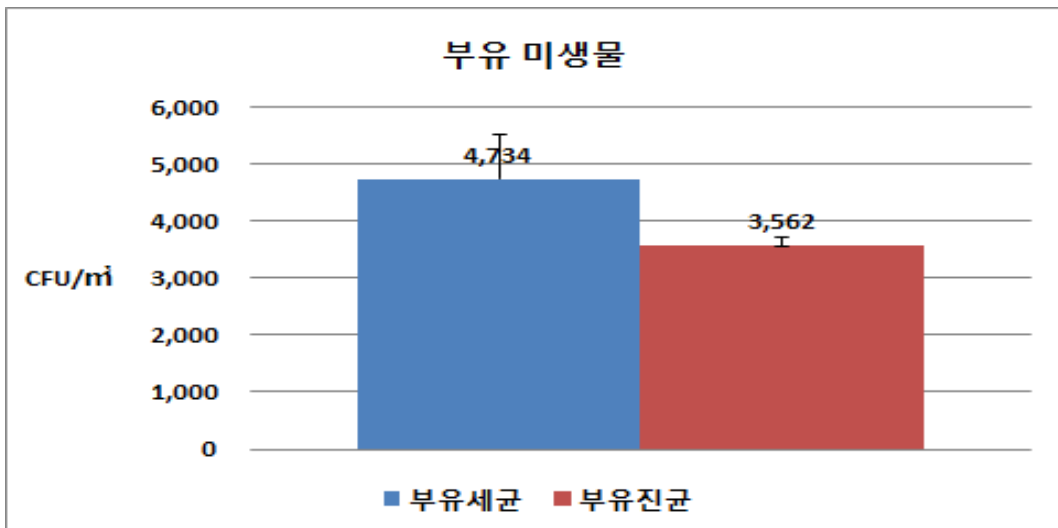
3. 측정 결과

가. 물질 및 측정지점별 결과

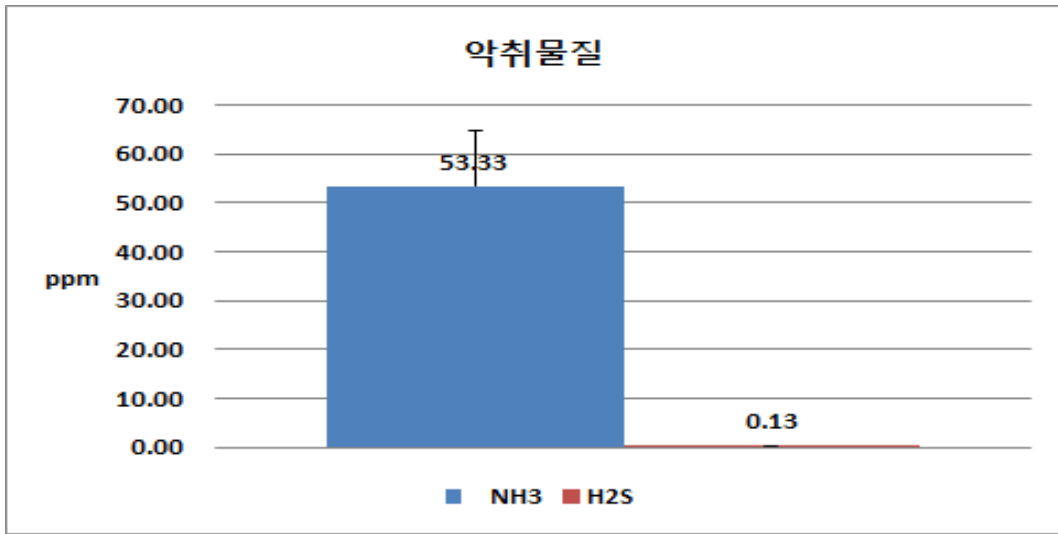
(1) 투입구



- 투입구에서 미세먼진 측정 결과 TSP 평균 농도 127.93 µg/m³ 이었고, 최대 224.6 µg/m³, 최소 59 µg/m³으로 측정되었다. PM10 µg/m³의 경우 평균 농도 44.13 µg/m³ 이며, 최대 67 µg/m³, 최소 28.1 µg/m³ 으로 조사됨.
- PM2.5은 평균농도 15.89 µg/m³ 로 관찰되었으며, 최대 17.47 µg/m³, 최소 15.1 µg/m³로 나타났다. PM1의 평균 농도는 5.17 µg/m³, 최대 7.04 µg/m³, 최소 2.42 µg/m³로 측정됨.

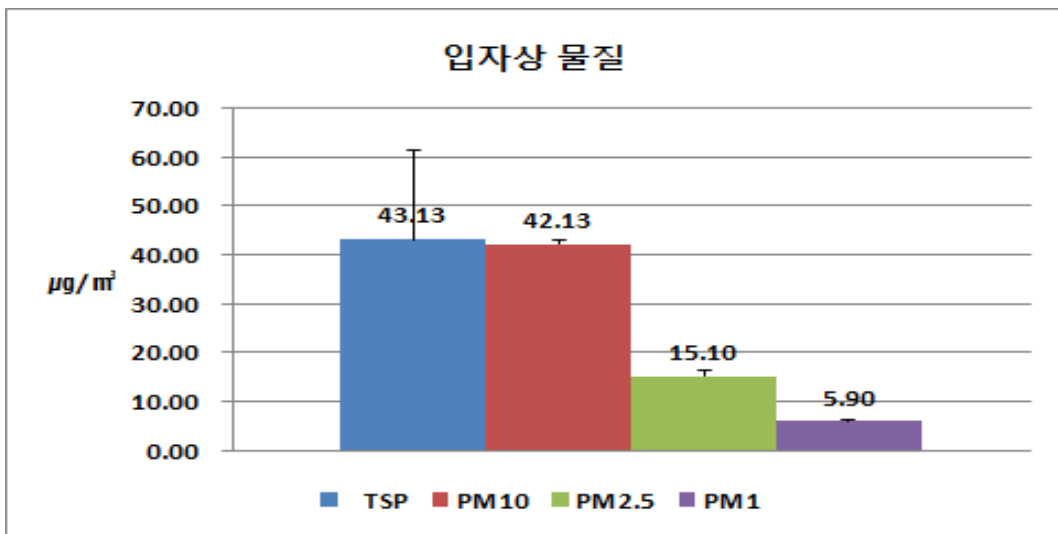


- 투입구 부유 미생물 측정 결과 부유세균 평균 농도는 4,734 cfu/m³ 이며, 최대 5,512 cfu/m³ , 최소 3,957 cfu/m³ 로 관찰됨.
- 부유진균의 경우 평균 3,562 cfu/m³ , 최대 3,745 cfu/m³ , 최소 3,409 cfu/m³ 로 조사됨.

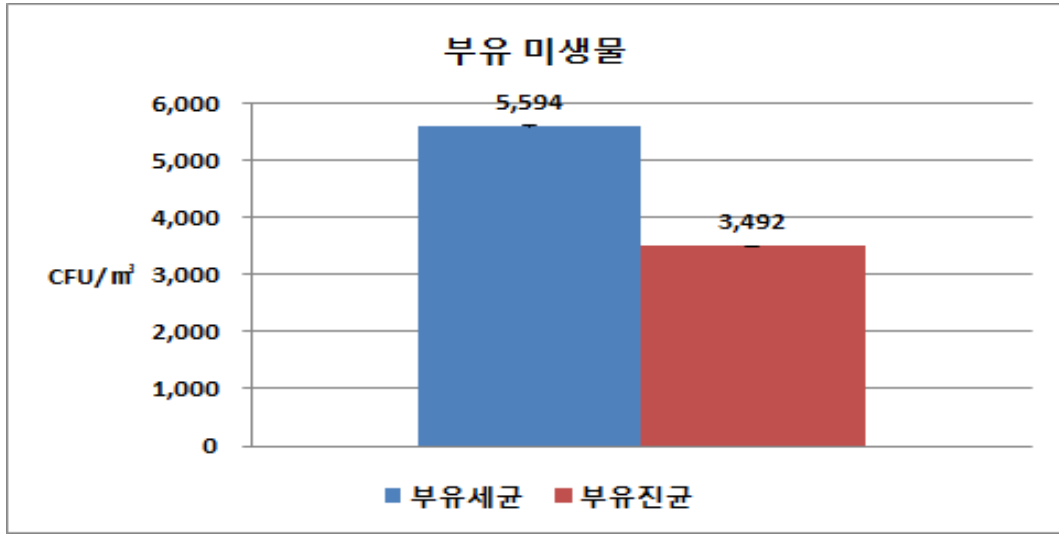


- 투입구에서 주요 악취물질 측정 결과 NH3의 평균 농도 53.33 ppm 이었으며, 최대 60 ppm, 최소 40 ppm으로 조사됨.
- H₂S의 경우 평균 0.13 ppm, 최대 0.2 ppm, 최소 0 pp으로 관찰됨.

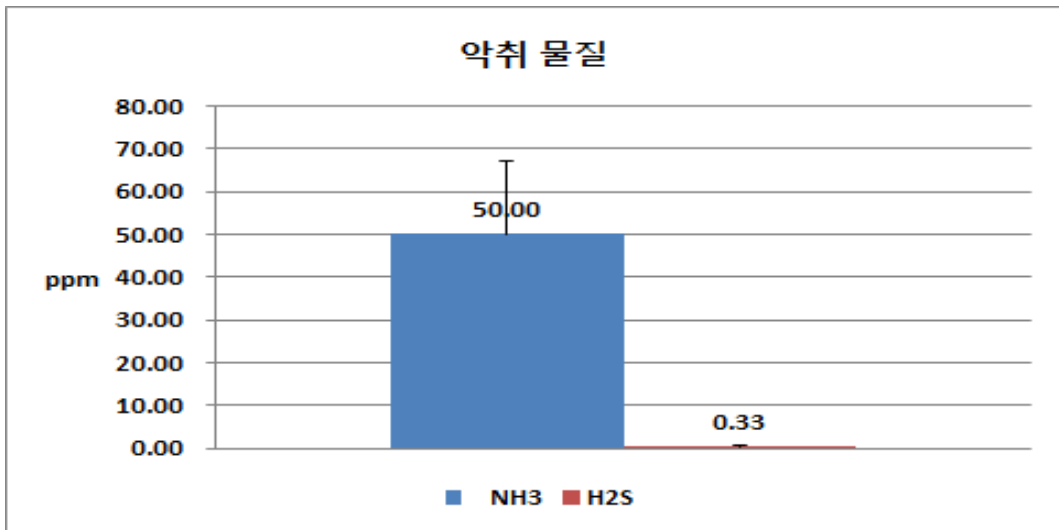
(2) 장치 내부



- 장치 내부에서 미세분진 측정 결과 TSP 평균 농도 43.13 µg/m³ 이었고, 최대 62.2 µg/m³, 최소 26.2 µg/m³으로 측정되었다. PM10 µg/m³의 경우 평균 농도 42.13 µg/m³ 이며, 최대 43 µg/m³, 최소 41.2 µg/m³ 으로 조사됨.
- PM2.5은 평균농도 15.1 µg/m³ 로 관찰되었으며, 최대 16.49 µg/m³, 최소 14.19 µg/m³로 나타남.
- PM1의 평균 농도는 5.89 µg/m³, 최대 6.06 µg/m³, 최소 5.78 µg/m³로 측정됨.

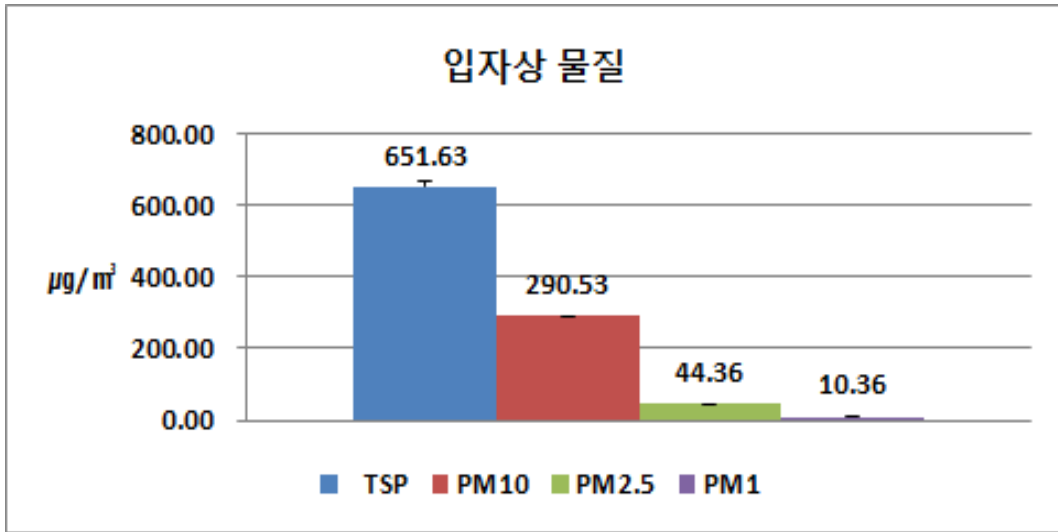


- 장치 내부 부유 미생물 측정 결과 부유세균 평균 농도는 5,594 cfu/m³ 이며, 최대 6,713 cfu/m³ , 최소 3,427 cfu/m³ 로 관찰됨.
- 부유진균의 경우 평균 3,492 cfu/m³ , 최대 4,169 cfu/m³ , 최소 3,038 cfu/m³ 로 조사됨.

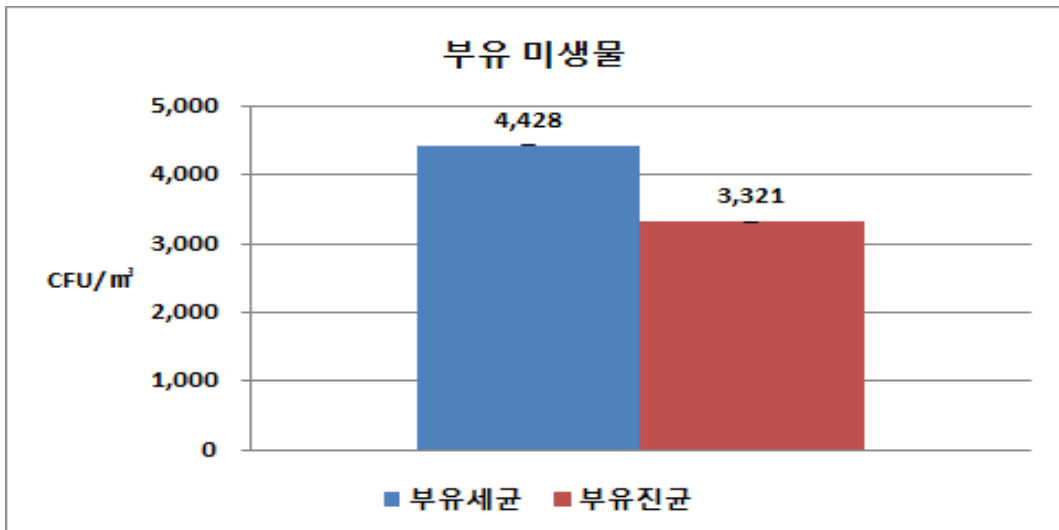


- 장치 내부에서 주요 악취물질 측정 결과 NH3의 평균 농도 50 ppm 이었으며, 최대 70 ppm, 최소 40 ppm으로 조사됨.
- H₂S의 경우 평균 0.33 ppm, 최대 0.7 ppm, 최소 0 pp으로 관찰됨.

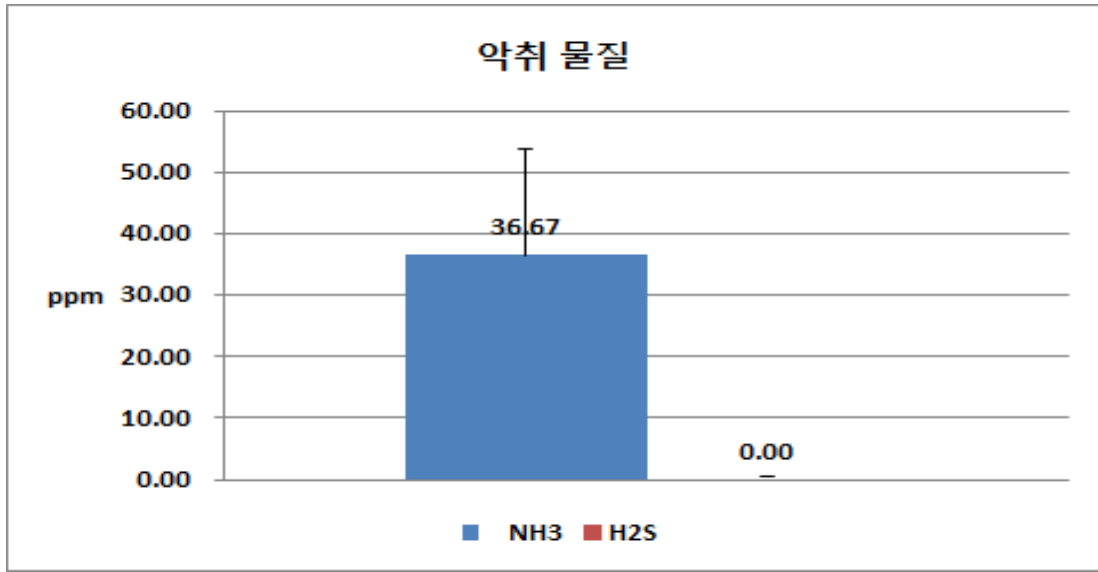
(3) 배출구



- 배출구에서 미세먼진 측정 결과 TSP 평균 농도 651.63 µg/m³ 이었고, 최대 769 µg/m³, 최소 590.5 µg/m³으로 측정되었다. PM10 µg/m³의 경우 평균 농도 290.53 µg/m³ 이며, 최대 389.8 µg/m³, 최소 160.2 µg/m³ 으로 조사됨.
- PM2.5은 평균농도 44.35 µg/m³ 로 관찰되었으며, 최대 45.4 µg/m³, 최소 42.5 µg/m³로 나타남.
- PM1의 평균 농도는 10.36 µg/m³, 최대 13.22 µg/m³, 최소 7.4 µg/m³로 측정됨.



- 배출구 부유 미생물 측정 결과 부유세균 평균 농도는 4,428 cfu/m³ 이며, 최대 5,512 cfu/m³ , 최소 3,180 cfu/m³ 로 관찰됨.
- 부유진균의 경우 평균 3,321 cfu/m³ , 최대 4,169 cfu/m³ , 최소 2,332 cfu/m³ 로 조사됨.



- 배출구에서 주요 악취물질 측정 결과 NH3의 평균 농도 36.66 ppm 이었으며, 최대 64 ppm, 최소 8 ppm으로 조사됨.
- H₂S의 경우 3회 측정치 모두가 0 ppm으로 관찰됨.

나. 선행연구 결과 비교

<표-8> 원통 수평형 고속 퇴비화 시설 물질별 측정 결과 종합

구분	온도 (°C)	습도 (%)	TSP (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	PM2.5 (µg/m³)	PM1 (µg/m³)	NH3 (ppm)	H2S (ppm)	부유세균 (cfu/m³)	부유진균 (cfu/m³)	
본 연구	투입구	24.9	66	127.93	44.13	15.89	5.17	53.3	0.13	4,734	3,562
	장치내부	39.1	91.4	43.13	42.13	15.1	5.89	50	0.33	5,594	3,492
	배출구	24.8	67.7	651.63	290.53	44.35	10.36	36.6	0	4,428	3,321
선행 연구	screw 방식	-	-	676	260	83	-	107.9	0.32	7,813	1,400
	Rotary 방식	-	-	574	202	65	-	83.5	0.44	3,483	744
	Dry 방식	-	-	137	136	36	-	55.6	0.96	6,086	614

(1) 입자상 물질

- 미세먼지의 측정결과 모든 측정 지점에서 선행 연구결과와 비교시 저농도로 측정됨.
- 투입구의 경우 원료 투입이 사전에 실시되어 투입구 장치 가동이 중단된 상태와 외부환경 영향으로 인해 저농도로 측정된 것으로 판단됨.
- 장치내부 측정시 고습도로 인해 미세먼지의 활동성이 감소되어 농도가 낮게 관찰됨.
- 배출구 측정 지점의 경우 장치 내부 공기를 배출하는 굴뚝에서 측정을 실시하여 높은 농도로 측정된 것으로 사료됨.

(2) 악취물질

- 악취물질의 경우 암모니아와 황화수소 모두 선행 연구와 비교시 낮은 수준으로 측정되었으며, 원통 수평형 시설의 조건상 교반시 회전으로 인해 측정시 가축분뇨 더미가 한쪽 방향으로 치우쳐 산소 공급 차이에 따라 저농도로 측정된 것으로 추정됨.

(3) 부유 미생물

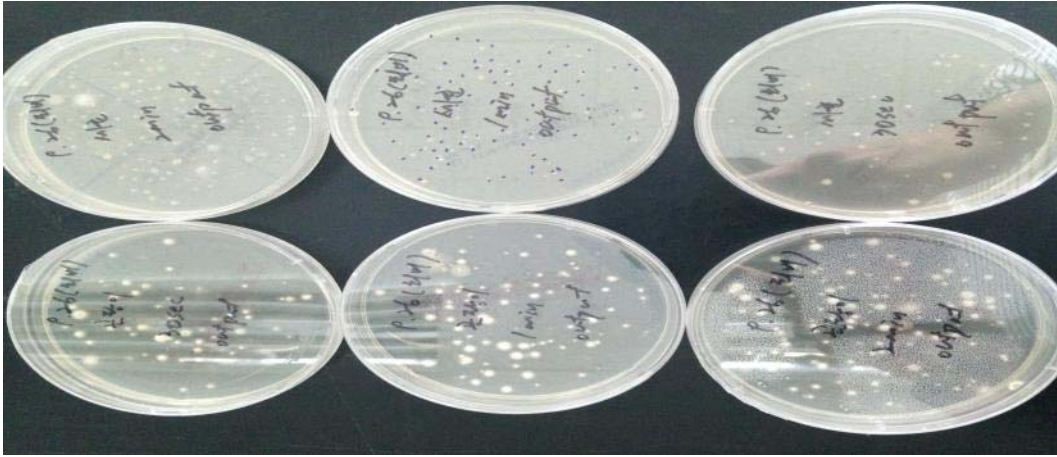
- 예비조사 측정 결과 부유세균의 경우 장치 내부를 제외한 다른 두지점의 경우 모두 선행연구 결과가 높게 나타남.
- 투입구와 배출구의 경우 외부환경(온도, 습도, 기류) 차이로 나타난 것으로 추정된다. 장치 내부의 경우 퇴비화 초기 단계로서 중온성 균의 유기물 분해로 인해서 높게 나타난 것으로 판단됨.
- 온난 다습한 환경에서 증식이 활발한 진균의 특성을 고려했을 때, 본 연구 시설에서 부유진균이 선행 연구와 비교시 더 높은농도로 측정된 것으로 추정됨.

(4) 예비조사 결과에 대한 고찰

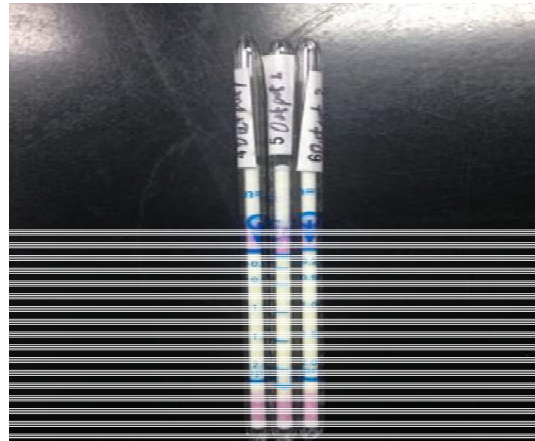
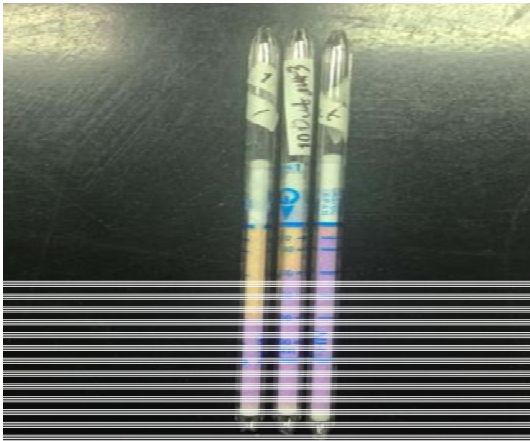
- 현장 예비조사 온도 측정 결과, 전체적으로 40 ℃ 이하로 측정된 것을 확인할 수 있으며, 온도 조건을 고려했을 때, 퇴비화 초기단계 인 것으로 판단됨.
- 퇴비화의 단계 수준에 따라 전체적인 물질의 농도가 선행 연구와 비교시 낮게 나타난 것으로 추정됨.
- 시설 특성상 원통 수평형 형태로 장치 자체가 계속적으로 회전하며 교반하는 방식으로 되어있고, 예비 조사 시 장치를 일정시간 정지 시킨 후 측정을 실시해야 하며, 장치가 정지한 상태에서 측정하여 물질 농도가 낮게 나타난 것으로 사료됨.

■ 측정결과 사진

▶ 투입구

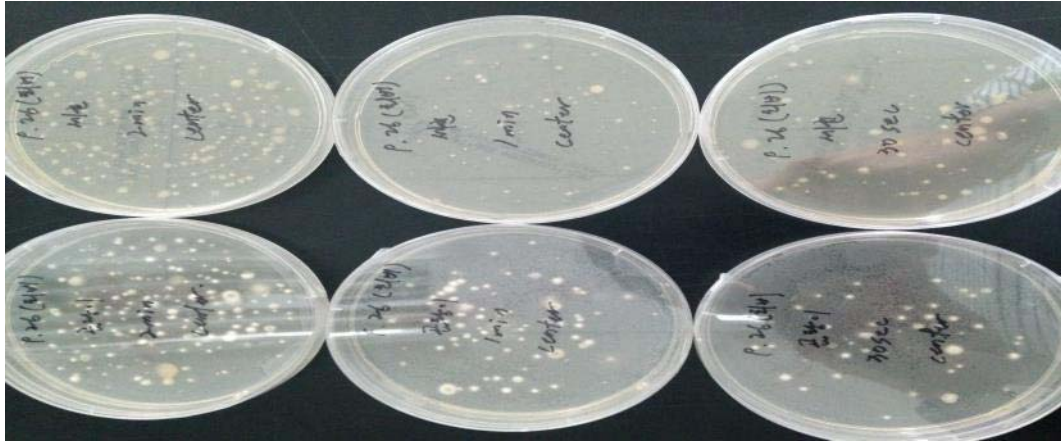


<그림-25> 투입구 미생물 배양 사진

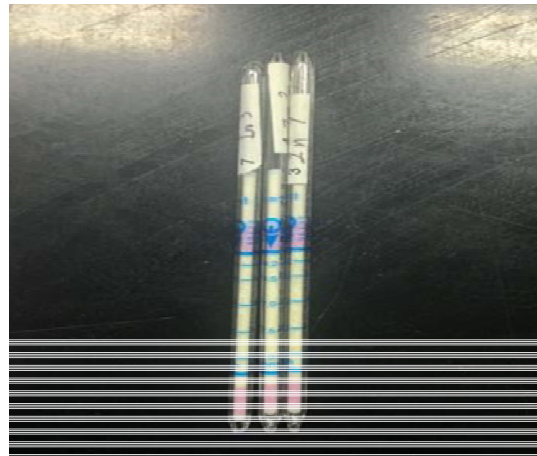
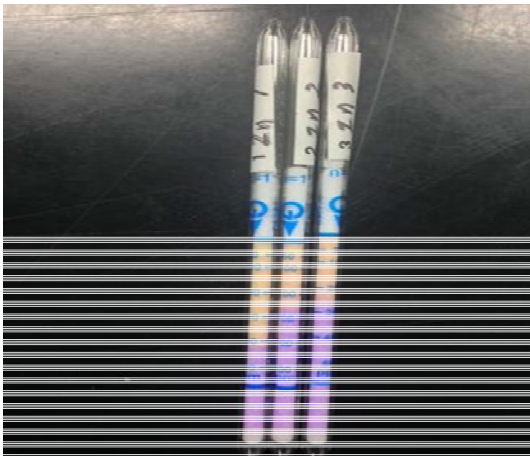


<그림-26> 투입구 약취물질 측정사진

▶ 장치 내부

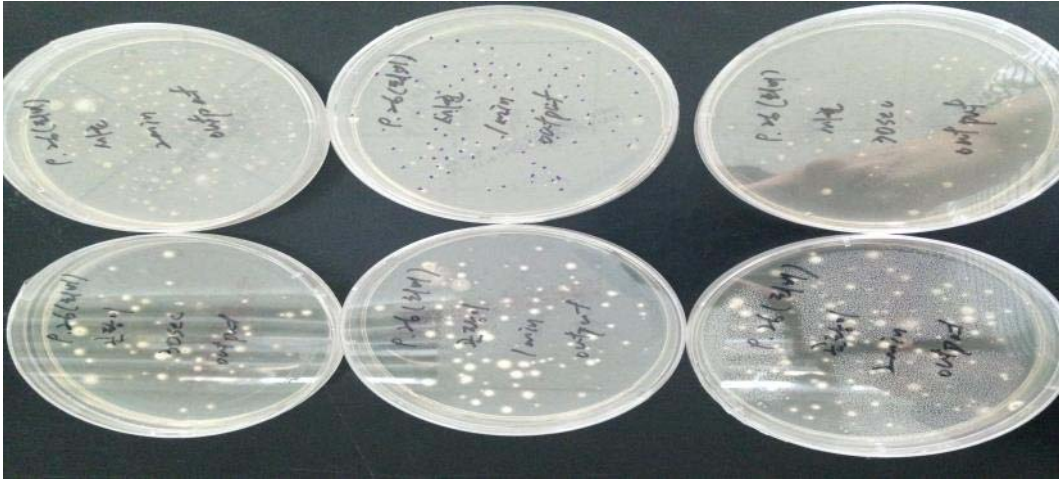


<그림-27> 장치내부 미생물 배양 사진

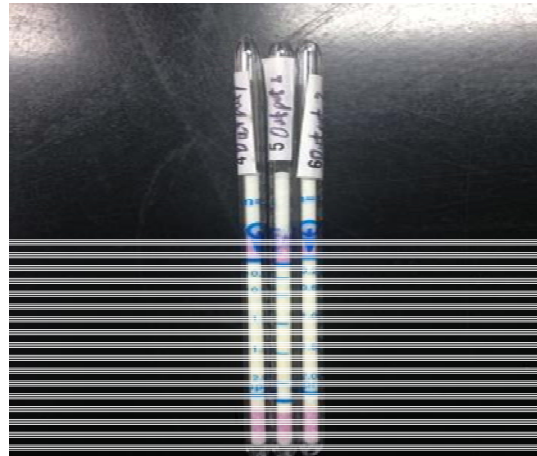
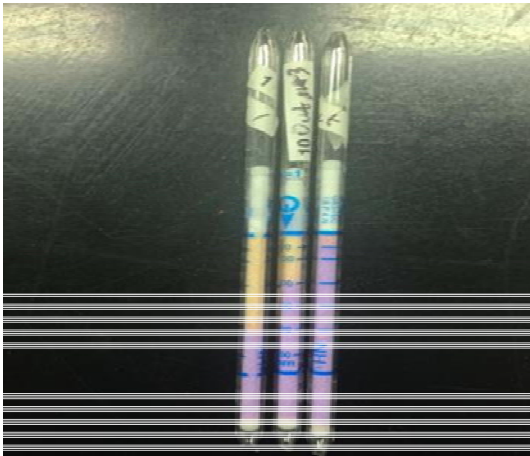


<그림-28> 장치내부 악취물질 측정사진

▶ 배출구



<그림-29> 배출구 미생물 배양 사진



<그림-30> 배출구 약취물질 측정사진

2절. 2차 년도 연구개발 내용

1. 투입 수분조절제 조성에 따른 가축분뇨 고속 퇴비화시 배출되는 공기오염 물질의 발생 양상 현장 평가

가. 예비평가

(1) 연구개요

(가) 연구 대상 및 기간

- 본 연구는 용인시에 위치한 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템을 대상으로 하여 맑은 날을 기준으로 오후 시간대(13:00 pm ~ 16:00 pm)에 진행.(〈그림-31〉 참조)
- 평가 지점은 투입구, 발효조, 배출구, 부지경계선으로 분류하여 평가하였다. 가축분뇨 고속 발효를 위한 예비 평가의 투입 조건은 돈분 75%와 톱밥 25%를 혼합하여 투입.



<그림-31> 평가대상시설

(나) 시료 채취 및 분석 방법

- 현장 평가와 관련한 시료 채취 항목 및 분석방법은 <표-9>에 정리.
- 측정위치는 각 평가지점에 최대한 가까이 하여 측정하였고, 부지경계선은 지면으로부터 상부 1m 되는 위치에서 측정함.
- 각 측정항목마다 3회 반복 시료를 채취하여 평균값을 대푯값으로 함.

<표-9> 평가 시료 채취 항목 및 분석 방법

장비사진	물질구분	항목	시료채취 장비	분석방법
	환경적 요인	온도	IAQ surveyor meter (Gray wolf, USA)	광산란 직독식
		습도		
	입자상 물질	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	Dust mate (Turkey LTD, USA)	광산란 직독식
	가스상 물질	암모니아	TG-501 (Gray wolf, USA)	광산란 직독식
		황화수소		
	악취물질	악취관능법	복합악취시료채취장 치 (Odortech, Korea)	공기희석관능 법
	생물학상 물질	부유세균	BUCK Bio-culture (A.P. BUCK, USA)	배양법, 정량평가
		부유진균		

(2) 연구 결과 및 고찰

- <표-10>은 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템 운용에 따른 각 지점(투입구, 발효조, 배출구, 부지경계선)에서의 공기오염물질의 발생 농도를 제시함.

<표-10> 평가 항목별 결과

구분	투입구		발효조		배출구		부지경계선	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
온도(°C)	21.63	0.21	40.3	0.1	21.6	0	20.27	0.38
습도(%)	49.07	0.71	91.6	0.1	49.7	0.17	47.77	0.15
TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	110.83	10	6493.17	64.36	105.9	5.46	89.53	2.65
PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	71.17	3.35	4677.53	576.99	74.43	1.85	76.37	2
PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	31.45	1.95	645.33	6.81	33.59	4.62	35.42	0.55
PM1($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	18.82	0.87	263.03	15.68	18.63	0.37	17.8	1.09
암모니아(ppm)	0.07	0.06	4.2	0.1	0.1	0	0	0
황화수소(ppm)	0.01	0.01	0.21	0.02	0.02	0	0	0
복합악취	44	-	448	-	44	-	38	-
부유세균(cfu/ m^3)	1649	501.93	2332.16	301.91	1369.85	184.5	169.61	7.07
부유진균(cfu/ m^3)	1103.65	229.44	1645.46	470.99	1048.29	147.12	106.01	14.14

(가) 환경적 요인

- 온·습도 측정결과 투입구의 경우 21.63(± 0.21)°C, 49.07(± 0.1)% 이며, 발효조는 40.3(± 0.1)°C, 91.6(± 0.1)%, 배출구 21.6(± 0)°C, 49.7(± 0.17)%, 부지경계선 20.27(± 0.38)°C, 47.77(± 0.15)% 으로 각각 측정됨.
- 측정결과 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 발생 농도가 분석됨.

(나) 입자상 물질

- 입자상 물질 측정결과 투입구의 경우 TSP 110.83(± 10) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 71.17(± 3.35) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 31.45(± 1.95) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 18.82(± 0.87) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 발효조는 TSP 6493.17 (± 64.36) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 4677.53(± 576.99) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 645.33(± 6.81) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 263.03(± 15.68) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관찰됨.
- 배출구에서는 TSP 105.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (± 5.46), PM10 74.43(± 1.85) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 33.59(± 4.62) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 18.63(± 0.37) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 측정되었고, 부지경계선은 TSP 89.53(± 2.65) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 76.37(± 2) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 35.42(± 0.55) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 17.8(± 1.09) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 조사됨.
- 발효조에서 최대 농도로 발생되었으며, 부지경계선은 최소 농도로 분석되었으며, 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템 운용에 따른 입자상 물질의 농도는 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 나타남.

- 밀폐된 상태에서 돈분 및 톱밥의 지속적인 교반작용에 의해 발효조 내부에 입자상 물질이 비산되어 발효조에서 가장 높은 농도로 발생된 것으로 판단됨.
- 투입구와 배출구의 경우 부지경계선에 비해 높은 농도로 조사되었지만, 주변 외기에 의해 농도 차이가 크지 않은 것으로 추정됨.
- 다른 퇴비화 시스템을 대상으로 입자상 물질을 측정된 선행연구의 경우 Screw 방식은 TSP 678 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이고, Rotary 방식은 TSP 574 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 202 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Dry 방식은 TSP 137 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 136 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타남.
- 본 연구결과와 비교시 투입구와 배출구의 경우 선행연구 결과보다 낮은 수준이지만, 발효조의 경우 높은 수준으로 관찰됨. 이와 같은 결과가 나타난 이유는 상기 언급한바와 같이 기존 퇴비화 시스템과 달리 외기의 영향이 전혀 없는 밀폐된 형태이고 교반 방식이 원통형으로 회전하는 방식이라 더 높은 입자상 물질이 측정된 것으로 판단됨.

(다) 가스상 물질

- 가스상 물질은 광산란 직독식 장비를 이용하여 암모니아와 황화수소 두 가지 물질을 측정하였다. 투입구에서 가스상 물질 측정결과 암모니아 0.07(\pm 0.06)ppm, 황화수소 0.01(\pm 0.01)ppm으로 측정되었고, 발효조는 암모니아 4.2(\pm 0.1)ppm, 황화수소 0.21(\pm 0.02)ppm, 배출구는 암모니아 0.1(\pm 0)ppm, 황화수소 0.02(\pm 0)ppm, 부지경계선은 암모니아와 황화수소 모두 0 ppm으로 나타남.
- 입자상 물질과 동일하게 발효조에서 가장 높은 농도가 나타났으며, 배출구>투입구>부지경계 순으로 조사되었으며, 발효조의 경우 다른 측정지점과 달리 외기의 영향을 전혀 받지 않는 밀폐상태이며 측정시 채취구를 개방한 상태에서 측정하므로 퇴비화 시스템 내부에 응축된 가스가 배출되어 높은 농도가 발생된 것으로 사료됨.
- 다양한 자원화 시스템을 대상으로 가스상 물질을 측정된 선행연구 결과를 고찰해본 결과(Screw 방식 - 암모니아: 107.9 ppm, 황화수소: 0.32 ppm, Rotary 방식 - 암모니아: 83.5 ppm, 황화수소: 0.44 ppm, Dry 방식 - 암모니아: 55.6 ppm, 황화수소: 0.96ppm) 본 연구에서 측정된 가스상 물질 농도가 현저히 낮은 수준으로 나타남.
- 이는 선행연구의 경우 측정시기가 여름이라는 점에서 실외 온도 상승에 따라 가축분뇨 더미내 미생물 분해활성도가 동시에 높아져 더 높은 수준으로 측정된 것으로 추정됨.

(라) 복합악취(공기희석 관능법)

- 공기희석 관능법을 통해 복합악취 분석결과 투입구의 경우 44배, 발효조 448배, 배출구 44배, 부지경계선 38배로 분석됨.
- 공기희석 배수는 발효조에서 가장 높았고 투입구, 배출구, 부지경계 순으로 분석됨.

- 암모니아와 황화수소의 경우 악취를 유발하는 주요 원인 물질로서 가스상 물질의 측정 결과와 동일하게 발효조에서 가장 높은 수준의 공기희석 배수가 분석된 것으로 판단됨.
- 환경부 악취방지법에서는 복합악취 공기희석 관능법에 대해 배출허용기준 범위를 설정하고 있으며, 배출구 기준(공업지역) 500~1000배, 부지경계선 기준(공업지역) 15 ~ 20 배로 각각 제시.표-11 참조>
- 투입구, 발효조, 배출구의 경우 배출허용기준(500배) 보다 낮은 수준으로 조사되며 부지 경계선은 배출허용기준(15배) 보다 높은 수준으로서 추후 저감 방법을 검토하여 적용하여 관리되어야 함.

<표-11> 환경부 악취방지법 배출허용기준

구분	배출허용기준 (희석배수)		엄격한 배출허용기준의 범위 (희석배수)	
	공업지역	기타 지역	공업지역	기타 지역
배출구	1000 이하	500 이하	500 ~ 1000	300 ~ 500
부지경계선	20 이하	15 이하	15 ~ 20	10 ~ 15

(마) 생물학상 물질

- 생물학상 물질은 부유세균과 진균으로 분류하여 평가하였으며 투입구에서 생물학상 물질 측정결과 부유세균이 1649(±501.93)cfu/m³, 부유진균은 1103.65(±229.44)cfu/m³로 측정됨.
- 발효조는 부유세균 2332.16(±301.91)cfu/m³, 부유진균 1645.46(±470.99)cfu/m³, 배출구는 부유세균 1369.85(±184.5)cfu/m³, 부유진균 1048.29(±147.12)cfu/m³로 조사되었으며, 부지 경계선은 부유세균 169.61(±7.07)cfu/m³, 부유진균 106.01(±14.14)cfu/m³로 각각 나타남.
- 측정지점이 밀폐된 상태이므로 높은 온·습도에 의해 미생물 농도도 함께 증가한 것으로 판단되며, 선행연구 결과에 따르면 생물학상 물질의 경우 입자상 물질과 높은 상관성이 있다는 보고가 있음. (고연자 등, 2007; 박재범 등, 2006; 김기연 등, 2006)
- 이와 같은 이유로 발효조에서 가장 높은 농도로 나타난 것으로 사료됨.

2. 본 평가 (운영조건 - 돈분5 : 톱밥1 : 생산퇴비1 + 절단목 10개)

가. 연구 개요

(1) 연구 대상 및 기간

- 본 평가의 경우 예비평가와 동일한 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템을 대상으로 하여 맑은 날을 기준으로 오후 시간대(13:00 pm ~ 16:00 pm)에 진행하였으며, 평가 지점도 예비평가와 동일하게 투입구, 발효조, 배출구, 부지경계선으로 분류하여 평가됨.
- 가축분뇨 고속 발효를 위한 본 평가의 투입 비율은 질량 기준으로 돈분 5 : 톱밥 1 : 생산퇴비 1 + 절단목 10개로 혼합하여 투입.

(가) 시료 채취 및 분석 항목

- 예비평가와 동일한 실내공기오염물질 항목과 시료채취 장비를 이용하여 평가.

나. 연구 결과 및 고찰

(1) 측정 위치별 발생 농도 평가

- 원통형 가축분뇨 고속 발효기의 측정 위치(투입구, 발효조, 배출구, 부지경계선)에 대한 공기오염물질의 발생 농도는 <표-12>와 같음.

<표-12> 평가 항목별 결과

구분	투입구		발효조		배출구		부지경계선	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
온도(°C)	26.5	0.1	44.2	0.06	20.3	0.38	19.5	0.1
습도(%)	45.1	0.06	90.4	0.67	42.4	0.91	41.2	0.1
TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	244.03	29.85	3475.27	726.97	223.77	28.05	89.53	2.65
PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	172	9.99	2816.2	126.87	115.77	18.58	76.37	2.0
PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	99.88	0.49	359.75	17.09	35.42	0.55	7.68	1.12
PM1($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	53.05	1.52	302.95	29.01	18.82	0.87	1.85	0.54
암모니아(ppm)	0.1	0	3.23	0.15	0.1	0	0.03	0.06
황화수소(ppm)	0.04	0.01	0.18	0.01	0.02	0.01	0.003	0.01
복합악취	38	-	300	-	38	-	15	-
부유세균(cfu/m ³)	1389.87	223.72	2244.99	275.65	1109.49	22.42	169.61	7.07
부유진균(cfu/m ³)	1108.36	285.15	1659.6	233.06	858.93	114.77	106.01	14.14

(가) 환경적 요인

- 개발된 수분 조절제 투입조건에 따라 평가지점별 온습도 측정결과 투입구 26.5(±0.1)℃, 45.1(±0.06)%, 발효조 44.2(±0.06)℃, 90.4(±0.67)%, 배출구 20.3(±0.38)℃, 42.4(±0.91)%, 부지경계선 19.5(±0.1)℃, 41.2(±0.1)%로 측정됨.
- 발효조에서 가장 높은 온습도 농도가 측정되었으며 투입구>배출구>부지경계 순서로 조사됨.

(나) 입자상 물질

- 입자상 물질 측정결과 투입구에서는 TSP 244.03(±29.85)µg/m³, PM10 172(±9.99)µg/m³, PM2.5 99.88(±0.49)µg/m³, PM1 53.05(±1.52)µg/m³, 발효조는 TSP 3475.27(±726.97)µg/m³, PM10 2816.2(±126.87)µg/m³, PM2.5 359.75(±17.09)µg/m³, PM1 302.95(±29.01)µg/m³, 배출구는 TSP 223.77(±28.05)µg/m³, PM10 115.77(±18.58)µg/m³, PM2.5 35.42(±0.55)µg/m³, PM1 18.82(±0.87)µg/m³ 으로 측정됨.
- 부지경계선의 경우 TSP 89.53(±2.65)µg/m³, PM10 76.37(±2)µg/m³, PM2.5 7.68(±1.12)µg/m³, PM1 1.85(±0.54)µg/m³ 으로 나타났으며, 농도 발생 수준은 발효조>투입구>배출구>부지경계선 순으로 예비평가와 동일하게 관찰됨.
- 예비평가 측정결과와 비교시 투입구와 배출구에서는 개발된 수분조절제 투입시 입자상 물질 농도가 높았지만, 발효조는 예비평가보다 2배 정도 낮게 측정되는 것으로 분석됨.
- 본 측정결과를 종합하였을 때, 전반적으로 개발된 수분조절제(돈분5 : 톱밥1 : 생산퇴비1 + 절단목 10개) 투입시 예비평가(돈분3 : 톱밥1)보다 입자상 물질 농도가 더 낮게 측정되는 것으로 나타남.

(다) 가스상 물질

- 가스상 물질의 경우 투입구 측정결과 암모니아 0.1(±0)ppm, 황화수소 0.04(±0.01)ppm이며 발효조는 암모니아 3.23(±0.15)ppm, 황화수소 0.18(±0.01)ppm, 배출구 0.1(±0)ppm, 0.02(±0.01)ppm, 부지경계선은 암모니아 0.03(±0.06)ppm, 황화수소 0.003(±0.01)ppm으로 각각 측정됨.
- 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 가스상 물질 농도가 높은 수준으로 조사되었으며, 예비평가와 가스상 물질 측정결과 비교시 개발된 수분조절제 투입시 투입구에서 더 높은 농도로 발생되었지만 발효조는 미미한 수준이지만 낮은 수준으로 관찰됨.
- 본 측정결과에 근거하였을 때, 예비평가에 적용된 수분조절제(돈분3 : 톱밥1)보다 개발된 수분조절제(돈분5 : 톱밥1 : 생산퇴비1 + 절단목 10개)를 투입하였을 경우 가스상 물질의 농도가 더 낮게 발생하는 것으로 판단됨.

(라) 복합악취(공기희석 관능법)

- 개발된 수분조절제 투입조건에 따른 공기희석 관능법 분석결과 투입구 38배, 발효조 300배, 배출구 38배, 부지경계선 15배로 분석됨.
- 가스상 물질과 동일하게 발효조>투입구=배출구>부지경계 순서로 관찰됨.
- 예비평가에 적용된 수분조절제(돈분3 : 톱밥1)와 결과를 비교하였을 때, 모든 측정지점에서 낮은 공기희석 배수가 나타났으며, 악취방지법에서 관리하는 배출허용기준(<표-13> 참조)을 초과하는 측정지점이 없음.
- 따라서 개발된 수분조절제(돈분5 : 톱밥1 : 생산퇴비1 + 절단목 10개) 투입시 발생하는 악취 발생 수준도 낮은 것으로 조사됨.

<표-13> 환경부 악취방지법 배출허용기준

구분	배출허용기준 (희석배수)		엄격한 배출허용기준의 범위 (희석배수)	
	공업지역	기타 지역	공업지역	기타 지역
배출구	1000 이하	500 이하	500 ~ 1000	300 ~ 500
부지경계선	20 이하	15 이하	15 ~ 20	10 ~ 15

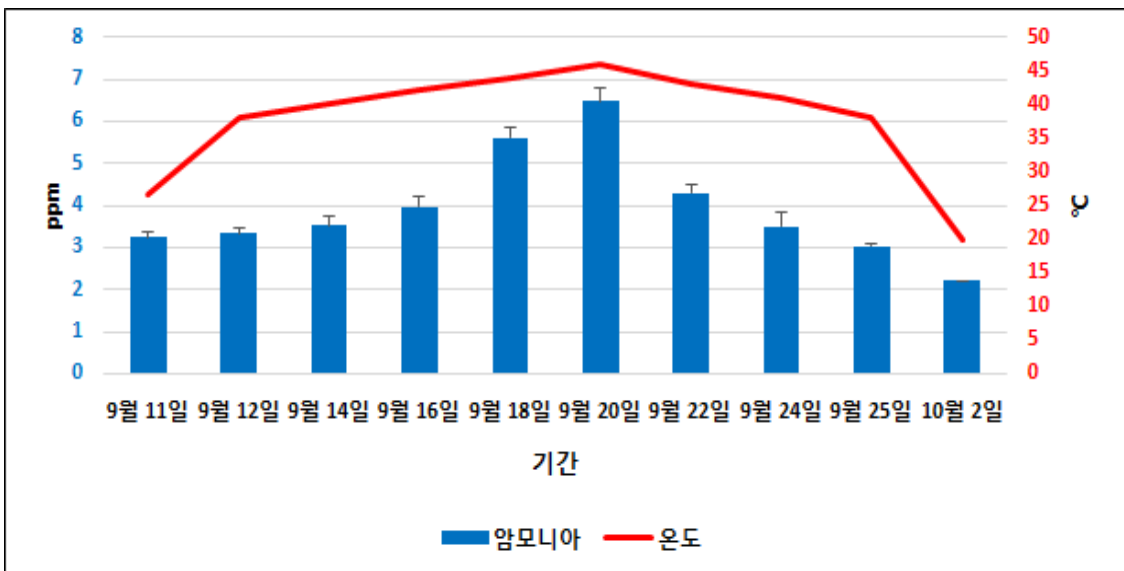
(마) 생물학상 물질

- 생물학상 물질 측정결과 투입구에서는 부유세균이 $1389.87(\pm 223.72)\text{cfu}/\text{m}^3$, 부유진균 $1108.36(\pm 285.15)\text{cfu}/\text{m}^3$ 이 나타났으며 발효조는 부유세균 $2244.99(\pm 275.65)\text{cfu}/\text{m}^3$, 부유진균 $1659.6(\pm 233.06)\text{cfu}/\text{m}^3$, 배출구는 부유세균이 $1109.49(\pm 22.42)\text{cfu}/\text{m}^3$, 부유진균 $858.93(\pm 114.77)\text{cfu}/\text{m}^3$, 부지경계선은 부유세균 $169.61(\pm 7.07)\text{cfu}/\text{m}^3$, 부유진균 $106.01(\pm 14.14)\text{cfu}/\text{m}^3$ 로 각각 측정됨.
- 예비평가 생물학상 물질 측정결과와 비교시 모든 측정지점의 부유세균과 진균의 농도가 더 낮은 것으로 분석됨.
- 측정된 모든 공기오염물질에서 개발된 수분조절제를 투입하였을 경우 더 낮은 농도로 나타났다. 개발된 수분조절제(돈분5 : 톱밥1 : 생산퇴비1 + 절단목 10개) 투입조건에 따른 공기오염물질 측정결과에 근거하였을 때, 예비평가지 적용된 수분조절제(돈분3 : 톱밥1)보다 모든 공기오염물질이 더 낮은 수준으로 발생하는 것으로 사료됨.

(2) 가축분뇨 퇴비화 진행 경과에 따른 악취물질의 경시적 발생 농도 평가

(가) 암모니아

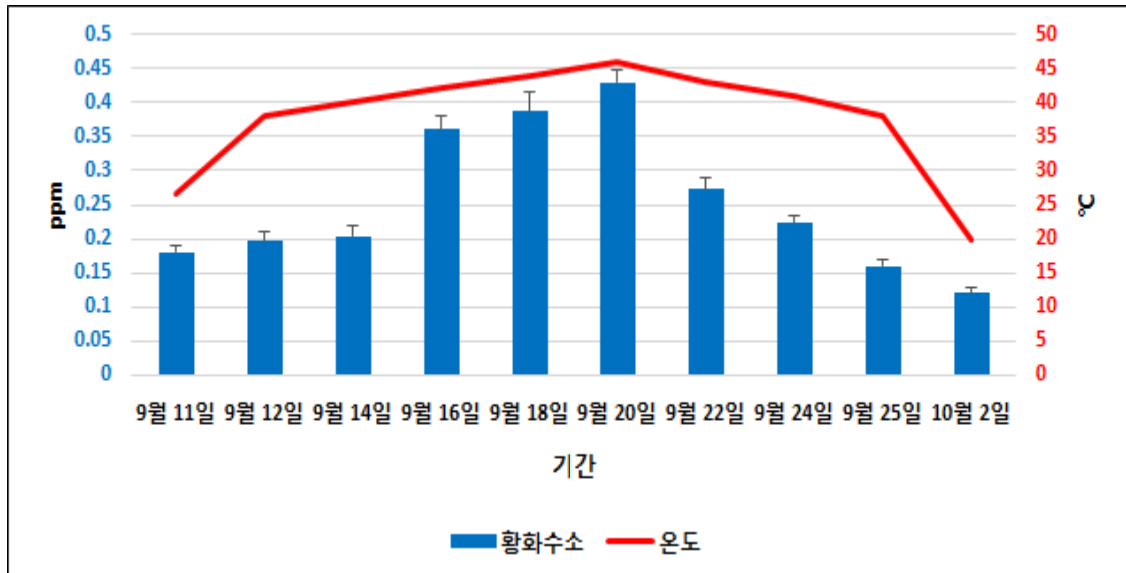
- <그림-32>에서 제시된 바와 같이 암모니아의 경우 처음 개발된 수분조절제 투입시 3.23 ppm으로 측정되었으며 퇴비화 초기 단계에서 지속단계로 진행됨에 따라 암모니아 농도(9월 12일 : 3.33 pp, 9월 14일: 3.53 ppm, 9월 16일: 3.96 ppm, 9월 18일: 5.6 ppm) 지속적으로 상승되는 것을 관찰할 수 있음.
- 숙성단계가 진행되면서 퇴비더미 온도가 40℃ 이하로 낮아지면서 암모니아 농도도 점차 감소하는 (9월 22일: 4.3 ppm, 9월 24일: 3.5 ppm, 9월 25일: 3.03 ppm, 10월 2일: 2.2 ppm)것으로 나타남.
- 즉, 가축더미의 부숙이 진행됨(초기단계→지속단계)에 따라 온도와 암모니아 농도가 점차 증가하였으며 다시 숙성단계가 진행되면서 암모니아 농도와 퇴비더미 온도도 함께 감소하는 경향이 관찰됨.
- 본 측정결과를 근거하였을 때 가축더미 온도에 따라 암모니아 농도도 함께 발생하는 것으로 나타남.



<그림-32> 가축분뇨 고속 퇴비화에 따른 암모니아 농도와 온도의 경시적 변화 추이

(나) 황화수소

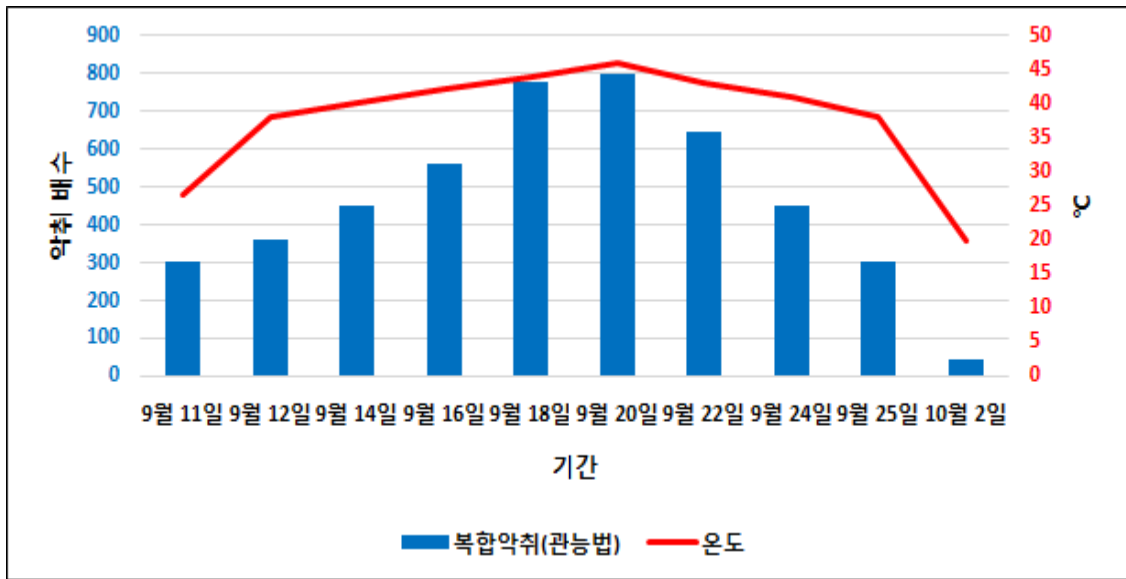
- <그림-33>에 나타난 바와 같이 황화수소 농도는 수분조절제 투입 초기 0.18 ppm 이었으며 퇴비화 시스템의 부숙이 진행되면서 온도와 함께 황화수소 농도(9월 12일: 0.19 ppm(온도: 38°C), 9월 14일: 0.2 ppm(온도: 40°C), 9월 16일: 0.36 ppm(온도: 42°C), 9월 18일: 0.38 ppm(온도: 44°C), 9월 20일: 0.43 ppm(온도: 46°C))도 함께 증가하는 것으로 조사됨.
- 숙성단계가 진행되면서 가축더미 온도가 감소함에 따라 황화수소 농도도 함께 감소하는 것으로 관찰됨. (9월 22일: 0.27 ppm(온도: 43°C), 9월 24일: 0.22 ppm(온도: 41°C), 9월 25일: 0.16 ppm(온도: 38°C), 10월 2일: 0.12 ppm(온도: 20°C)).
- 암모니아와 동일하게 가축더미 온도 발생 경향에 따라 황화수소 농도도 발생하는 것으로 분석됨.



<그림-33> 가축분뇨 고속 퇴비화에 따른 황화수소 농도와 온도의 경시적 변화 추이

(다) 복합악취(공기희석 관능법)

- <그림-34>에서 제시된 바와 같이 퇴비화 시스템 부숙단계별 공기희석 관능법 분석 결과 초기단계의 경우 300배로 분석되었으며, 부숙이 진행됨에 따라 358배(9월 12일), 448배(9월 14일), 560배(9월 16일), 778배(9월 18일), 800배(9월 20일)로 증가하였으며, 숙성단계가 진행되면서 645배(9월 22일), 448배(9월 24일), 300배(9월 25일), 44배(10월 2일)까지 감소하는 경향이 나타남.
- 암모니아 및 황화수소 측정결과와 동일하게 부숙단계에 따라 공기희석 배수가 증가하였다가 온도가 저감됨에 따라 공기희석 배수도 함께 점차 낮아지는 것으로 관찰됨.

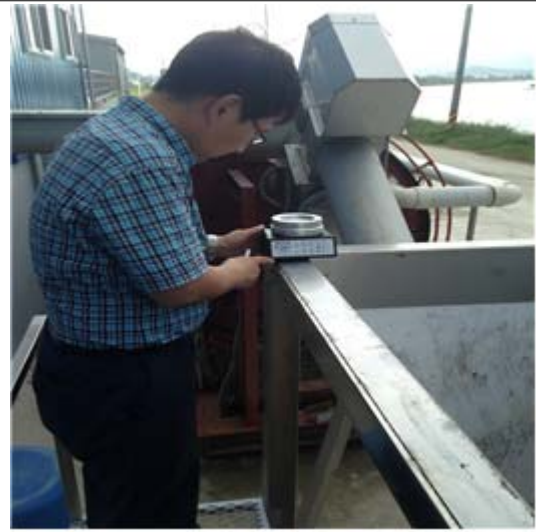


<그림-34> 가축분뇨 고속 퇴비화에 따른 복합악취 농도와 온도의 경시적 변화 추이

※ 현장 평가 사진



입자상 물질



생물학상 물질



가스상 물질



환경적 요인



복합악취(공기희석 관능법)

<그림-35> 투입구 측정사진



입자상 물질



생물학상 물질



가스상 물질



환경적 요인



복합악취(공기희석 관능법)

<그림-36> 원통 수평형 발효기 측정사진



입자상 물질



생물학상 물질



가스상 물질

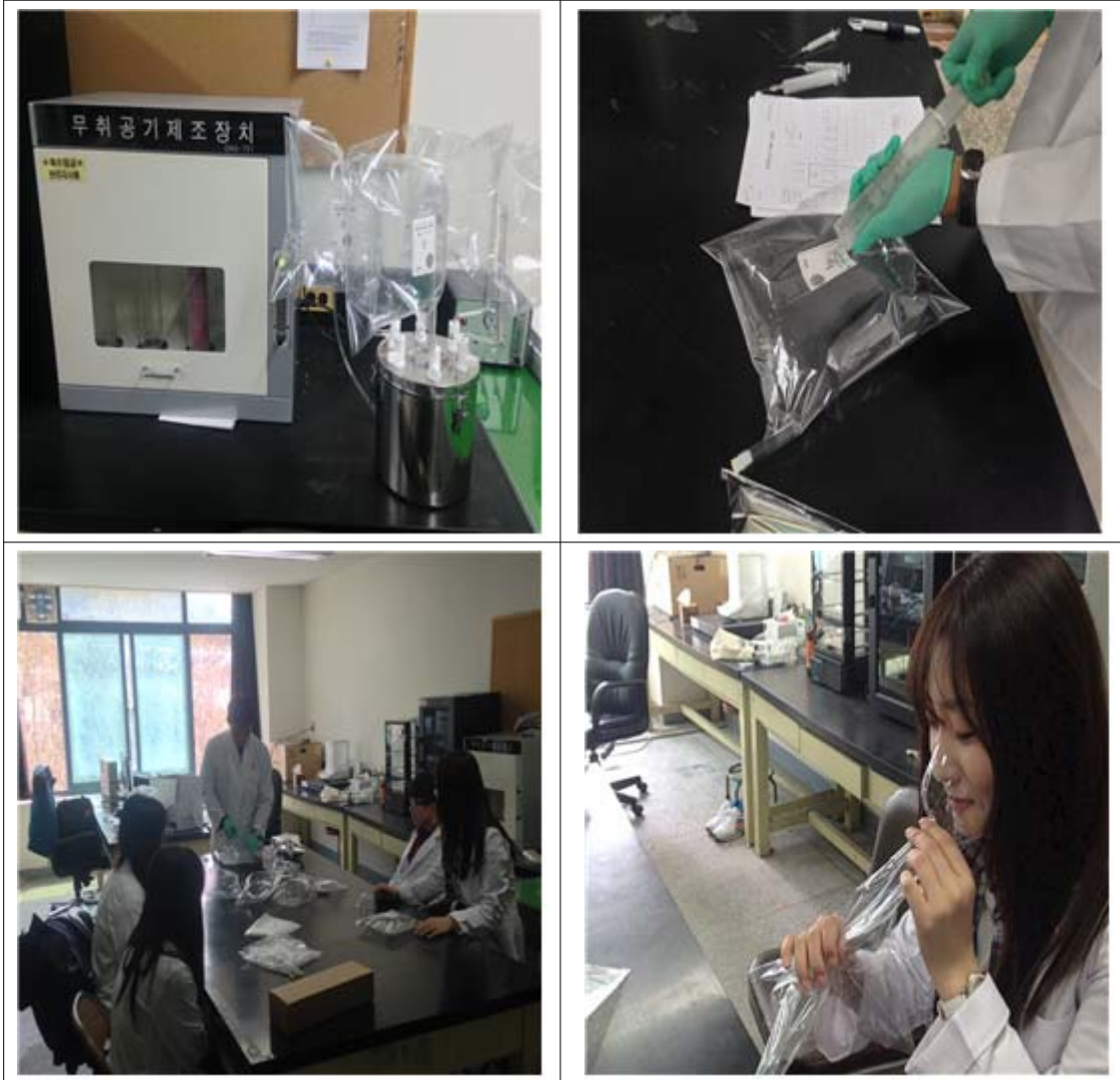


환경적 요인



복합악취(공기희석 관능법)

<그림-37> 부지경계선 측정사진



<그림-38> 복합약취 분석을 위한 공기희석 관능법 측정 사진

3. 원통형 고속 퇴비화 시스템 운용에 따른 작업장 및 부지경계선에서의 작업 환경 측정 평가

가. 연구 개요

(1) 연구 대상 및 기간

- 본 평가의 경우 개발된 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템을 관리하는 작업자와 주변 환경, 퇴비장 내부를 대상으로 하여 맑은 날을 기준으로 오후 시간대(13:00 pm ~ 19:00 pm)에 진행함.
- 평가 대상의 경우 관리 작업자 두 분을 대상으로 개인시료 채취와 주변환경 및 퇴비장 내부를 대상으로 지역시료 채취를 실시하여 수행함.

(2) 연구 시료채취 및 분석항목

- 각 평가대상별 가스상 물질과 입자상 물질을 개인시료 및 지역시료 채취를 실시.
- 개인시료 채취는 근로자 호흡기의 반경 30cm에 장비를 설치하며 지역시료 채취는 지면으로부터 상부 1~1.5m 높이에 장비를 설치하여 측정.
- <표-14>은 시료 채취 항목에 대한 측정 장비와 분석방법을 나타냄.

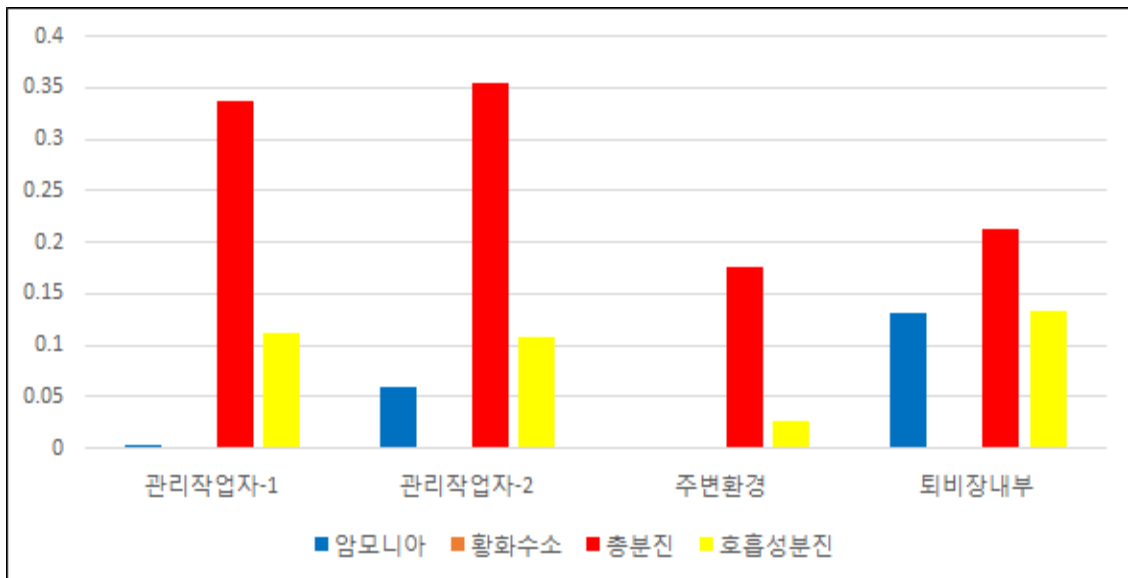
<표-14> 평가 시료 채취 항목 및 분석 방법

항목	시료채취 장비	분석방법
암모니아	226-10-06, silicagel, (SKC Inc, USA) MSA air pump (Zefon, USA)	분석기기 : Ion chromatography 컬럼 : Dionex IonPac CS12A
황화수소	226-06, charcoal(400/200), (SKC Inc, USA) MSA air pump (Zefon, USA)	분석기기 : Ion chromatography 컬럼 : IonPac AS4A separator, AG4A guard
총분진	PVC filter(37mm, 5um) (SKC Inc, USA) 3-pieces cassette, (SKC Inc, USA) MSA air pump, (Zefon, USA)	중량분석법, 정량평가
호흡성분진	PVC filter(37mm, 5um), (SKC Inc, USA) Aluminum Cyclone, (SKC Inc, USA) MSA air pump, (Zefon, USA)	중량분석법, 정량평가

나. 연구 결과 및 고찰

<표-15> 작업환경측정 평가결과

구분	측정물질	개인시료		지역시료	
		관리 작업자-1	관리 작업자-2	주변환경	퇴비장 내부
		측정 농도			
가스상 물질	암모니아(ppm)	0.0036	0.0595	N.D	0.1303
	황화수소(ppm)	N.D	N.D	N.D	N.D
입자상 물질	총분진(mg/m ³)	0.3363	0.3547	0.1761	0.2135
	호흡성분진(mg/m ³)	0.1121	0.1083	0.0267	0.1334



<그림-39> 작업환경측정 평가 결과

(1) 가스상 물질

<표-16> 암모니아와 황화수소의 노출기준(고용노동부고시 제2013-38호)

유해물질 명칭	CAS번호	노출기준			
		TWA		STEL	
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
암모니아	7664-41-7	25	18	35	27
황화수소	7783-06-4	10	14	15	21

(가) 개인시료 측정

- 본 연구를 통해 개발된 원통형 고속 가축분뇨 퇴비화 시스템을 관리하는 근로자 두분을 대상으로 가스상 물질(암모니아, 황화수소)을 측정된 결과를 <표-15>에 정리.
- 관리 작업자-1의 경우 암모니아에 0.0036 ppm 노출되고 있었으며, 관리작업자-2는 0.0595 ppm으로 관리 작업자-1에 비해 상대적으로 높은 수준에 노출되고 있었다. 황화수소 측정결과와 의 경우 모든 불검출로 분석됨.
- 이는 관리작업자-1의 경우 실외에서 작업하는 경우가 많으며, 관리작업자-2는 퇴비장 저장소 내부에서 작업을 하여 보다 높은 수준에 암모니아에 노출되고 있는 것으로 판단됨. (<그림-39> 참조)
- 고용노동부에서는 유해물질에 노출되는 작업자를 대상으로 노출기준(고용노동부고시 제 2013-38호)을 제시하고 있으며, 본 기준치를 초과하지 않도록 권고하고 있음. (<표-16> 참조)
- 본 개인시료 측정결과와 고용노동부 권고하는 암모니아와 황화수소 노출기준치와 비교 시 노출기준에 비해 현저히 낮은 수준으로 조사됨.

(나) 지역시료 측정

- 개발된 퇴비화 시스템 주변과 퇴비 저장소 내부를 대상으로 가스상 물질 측정결과를 <표-15>에 정리하여 나타냄.
- 퇴비 시스템 주변의 경우 암모니아와 황화수소 모두 불검출 되는 것으로 측정되었으며, 퇴비장 내부는 암모니아는 0.1303 ppm, 황화수소는 불검출로 분석됨.
- 개인시료 측정결과와 비교시 퇴비장 내부의 암모니아 농도는 개인시료에 비해 약 2배정도 높은 수준으로 평가됨.
- <표-16>에서 제시된 암모니아(25 ppm), 황화수소(10 ppm) 노출기준과 비교시 모두 기준치를 초과하지 않는 것으로 나타남.
- 축분퇴비공장 대상 작업환경측정을 실시한 선행 연구와 본 측정결과 비교시 암모니아와 황화수소 모두 선행연구에서 더 높게 나타났으며, 이는 측정 및 분석법 차이에 따라 두 결과치에 농도차이가 발생하는 것으로 판단됨. (Pederson et al, 1993; Yoder & Wicklen, 1988)

(2) 입자상 물질

<표-17> 총분진 및 호흡성분진의 관리 기준치

유해물질 명칭	기준치 (mg/m ³)	비고
기타분진	10	화학물질 및 물리적인자의 노출기준 (고용노동부고시 제2013-38호)
호흡성 분진	0.15	실내공기질 유지기준 (제3조 관련)

(가) 개인시료 측정

- 퇴비화 시스템 관리 작업자 두 명을 대상으로 하여 총분진과 호흡성분진으로 분류하여 개인시료 채취를 실시.
- 관리 작업자-1의 경우 총분진 0.3363 mg/m³, 호흡성 분진 0.1121 mg/m³로 측정되었으며 관리 작업자-2는 총분진 0.3547 mg/m³, 호흡성분진 0.1083 mg/m³로 각각 조사되었으며, 총분진과 호흡성분진 측정결과에서는 두 관리 작업자간의 큰 농도차이는 나타나지 않음.
- 국내에서는 총분진과 호흡성분진에 대한 기준치와 설정되어 있지 않다. 본 연구에서는 총분진의 경우 고용노동부에서 권고하는 기타분진 노출기준치 10 mg/m³과 비교를 실시하였으며 호흡성 분진은 환경부 실내공기질 관리법내 미세먼지의 실내공기질 유지기준 (0.15 mg/m³)을 적용하여 본 측정결과와 비교함. (<표-17> 참조)
- 그 결과 모든 측정치에서 기준치를 초과하지 않는 것으로 분석됨.

(나) 지역시료 측정

- 퇴비 시스템 주변과 퇴비 저장소 내부를 대상으로 입자상 물질(총분진, 호흡성 분진)을 지역시료 측정 결과 퇴비 시스템 주변에서 총분진은 0.1761 mg/m³, 호흡성 분진은 0.0267 mg/m³으로 나타났으며, 퇴비장 내부에서는 총분진 0.2135 mg/m³, 호흡성 분진 0.1334 mg/m³ 발생하는 것으로 조사됨.
- 퇴비장 내부에서 총분진 및 호흡성 분진이 퇴비 시스템 주변보다 더 높게 발생하는 것으로 측정되었으며, 이는 퇴비 시스템 주변의 경우 실외이므로 외기 영향으로 인해 더 낮게 분석된 것으로 판단됨. (Grub et al, 1965)
- 본 측정결과를 총분진 및 호흡성 분진 기준치와 비교시 모든 측정결과에서 기준치를 초과하지 않는 것으로 분석됨.
- 측정장소는 상이하지만 서울수도권 지하철역 내 총분진 측정결과 0.221 mg/m³와 비교시 미미한 수준으로 선행연구 결과가 높게 나타남.
- 결과 0.221 mg/m³와 비교시 미미한 수준으로 선행연구 결과가 높게 나타났으며, 이는 유동인구와 공기순환이 잘 이루어지지 않아 나타난 결과라 판단됨. (이지원과 김현욱, 1997)
- 축분 퇴비화 시스템 운용방식에 따른 호흡성 분진을 측정한 선행연구 결과 자연환기시 0.117 mg/m³, 기계환기시 0.125 mg/m³로 나타남. (김기연 등, 2004)
- 본 연구의 호흡성 분진 측정결과와 비교시 퇴비화 시스템 주변결과는 낮은 수준으로 조사되었으며 퇴비장 내부의 경우 미미한 수준이지만 더 높은 농도로 분석되었으며, 이는 실험이 진행된 시기가 선행연구의 경우 겨울이기 때문에 대체로 온도가 낮으면 분진의 농도가 상대적으로 감소한다는 연구결과에 근거를 둘 수 있음. (Epstein 등, 2001)

▶ 현장 평가 사진



관리작업자-1



관리작업자-2



퇴비장 내부



퇴비장 주변환경

<그림-40> 작업환경평가 사진

4. 부지경계선 기준으로 암모니아 농도를 1ppm 이하로 배출하기 위한 악취 제거 메커니즘 제안

가. 가축분뇨 처리 관련 악취 저감 방식 유형별 자료 분석

(1) 물리적 방식 (일반 환기 시스템 적용 방식)

- 가축분뇨 처리 시설내 발생된 악취를 제어하기 위해 가장 기본적으로 활용된 저감 방법은 기계적 환기에 의해 외부로 배출시키는 것으로 이렇게 외부로 배출된 악취물질은 제 2의 대기 오염을 유발하기 때문에 이를 방지하기 위한 방안으로 배기팬에 덕트를 설치하여 최종 바이오필터 처리를 하거나, 냉각 회수법을 통해 악취물질을 제거하는 방법이 적용됨. (NCSU, 1997)

(2) 화학적 방식

- 음용수의 소독 및 살균, 혹은 공기정화를 위해 이용된 오존이 가축분뇨 처리시설내 악취를 저감하기 위해 적용된 몇몇 연구 사례들(<그림-41> 참조)이 보고됨. (Kerr et al., 2008; Rumsey, 2010)



<그림-41> 가축분뇨 처리 시설에 적용된 악취 제어용 오존 발생기 실물도

- 중화제나 은폐제를 분무 시스템 형태로 가축분뇨 처리시설내 적용하여 악취를 일시적으로 저감시킨 연구들로는 다음과 같음. (<그림-42> 참조)
- Varel과 Miller (2001)는 식물성 향료인 Carvacrol과 thymol을 적정 수준의 용액으로 혼합, 가축분뇨 처리시설 내 분뇨 피트에 투입하여 악취물질 중 하나인 휘발성 지방산의 저감 효과를 관찰함.

- 물과 공기름을 적정 비율로 혼합, 이를 가축분뇨 처리시설 내부로 분무하여 악취를 운반하는 먼지의 농도를 저감시켜 악취를 제어. (Jacobson 등, 2000)



<그림-42> 가축분뇨 처리시설에 적용된 악취 제어용 분무 시스템 실물도

(3) 생물학적 방식

- 배설된 분뇨에서 악취를 저감시키기 위해 가축분뇨 처리시설 내부에 첨가제를 투입한 연구 사례들로는 다음과 같음.
- 양돈분뇨의 pH를 낮추어 분뇨내 암모니아 발생을 억제하기 위해 사용된 산성 용액 (phosphoric acid, benzoic acid, hydrochloric acid, nitric acid, sulfuric acid, lactic acid)을 적용하거나, Zeolite와 같은 암석가루, bentonite와 같은 토양 광물질, 활성탄, 유카 추출물 등을 분뇨에 첨가. (Zhu 등, 1999)
- 가축분뇨 저장조에 악취물질 분해 능력이 탁월한 미생물제제를 투입하여 악취 저감을 시도했던 연구도 보고. (Kim 등, 2008)
- Liao and Bundy(1994)와 Barrington(1990)에 의하면 악취저감용 미생물제제는 박테리아와 효소를 포함하고 있는데, 그것들의 복합적인 생화학적 소화공정에 의해 가스상의 오염물질의 방출이 억제되고 그로 인해 악취가 제거됨이 규명됨.

나. 가축분뇨 처리에 적용된 기존 악취 제거 시스템들의 경제성 평가

- <표-18>은 통계청 자료에 근거하여 가축분뇨 처리시 적용되는 악취를 포함한 공기질 개선장치 적용시 발생하는 비용편익을 분석한 자료.
- 우선 비용효과 계산에 앞서 모든 폐사율의 원인을 공기감염에 의한 공기질병이라고 가정하고 공기오염물질을 100%제거하면 폐사율은 없는 것으로 간주하여 비용효과를 나타냄.

- 인건비 부문에 있어서는 공기정화시설을 설치 운용할 경우 소요되는 인원은 관리 및 수리, 유지, 운용 등을 할 수 있는 관리인 고용발생 인구수를 농가당 1인으로 가정할 경우 2013년 노동부 발표 고용형태별 근로실태 조사 보고서에 따르면 농업, 임업 및 어업 숙련종사자 월간 임금 평균은 1,808,672원으로 조사됨.
- 그리하여 관리인을 고용하여 공기정화 시설을 가정한다하고 이에 대한 비용 금액을 추가로 산정하였다. 우리나라 2009년 통계청 자료에 따르면 돼지의 평균 폐사율은 13.4%에 따른다. 비육돈 1두 100Kg당 생산비는 229,094원(가축비 64,089원, 사료비 141,217원, 수도광열비 2,190원, 방역치료비 6,062원, 수선비 1,117원, 소농구비 112원, 제재료비 1,608원, 차입금이자 2,247원, 임차료 373원, 고용노력비 3,493원 기타잡비 886원, 분뇨처리비 4,771원, 상각비 8,628원, 자가노력비 5,722원 고정자본이자 5,111원, 유동자본이자 4,087원, 토지자본이자 468원, 부산물수입 410원)이고 축산물품질평가원 2010년 10월 1일 가격 3,497원/kg에 대한 비용효과는 120,606원이 됨.
- 보통 돼지 1두 당 0.9~1.56㎡의 공간을 소비하는데 1000㎡ 당 1,000마리를 사육한다고 가정하며, 1년 단위 일 경우 6개월에 1cycle씩 2회 출하 기준이므로, 2,000마리로 가정하였을 경우 1년에 폐사되는 돼지는 총 264마리.
- 오염물질 저감시설 설치에 따른 오염물질 저감율과 폐사율을 곱한 값에 폐사되는 돼지를 빼주면 그에 따른 비용효과가 나온다. 그리고 농사용 전력량 요금은 기본요금은 1,070원이고 전력량 요금은 1Kw/h당 36.4원.
- 그러나 여기서는 전기비 월당 30,000원 수도비 20,000원으로 계산 및 보수 및 소모품비 50,000원으로 계산하여 월당 유지 보수 소모품비를 200,000원으로 계산.
- 편익은 일정하게 수익이 일어났다고 가정하였으며, 누적 수입은 고려하지 않았음. 그리고 30년간 운영하였을 경우를 계산함.
- 단, 돼지의 시체 및 전염병 등 각종 부가 비용은 제외하였으며 오염물질로 인한 과태료 등의 부가 비용 또한 제외.

$$(2 \times 1,000 \times 3,497) - (2 \times 229,094) - \left(\frac{13.4}{100} \times \left(1 - \frac{E}{100}\right) \times (T \times 12) \times (2 \times 1,000 \times 3,497) \times 229,094\right) - (P \times 12) = B$$

E : 공기정화 시설 저감 효율(%)

T : 운전비용(월)

B : 편익(원/년)

P : 공기정화 시설 관리 고용 인건비

- 최종 분석 결과, 가장 비용효과가 좋은 것은 이오나이저 형태의 공기정화기가 좋은 것으로 나타남. 그러나 이는 통계청 자료에 근거한 간접적 산출 결과이므로 정확한 비용편익 분석을 위해서는 실제 돈을 대상으로 한 각 저감 장치의 실증 평가 연구가 필요.

<표-18> 통계청 자료에 근거한 가축분뇨 처리관련 공기질(악취 포함) 개선장치 적용시 비용편익 분석

방법	처리 오염물질 (효율, %)	제원	제조회사	기기값 및 운영비	사용 년수	비용 (Cost, 원)	편익 (Benefit, 원)	B/C ratio
미설치	없음	없음		-	-	-	208,889,592	-
세정식 집진기 (Scrubber)	미세먼지, NH3 (80%)	DKS- 1000 1,000m³/min(상온 & S US재질기준) (덕트 및 부수장비 별도)	동광 이테크	180,000,000+	0년	204,104,064		1.15
				200,000*12	10년	42,104,064	234,747,518	5.58
				(유지보수비포함) +21,704,064	20년	33,104,064		7.09
				(매년인건비)	30년	30,104,064		7.80
백필터 집진시설	미세먼지 (95%)	DKB-1000 1,000m³/min (여과속도:1m/min & 상온기준)	동광 이테크	100,000,000+	0년	129,480,064		1.85
				648,000*12	10년	39,480,064	239,595,880	6.07
				(유지보수비포함) +21,704,064	20년	34,480,064		6.95
				(매년인건비)	30년	32,813,397		7.30
바닥재료 개선	미세먼지 (20%)	m²	두호랜텍	140,000*1,000	0년			
				매년 교체	10년	161,704,064	215,354,074	1.33
				+21,704,064	20년			
				(매년인건비)	30년			
물과 오일	미세먼지 (70%)	ℓ	CJ 백셀	3,350*1000	0년			
				(매년교체)	10년	61,904,064	231,515,278	3.74
				+21,704,064	20년			
				(매년인건비)	30년			
이오나이저 형태 공기정화기	미세먼지, 미생물 (30%)	100m³ 20m³*5대 플라즈마형태 전기집진겸용 반영구적필터	삼성전자	22,500,000+	0년	46,604,064		4.69
				200,000*12	10년	26,354,064	218,586,314	8.29
				(유지보수비포함) +21,704,064	20년	25,229,064		8.66
				(매년인건비)	30년	24,854,064		8.79
바이오필터 (비오톱)	미세먼지 (70%)	담체량 1m³당 150만원 (200m³ 증진재 사용 5년단위 교체주기 무시)	(주) 엔바이온	300,000,000+	0년	324,104,064		0.71
				200,000*12	10년	54,104,064	231,515,278	4.28
				(유지비 약품값 포함)+	20년	39,104,064		5.92
				21,704,064	30년	34,104,064		6.79

- <표-19>는 대한양돈협회에서 제공하고 있는 자료에 근거한 가축분뇨 처리시 적용되는 약취를 포함한 공기질 개선 장치 적용시 발생하는 비용편익을 분석한 자료.
- 2,000두 기준의 일반 농가에서의 설치는 우리나라 2013년 부경양돈조합 41개 농장자료와 도드람양돈조합 10개 농장자료의 평균가격을 조사함.
- 돼지의 평균 폐사율은 26.3%에 따른다. 비육돈 1두 생산비는 289,615원으로서 상위권에 있는 농장을 대상으로 책정하여 58,419원이 됨.
- 그러나 이 가격 또한 상위권의 전산 관리 되고 있는 농장에 한한 가격이며, 보통 돼지 1두 당 0.9~1.56㎡의 공간을 소비하는데 1,000㎡ 당 1,000마리를 사육한다고 가정함.
- 또한, 1년 단위 일 경우 6개월에 1cycle씩 2회 출하기준이므로, 2,000마리로 가정하였을 경우 1년에 폐사되는 돼지는 총 526마리임.
- 오염물질 저감시설 설치에 따른 오염물질 저감율과 폐사율을 곱한 값에 폐사되는 돼지를 빼주면 그에 따른 비용효과가 나옴.
- 그리고 농사용 전력량 요금은 기본요금은 1,070원이고 전력량 요금은 1Kw/h당 36.4원.
- 여기서는 전기비 월당 30,000원 수도비 20,000원으로 계산 및 보수 및 소모품비 50,000원으로 계산하여 월당 유지보수소모품비를 200,000원으로 계산.
- 백필터의 경우에는 헤파필터(100,000원)과 프리필터(12,000원)를 1주에 한 번 갈아주는 형식의 4주를 적용 소모품비에 추가로 발생.
- 편익은 일정하게 수익이 일어났다고 가정하였으며, 누적 수입은 고려하지 않음.
- 그리고 30년간 운영하였을 경우를 계산함.
- 단, 돼지의 시체 및 전염병 등 각종 부가 비용은 제외하였으며 오염물질로 인한 과태료 등의 부가 비용 또한 제외.

$$(289,615 + 58,419) - (2 \times 289,615) - \left(\frac{26.3}{100} \times \left(1 - \frac{E}{100}\right) \times (T \times 12) \times (289,615 + 58,419) \times 289,615\right) - (P \times 12) = B$$

E : 공기정화 시설 저감 효율(%)

T : 운전비용(월)

B : 편익(원/년)

P : 공기정화 시설 관리 고용 인건비

<표-19> 대한양돈협회자료에 근거한 가축분뇨 처리관련 공기질(악취 포함) 개선장치 적용시 비용편익 분석

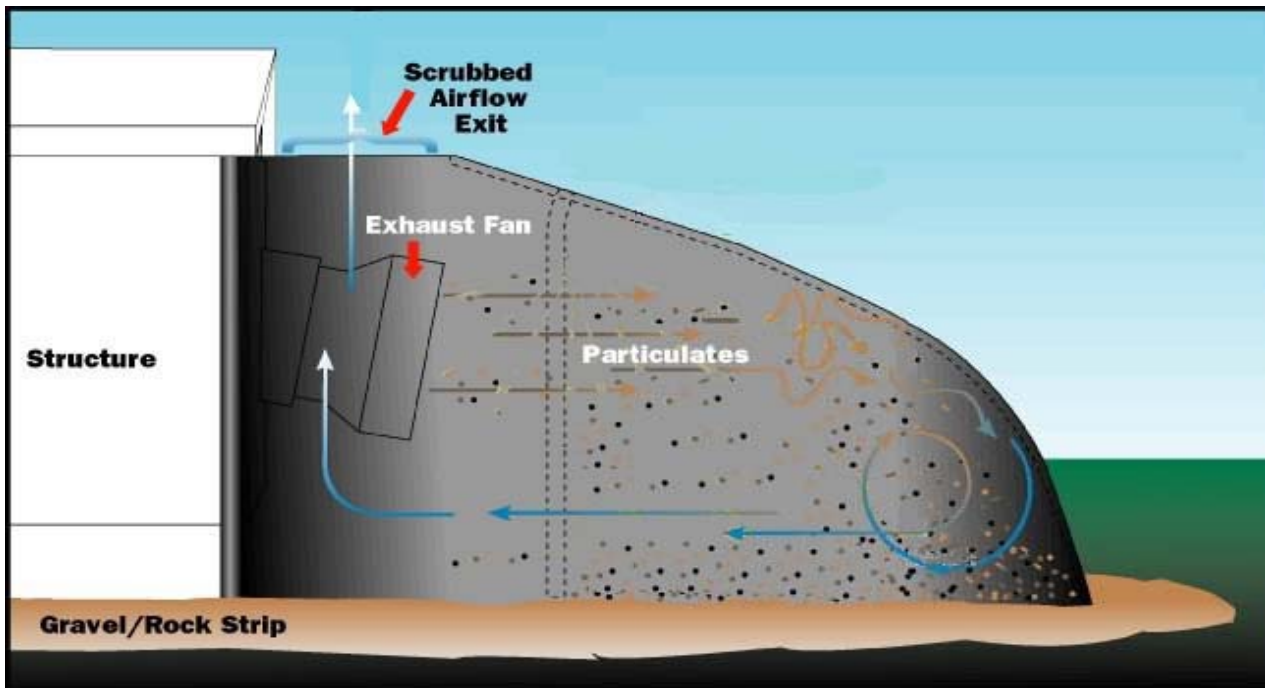
방법	처리 오염물질 (효율, %)	제원	제조회사	기기값 및 운용비	사용 년수	비용 (Cost, 원)	편익 (Benefit, 원)	B/C ratio
미설치	없음	없음		-	-	-	86,109,606	-
세정식 집진기 (Scrubber)	미세먼지, NH3 (80%)	DKS- 1000 1,000m³/min(상온 & S US재질기준) (덕트 및 부수장비 별도)	동광 이테크	180,000,000+	0년	204,104,064		0.54
				200,000*12	10년	42,104,064	110,692,321	2.63
				(유지보수비포함) +21,704,064	20년	33,104,064		3.34
				(매년인건비)	30년	30,104,064		3.68
백필터 집진시설	미세먼지 (95%)	DKB-1000 1,000m³/min (여과속도:1m/min & 상온기준)	동광 이테크	100,000,000+	0년	129,480,064		0.89
				648,000*12	10년	39,480,064	115,301,580	2.92
				(유지보수비포함)+ 21,704,064	20년	34,480,064		3.34
				(매년인건비)	30년	32,813,397		3.51
바닥재료 개선	미세먼지 (20%)	m²	두호랜텍	140,000*1,000	0년			
				매년 교체	10년	161,704,064	92,255,285	0.57
				+21,704,064	20년			
				(매년인건비)	30년			
물과 오일	미세먼지 (70%)	ℓ	CJ 백셀	3,350*1000	0년			
				(매년교체)	10년	61,904,064	107,619,482	1.74
				+21,704,064	20년			
				(매년인건비)	30년			
이오나이저 형태 공기정화기	미세먼지, 미생물 (30%)	100m³ 20m³*5대 플라즈마형태 전기집진겸용 반영구적필터	삼성전자	22,500,000+	0년	46,604,064		2.05
				200,000*12	10년	26,354,064	95,328,124	3.62
				(유지보수비포함) +21,704,064	20년	25,229,064		3.78
				(매년인건비)	30년	24,854,064		3.84
바이오필터 (비오톱)	미세먼지 (70%)	담체량 1m³당 150만원 (200m³ 충전재 사용 5년단위 교체주기 무시)	(주) 엔바이온	300,000,000+	0년	324,104,064		0.33
				200,000*12	10년	54,104,064	107,619,482	1.99
				(유지비 약품값 포함)+	20년	39,104,064		2.75
				21,704,064	30년	34,104,064		3.16

5. 기존 처리 시설들의 제어 효율성 및 경제성 분석에 따른 1차 전처리 시설 및 2차 후처리 시설에 대한 악취 제거 메커니즘 제시

- 가축분뇨 처리와 관련하여 현재 적용되어 운용되고 있는 악취 저감 시설들의 제어 효율성 및 경제성을 종합적으로 검토한 결과, 본 연구팀에서 제안하는 원통형 고속 가축분뇨 발효 방식에 적용될 수 있는 최적의 악취 제어 메커니즘은 1차 전처리 시설과 2차 후처리 시설이 연속적으로 운용되는 방식을 채택할 필요가 있으며 다음과 같이 제안함.

가. 1차 악취 전처리 시설 : Scrubber

- Ye et al. (2009)은 바이오커튼(<그림-43> 참조)을 돈사 측벽의 배기팬에 설치하여 배출되는 악취를 세정액(물 또는 약액)과 접촉시키는 방식으로 악취를 제어함.
- 본 연구 내용에 의하면 공기의 기류 조건 및 환기율과 바이오커튼의 각도에 따라 돈사 외부의 암모니아와 악취물질을 방출하는데 영향을 주는데, 상단부분을 환기하여 전향장치를 돈사별로 2개 설치하고 45도 각도의 바이오커튼을 사용하면 암모니아와 악취물질이 외부로 방출되는 것을 대부분 차단할 수 있다는 결론을 내림.
- 따라서 본 연구 결과 근거시 본 연구팀에서 제안한 원통형 가축분뇨 고속 발효기에도 이를 변형 적용할 계획.



<그림-43> 바이오커튼 설치 및 세정 방법에 의한 축산 악취의 제어 기작

나. 2차 악취 후처리 시설 : Bio-filter

- 가축분뇨 관련 악취 저감을 위해 적용된 바이오필터 공법(<그림-44> 참조)은 1933년 미국의 Jenks가 처음 제안하여 연구되어 현재까지 적용.
- Sheridan et al. (2000)의 연구 내용에서는 아일랜드의 돈사내에 바이오필터를 적용하여 암모니아와 악취 제거 효율을 조사하였는데 각각 54~93%, 77~95%의 높은 제어 효과가 발생한 것으로 보고되고 있음.
- 따라서 본 연구 결과 근거시 본 연구팀에서 제안한 원통형 가축분뇨 고속 발효기에도 이를 변형 적용할 계획.



<그림-44> 바이오필터의 돈사 적용 사례

다. 원통형 가축분뇨 고속 발효기에 적용될 최종 제안 악취 제어 메커니즘

- 1차 전처리는 BIO-SCRUBBER(바이오세정법), 2차 후처리는 BIO-FILTER(바이오필터)로 악취저감 효율을 증대시키는 공정을 제안함.
- BIO-SCRUBBER에서는 숙성액비를 이용하여 수용성 악취를 세정하고 세정 후 배출되는 비수용성 악취를 2차 BIO-FILTER에서 완전 분해하는 방식을 채택할 계획.
- 세정법 및 미생물 담체를 혼용하는 제어 방식으로 운용되기 때문에 부가적으로 분진과 부유 미생물 등의 공기오염물질도 동시에 처리되는 시스템으로 운용될 것으로 예상되는 바이며, 또한 별도의 액비숙성화조를 설계하여 생성된 숙성액비를 탈취 세정액으로 사용할 수 있도록 할 예정.
- 악취세정 후 생성된 폐액을 액비숙성화조에서 재생될 수 있도록 하여 폐액 발생을 근절하여 세정액 투자비용과 폐액처리 비용을 상당 부분 절감할 것으로 기대됨.

3절. 3차 년도 연구개발 내용

1. 개발된 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템의 공정 단계에 따른 공기 오염물질 발생 패턴 현장 평가

가. 평가개요

(1) 평가대상 및 기간

- 본 평가는 용인시에 위치한 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템을 대상으로 하여 5월 ~11월에 맑은 날을 기준으로 오후 시간대(13:00 pm ~ 16:00 pm)에 진행.
- 평가 지점은 투입구, 발효조, 배출구, 부지경계선으로 분류하여 평가하였으며, 수분 조절제 조성 조건 및 부숙 진행 단계별 공기오염물질 발생 양상을 조사.



<그림-45> 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템

(2) 평가 시료 채취 및 분석방법

- 측정위치는 각 평가지점에 최대한 가까이 하여 측정하였고, 부지경계선은 지면으로부터 상부 1 ~ 1.5m 되는 위치에서 측정.
- 각 측정항목마다 3회 반복 시료를 채취하여 평균값을 대푯값으로 선정.



<그림-46> 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템 측정 사진



<그림-47> 각 측정지점별 측정사진

<표-20> 평가 시료 채취 항목 및 분석 방법

장비사진	물질구분	항목	시료채취 장비	분석방법
	환경적 요인	온도	IAQ surveyor meter (Gray wolf, USA)	광산란 직독식
		습도		
	입자상 물질	TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5} , PM ₁	Dust mate (Turkey LTD, USA)	광산란 직독식
	가스상 물질	암모니아	TG-501 (Gray wolf, USA)	광산란 직독식
		황화수소		
	약취물질	약취관능법	복합약취시료채취장치 (Odortech, Korea)	공기희석관능법
	생물학상 물질	부유세균	BUCK Bio-culture (A.P. BUCK, USA)	배양법, 정량평가
		부유진균		

나. 평가대상 수분조절제 유형에 따른 공기오염물질 배출량 추정

(1) 실험1 (고액분리고형분 + 폐사축 + 톱밥)

<표-21> 실험1에 대한 공기오염물질 측정 결과

구분	투입구		발효조		배출구		부지경계선	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
온도(°C)	30.57	0.15	34.57	0.32	31.40	0.00	28.80	0.10
습도(%)	55.50	0.10	65.47	0.67	39.73	0.06	41.20	0.10
TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	196.33	3.09	436.89	15.11	171.70	13.60	37.13	0.64
PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	107.90	0.69	285.97	0.67	116.03	5.74	22.50	1.00
PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33.13	0.62	154.30	0.10	108.53	1.06	7.20	0.66
PM1($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11.21	0.21	80.37	0.06	27.56	0.49	2.20	0.10
암모니아(ppm)	3.53	0.06	30.20	5.89	8.27	0.38	0.00	0.00
황화수소(ppm)	0.18	0.01	2.08	0.01	0.18	0.01	0.02	0.00
복합약취(희석배수)	144	-	1000	-	144	-	30	-
부유세균(cfu/m ³)	2825	333	8799	5392	3322	1683	665	120
부유진균(cfu/m ³)	3444	40	4229	1437	648	241	277	144

(가) 환경적 요인

- 온·습도 측정결과 투입구의 경우 30.57(±0.15)°C, 55.50(±0.1)% 이며, 발효조는 34.57(±0.32)°C, 65.47(±0.67)%, 배출구 31.40(±0)°C, 39.73(±0.06)%, 부지경계선 28.80(±0.1)°C, 41.20(±0.1) % 으로 각각 측정됨.
- 측정결과 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 발생 농도가 분석됨.

(나) 입자상 물질

- 입자상 물질 측정결과 투입구의 경우 TSP 196.33(±3.09) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 107.90(±0.69) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 33.13(±0.62) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 11.21(±0.21) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 발효조는 TSP 436.89 (±15.11) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 285.97(±0.67) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 154.30(±0.1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 80.37(±0.06) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관찰됨.
- 배출구에서는 TSP 171.70(±13.6) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 116.03(±5.74) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 108.53(±1.06) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 27.56(±0.49) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 측정되었고, 부지경계선은 TSP 37.13(±0.64) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 22.50(±1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 7.20(±0.66) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 2.20(±0.10) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 조사됨.
- 발효조에서 최대 농도로 발생되었으며, 부지경계선은 최소 농도로 분석되었다. 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템 운용에 따른 입자상 물질의 농도는 발효조>배출구>투입구>부지경계 순서로 나타남.

(다) 가스상 물질

- 가스상 물질은 광산란 직독식 장비를 이용하여 암모니아와 황화수소 두 가지 물질을 측정.
- 투입구에서 가스상 물질 측정결과 암모니아 $3.53(\pm 0.06)$ ppm, 황화수소 $0.18(\pm 0.01)$ ppm으로 측정되었고, 발효조는 암모니아 $30.20(\pm 5.89)$ ppm, 황화수소 $2.08(\pm 0.01)$ ppm, 배출구는 암모니아 $8.27(\pm 0.38)$ ppm, 황화수소 $0.18(\pm 0.01)$ ppm, 부지경계선은 암모니아 $0.00(\pm 0)$ ppm, 황화수소 $0.02(\pm 0)$ ppm으로 나타남.
- 입자상 물질과 동일하게 발효조에서 가장 높은 농도가 나타났으며, 배출구>투입구>부지경계 순으로 조사됨.

(라) 복합악취(공기희석 관능법)

- 공기희석 관능법을 통해 복합악취 분석결과 투입구의 경우 144배, 발효조 1000배, 배출구 144배, 부지경계선 30배로 분석됨.
- 공기희석 배수는 발효조에서 가장 높았고 투입구와 배출구, 부지경계 순으로 분석됨.

(마) 생물학상 물질

- 생물학상 물질은 부유세균과 진균으로 분류하여 평가하였으며, 투입구에서 생물학상 물질 측정결과 부유세균이 $2825(\pm 333)$ cfu/m³, 부유진균은 $3444(\pm 40)$ cfu/m³로 측정됨.
- 발효조는 부유세균 $8799(\pm 5392)$ cfu/m³, 부유진균 $4229(\pm 1437)$ cfu/m³, 배출구는 부유세균 $3322(\pm 1683)$ cfu/m³, 부유진균 $648(\pm 241)$ cfu/m³로 조사되었으며, 부지경계선은 부유세균 $665(\pm 120)$ cfu/m³, 부유진균 $277(\pm 144)$ cfu/m³로 각각 나타남.



<그림-48> 실험1 측정 사진

(2) 실험2 (고액분리고형분 + 톱밥 + 우드칩)

<표-22> 실험2에 대한 공기오염물질 측정 결과

구분	투입구		발효조		배출구		부지경계선	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
온도(°C)	36.60	0.10	38.37	0.06	23.77	0.06	37.57	0.06
습도(%)	52.20	0.10	68.00	2.05	61.27	0.06	51.50	0.10
TSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	196.33	3.09	397.73	12.18	166.83	0.81	32.07	0.59
PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	107.90	0.69	229.47	2.61	99.30	0.87	21.93	1.27
PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33.13	0.62	106.77	0.44	67.00	1.39	7.67	0.06
PM1($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11.21	0.21	46.96	0.80	27.36	1.64	3.30	0.15
암모니아(ppm)	2.53	0.06	14.40	0.82	2.87	0.06	0.10	0.00
황화수소(ppm)	0.16	0.02	1.84	0.12	0.18	0.01	0.01	0.00
복합약취(희석배수)	64.63	-	669.43	-	64.63	-	38.31	-
부유세균(cfu/ m^3)	2669	1143	4857	613.42	2673	2304	1525	1234
부유진균(cfu/ m^3)	2172	1337	3679	395.55	2672	606	1585	94

(가) 환경적 요인

- 온·습도 측정결과 투입구의 경우 $36.60(\pm 0.10)^\circ\text{C}$, $52.20(\pm 0.1)\%$ 이며, 발효조는 $38.37(\pm 0.06)^\circ\text{C}$, $68.00(\pm 2.05)\%$, 배출구 $23.77(\pm 0.06)^\circ\text{C}$, $61.27(\pm 0.06)\%$, 부지경계선 $37.57(\pm 0.06)^\circ\text{C}$, $51.50(\pm 0.1)\%$ 으로 각각 측정됨.
- 측정결과 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 발생 농도가 분석됨.

(나) 입자상 물질

- 입자상 물질 측정결과 투입구의 경우 TSP $196.33(\pm 3.09)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 $107.90(\pm 0.69)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 $33.13(\pm 0.62)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 $11.21(\pm 0.21)\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타났으며, 발효조는 TSP $397.73(\pm 12.18)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 $229.47(\pm 2.61)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 $106.77(\pm 0.44)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 $46.96(\pm 0.80)\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 관찰됨.
- 배출구에서는 TSP $166.83(\pm 0.81)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 $99.30(\pm 0.87)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 $67.00(\pm 1.39)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 $27.36(\pm 1.64)\mu\text{g}/\text{m}^3$ 측정되었고, 부지경계선은 TSP $32.07(\pm 0.59)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 $21.93(\pm 1.27)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM2.5 $7.67(\pm 0.06)\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM1 $3.30(\pm 0.15)\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인 것으로 조사됨.
- 발효조에서 최대 농도로 발생되었으며, 부지경계선은 최소 농도로 분석되었으며, 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템 운용에 따른 입자상 물질의 농도는 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 나타남.

(다) 가스상 물질

- 가스상 물질은 광산란 직독식 장비를 이용하여 암모니아와 황화수소 두 가지 물질을 측정하였다. 투입구에서 가스상 물질 측정결과 암모니아 $2.53(\pm 0.06)$ ppm, 황화수소 $0.16(\pm 0.02)$ ppm으로 측정되었고, 발효조는 암모니아 $14.40(\pm 0.82)$ ppm, 황화수소 $1.84(\pm 0.12)$ ppm, 배출구는 암모니아 $2.87(\pm 0.06)$ ppm, 황화수소 $0.18(\pm 0.01)$ ppm, 부지경계선은 암모니아 $0.10(\pm 0)$ ppm, 황화수소 $0.01(\pm 0)$ ppm으로 나타남.
- 입자상 물질과 동일하게 발효조에서 가장 높은 농도가 나타났으며, 배출구>투입구>부지경계 순으로 조사됨.

(라) 복합악취(공기희석 관능법)

- 공기희석 관능법을 통해 복합악취 분석결과 투입구의 경우 64.63배, 발효조 669.43배, 배출구 64.63배, 부지경계선 38.31배로 분석됨.
- 공기희석 배수는 발효조에서 가장 높았고 투입구, 배출구, 부지경계 순으로 분석됨.

(마) 생물학상 물질

- 생물학상 물질은 부유세균과 진균으로 분류하여 평가하였으며 투입구에서 생물학상 물질 측정결과 부유세균이 $2669(\pm 1143)$ cfu/m³, 부유진균은 $2172(\pm 1337)$ cfu/m³로 측정됨.
- 발효조는 부유세균 $6857(\pm 613.42)$ cfu/m³, 부유진균 $3679(\pm 395.55)$ cfu/m³, 배출구는 부유세균 $2673(\pm 2304)$ cfu/m³, 부유진균 $2672(\pm 606)$ cfu/m³로 조사되었으며, 부지경계선은 부유세균 $1525(\pm 1234)$ cfu/m³, 부유진균 $1585(\pm 94)$ cfu/m³로 각각 나타남.



<그림-49> 실험2 측정사진

(3) 실험3 (고액분리고형분 + 톱밥 + 폐사축 + 펠렛 우드칩)

<표-23> 실험3에 대한 공기오염물질 측정 결과

구분	투입구		발효조		배출구		부지경계선	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
온도(°C)	21.87	0.06	38.57	1.01	21.60	0.00	20.27	0.06
습도(%)	54.30	0.10	71.20	0.92	55.57	0.90	53.20	0.10
TSP(µg/m³)	178.97	25.30	354.47	74.02	150.93	10.07	21.47	0.12
PM10(µg/m³)	87.65	10.00	254.57	74.88	65.17	0.15	12.40	0.20
PM2.5(µg/m³)	66.80	10.22	17.95	6.45	88.13	4.63	7.54	0.03
PM1(µg/m³)	27.21	0.76	10.13	5.42	25.80	0.62	2.77	0.15
암모니아(ppm)	1.40	0.00	7.47	0.38	1.40	0.10		
황화수소(ppm)	0.15	0.01	1.12	0.06	0.14	0.01		
복합약취(희석배수)	44.80	-	448.14	-	44.80	-	10	-
부유세균(cfu/m³)	2621	1234	4665	738	1604	352	382	71
부유진균(cfu/m³)	1926	1371	2662	419	2885	537	585	95

(가) 환경적 요인

- 온·습도 측정결과 투입구의 경우 21.87(±0.06)°C, 54.30(±0.1)% 이며, 발효조는 38.57(±1.01)°C, 71.20(±0.92)%, 배출구 21.60(±0.00)°C, 55.57(±0.90)%, 부지경계선 20.27(±0.06)°C, 53.20(±0.1) % 으로 각각 측정됨.
- 측정결과 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 발생 농도가 분석됨.

(나) 입자상 물질

- 입자상 물질 측정결과 투입구의 경우 TSP 178.97(±25.30)µg/m³, PM10 87.65(±10.0)µg/m³, PM2.5 66.80(±10.22)µg/m³, PM1 27.21(±0.76)µg/m³ 으로 나타났으며, 발효조는 TSP 354.47 (±74.02)µg/m³, PM10 254.57(±74.88)µg/m³, PM2.5 17.95(±6.45)µg/m³, PM1 10.13(±5.42)µg/m³ 으로 관찰됨.
- 배출구에서는 TSP 150.93(±10.07)µg/m³, PM10 65.17(±0.15)µg/m³, PM2.5 88.13(±4.63)µg/m³, PM1 25.80(±0.62)µg/m³ 측정되었고, 부지경계선은 TSP 21.47(±0.12)µg/m³, PM10 12.40(±0.20)µg/m³, PM2.5 7.54(±0.03)µg/m³, PM1 2.77(±0.15)µg/m³ 인 것으로 조사됨.
- 발효조에서 최대 농도로 발생되었으며, 부지경계선은 최소 농도로 분석되었으며, 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템 운용에 따른 입자상 물질의 농도는 발효조>투입구>배출구>부지경계 순서로 나타남.

(다) 가스상 물질

- 가스상 물질은 광산란 직독식 장비를 이용하여 암모니아와 황화수소 두 가지 물질을 측정하였다. 투입구에서 가스상 물질 측정결과 암모니아 $1.40(\pm 0.0)$ ppm, 황화수소 $0.15(\pm 0.01)$ ppm으로 측정되었고, 발효조는 암모니아 $7.47(\pm 0.38)$ ppm, 황화수소 $1.12(\pm 0.06)$ ppm, 배출구는 암모니아 $1.40(\pm 0.1)$ ppm, 황화수소 $0.14(\pm 0.01)$ ppm, 부지경계선은 암모니아 $0.00(\pm 0)$ ppm, 황화수소 $0.00(\pm 0)$ ppm으로 나타남.
- 입자상 물질과 동일하게 발효조에서 가장 높은 농도가 나타났으며, 투입구>배출구>부지경계 순으로 조사됨.

(라) 복합악취(공기희석 관능법)

- 공기희석 관능법을 통해 복합악취 분석결과 투입구의 경우 44.8배, 발효조 448.14배, 배출구 44.80배, 부지경계선 10배로 분석됨.
- 공기희석 배수는 발효조에서 가장 높았고 투입구>배출구>부지경계 순으로 분석됨.

(마) 생물학상 물질

- 생물학상 물질은 부유세균과 진균으로 분류하여 평가하였으며 투입구에서 생물학상 물질 측정결과 부유세균이 $2621(\pm 1234)$ cfu/m³, 부유진균은 $1926(\pm 1371)$ cfu/m³로 측정됨.
- 발효조는 부유세균 $4665(\pm 738)$ cfu/m³, 부유진균 $2662(\pm 419)$ cfu/m³, 배출구는 부유세균 $1604(\pm 352)$ cfu/m³, 부유진균 $2885(\pm 537)$ cfu/m³로 조사되었으며, 부지경계선은 부유세균 $382(\pm 71)$ cfu/m³, 부유진균 $585(\pm 95)$ cfu/m³로 각각 나타남.



<그림-50> 실험3 측정사진

(4) 실험4 (고액분리고형분 + 폐사축 + 우드펠릿 + 리사이클 퇴비)

<표-24> 실험4에 대한 공기오염물질 측정 결과

구분	투입구		발효조		배출구		부지경계선	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
온도(°C)	21.87	0.06	29.67	0.25	18.20	0.10	20.30	0.00
습도(%)	54.30	0.10	83.17	0.06	23.23	0.55	53.20	0.10
TSP(µg/m³)	165.30	10.22	232.40	9.01	177.70	4.50	24.27	0.29
PM10(µg/m³)	72.87	18.07	154.43	7.16	76.67	12.41	15.00	1.39
PM2.5(µg/m³)	58.70	0.92	88.89	5.04	56.90	9.79	8.60	0.10
PM1(µg/m³)	26.20	2.34	35.78	2.16	28.73	7.08	4.43	0.47
암모니아(ppm)	1.10	0.00	6.23	0.06	1.20	0.10	0.00	0.00
황화수소(ppm)	0.12	0.01	1.06	0.01	0.14	0.01	0.02	0.01
복합약취(희석배수)	30	-	300	-	30	-	10	-
부유세균(cfu/m³)	665	228	4111	235	837	11	361	120
부유진균(cfu/m³)	501	179	2662	419	120	80	386	106

(가) 환경적 요인

- 온·습도 측정결과 투입구의 경우 21.87(±0.06)°C, 54.30(±0.1)% 이며, 발효조는 29.67(±0.25)°C, 83.17(±0.06)%, 배출구 18.20(±0.10)°C, 23.23(±0.55)%, 부지경계선 20.30(±0.00)°C, 53.20(±0.1) % 으로 각각 측정됨.
- 측정결과 발효조>투입구>부지경계>배출구 순서로 발생 농도가 분석됨.

(나) 입자상 물질

- 입자상 물질 측정결과 투입구의 경우 TSP 165.30(±10.22)µg/m³, PM10 72.87(±18.07)µg/m³, PM2.5 58.70(±0.92)µg/m³, PM1 26.20(±2.34)µg/m³ 으로 나타났으며, 발효조는 TSP 232.40 (±9.01)µg/m³, PM10 154.43(±7.16)µg/m³, PM2.5 88.89(±5.04)µg/m³, PM1 35.78(±2.16)µg/m³ 으로 관찰됨.
- 배출구에서는 TSP 177.70(±4.50)µg/m³, PM10 76.67(±12.41)µg/m³, PM2.5 56.90(±9.79)µg/m³, PM1 28.73(±7.08)µg/m³ 측정되었고, 부지경계선은 TSP 24.27(±0.29)µg/m³, PM10 15.00(±1.39)µg/m³, PM2.5 8.60(±0.1)µg/m³, PM1 4.43(±0.47)µg/m³ 인 것으로 조사됨.
- 발효조에서 최대 농도로 발생되었으며, 부지경계선은 최소 농도로 분석되었으며, 원통형 고속 가축분뇨 자원화 시스템 운용에 따른 입자상 물질의 농도는 발효조>배출구>투입구>부지경계 순서로 나타남.

(다) 가스상 물질

- 가스상 물질은 광산란 직독식 장비를 이용하여 암모니아와 황화수소 두 가지 물질을 측정.
- 투입구에서 가스상 물질 측정결과 암모니아 1.10(\pm 0.0)ppm, 황화수소 0.12 (\pm 0.01)ppm으로 측정되었고, 발효조는 암모니아 6.23(\pm 0.06)ppm, 황화수소 1.06(\pm 0.01)ppm, 배출구는 암모니아 1.20(\pm 0.1)ppm, 황화수소 0.14(\pm 0.01)ppm, 부지경계선은 암모니아 0.00(\pm 0)ppm, 황화수소 0.02(\pm 0.01)ppm으로 나타남.
- 입자상 물질과 동일하게 발효조에서 가장 높은 농도가 나타났으며, 배출구>투입구>부지경계 순으로 조사됨.

(라) 복합악취(공기희석 관능법)

- 공기희석 관능법을 통해 복합악취 분석결과 투입구의 경우 30배, 발효조 300배, 배출구 30배, 부지경계선 10배로 분석되었으며, 공기희석 배수는 발효조에서 가장 높았고 투입구와 배출구, 부지경계 순으로 분석됨.

(마) 생물학상 물질

- 생물학상 물질은 부유세균과 진균으로 분류하여 평가하였으며 투입구에서 생물학상 물질 측정결과 부유세균이 665(\pm 228)cfu/m³, 부유진균은 501(\pm 179)cfu/m³로 측정됨.
- 발효조는 부유세균 4111(\pm 235)cfu/m³, 부유진균 2662(\pm 419)cfu/m³, 배출구는 부유세균 837(\pm 11)cfu/m³, 부유진균 120(\pm 80)cfu/m³로 조사되었으며, 부지경계선은 부유세균 361(\pm 120)cfu/m³, 부유진균 386(\pm 106)cfu/m³로 각각 나타남.



<그림-51> 실험4 측정사진

(5) 수분조절제 유형에 따른 공기오염물질 발생 평가 결과 고찰

- 수분조절제 유형에 따른 공기오염물질 발생 평가 결과, 실험4(고액분리고형분 + 폐사축 + 우드펠렛 + 리사이클링 퇴비)에서 투입된 수분조절제 유형에서 가장 낮은 공기오염물질 농도가 발생되었으며, 실험1(고액분리고형분 + 폐사축 + 톱밥)의 수분조절제 유형에서 가장 높은 공기오염물질이 측정됨.
- 본 결과는 실험4에서 투입된 수분조절제 중 폐사축 및 우드펠렛의 영향으로 인해 나타난 결과라 판단되며, 폐사축의 경우 부숙과정 중 악취와 지방산 분해를 통해 악취물질 농도를 저감 시키며 펠릿형태의 흡착제 또한 암모니아와 황화수소 같은 가스상 물질을 흡착하여 저농도 발생을 유도함. (김고운 등., 2014; 김경현과 김수기, 2011)
- 따라서 본 현장조사 결과를 근거로 하였을 때 실험4 에서 투입된 수분조절제 유형이 공기오염물질 발생을 가장 최소화하는 수분조절제 유형으로 판단됨.
- 또한, 전반적으로 모든 실험에서 발효조>배출구>투입구>부지경계순으로 높은 공기오염물질이 발생하는 것으로 조사됨.
- 이는 발효조의 경우 밀폐된 상태에서 투입된 퇴비를 부숙 시키기 위해 주기적인 교반작용에 따라 공기오염물질 농도가 높게 나타난 것으로 판단되며, 투입구와 배출구의 경우 부지경계선에 비해 높은 농도로 조사되었지만 주변 외기에 의해 농도 차이가 크지 않은 것으로 추정됨.
- 수분조절제 유형에 따른 공기오염물질 발생 평가의 경우 모든 실험을 대상으로 동일한 환경적 조건에서 수행하지 못하여 외부 온습도 및 계절적 조건의 영향으로 인해 측정 공기오염물질 결과 간에 차이가 나타남.
- 향후 본 현장평가의 제한점을 고려하여 동일한 환경적 조건에서 수분조절제 유형에 따른 공기오염물질 발생 평가에 대한 현장측정 연구가 수행되어야 한다고 판단됨.

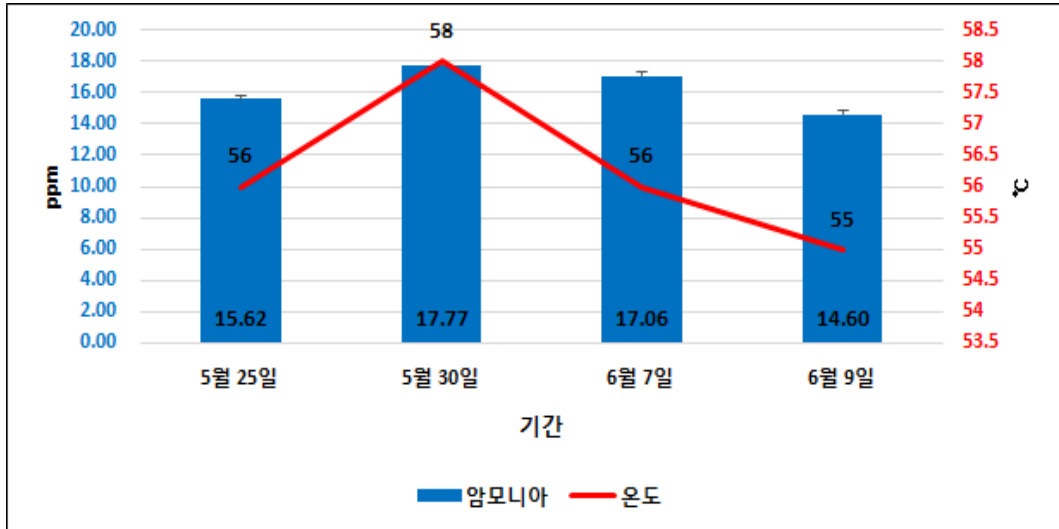
다. 가축분뇨 부숙 진행 단계별 악취물질 배출 양상 조사

(1) 실험1 (고액분리고형분 + 폐사축 + 톱밥)

(가) 암모니아

- <그림-52>에서 제시된 바와 같이 암모니아의 경우 개발된 수분조절제(고액분리고형분 + 폐사축 + 톱밥) 투입시 15.62 ppm으로 측정되었으며 퇴비화 초기 단계에서 지속단계로 진행됨에 따라 암모니아 농도도(5월 30일 : 17.77 ppm) 지속적으로 상승되는 것을 관찰됨.
- 숙성단계가 진행되면서 퇴비더미 온도가 점차 낮아지면서 암모니아 농도도 점차 감소하는 (6월 07일: 17.06 ppm, 6월 09일: 14.6 ppm) 것으로 나타남.

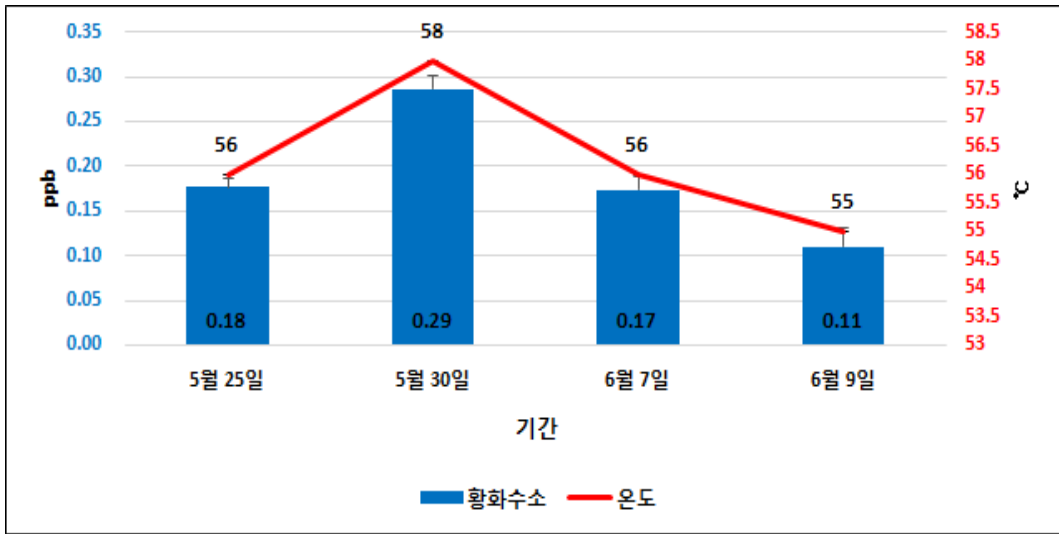
- 즉, 가축더미의 부숙이 진행됨(초기단계→지속단계)에 따라 온도와 암모니아 농도가 점차 증가하였으며, 다시 숙성단계가 진행되면서 암모니아 농도와 퇴비더미 온도도 함께 감소하는 경향이 관찰됨.
- 본 측정결과를 근거하였을 때 가축더미 온도에 따라 암모니아 농도도 함께 발생하는 것으로 나타남.



<그림-52> 실험1 수분조절제 투입 유형에 따른 암모니아 배출 경향

(나) 황화수소

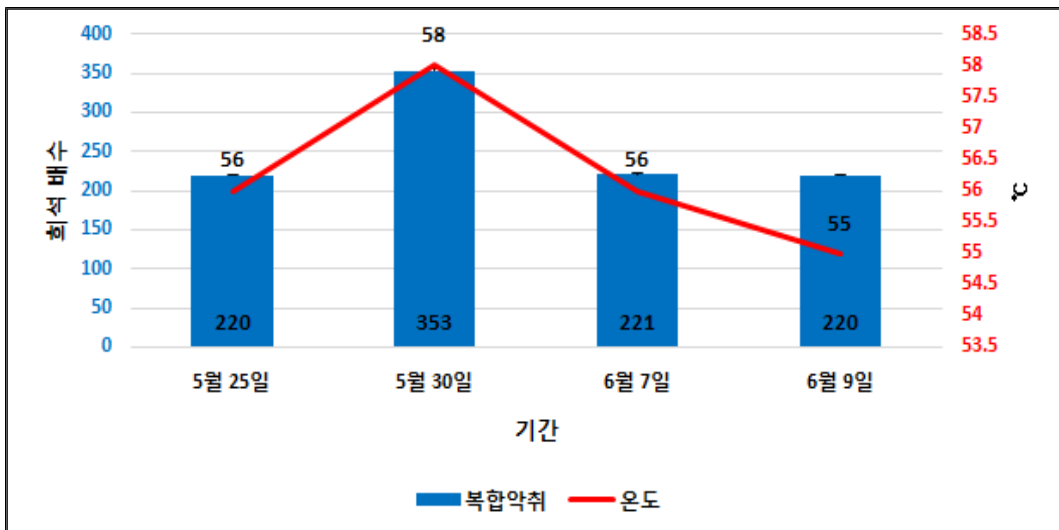
- <그림-53>에 나타난 바와 같이 황화수소 농도는 수분조절제 투입 초기 0.18 ppb 이었으며 퇴비화 시스템의 부숙이 진행되면서 온도와 함께 황화수소 농도(5월 30일: 0.29 ppb (온도: 58°C)도 함께 증가하는 것으로 조사됨.
- 숙성단계가 진행되면서 가축더미 온도가 감소함에 따라 황화수소 농도도 함께 감소하는 것으로 관찰됨. (6월 07일: 0.17 ppb(온도: 56°C), 6월 09일: 0.11 ppb(온도: 55°C))
- 암모니아와 동일하게 가축더미 온도 발생 경향에 따라 황화수소 농도도 발생하는 것으로 분석됨.



<그림-53> 실험1 수분조절제 투입 유형에 따른 황화수소 배출 경향

(다) 복합약취

- <그림-54>에서 제시된 바와 같이 퇴비화 시스템 부숙단계별 공기희석 관능법 분석 결과 초기단계의 경우 220배로 분석되었으며, 부숙이 진행됨에 따라 353배(5월 30일)로 증가하였으며, 숙성단계가 진행되면서 221배(6월 07일), 220배(6월 09일)까지 감소하는 경향이 나타남.
- 암모니아 및 황화수소 측정결과와 동일하게 부숙단계에 따라 공기희석 배수가 증가하였다가 온도가 저감됨에 따라 공기희석 배수도 함께 점차 낮아지는 것으로 관찰됨.

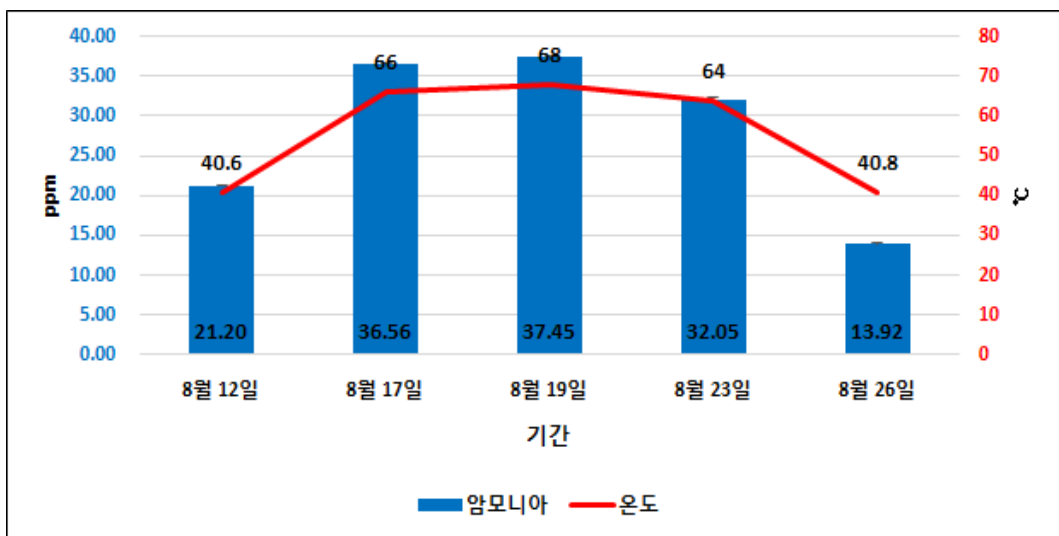


<그림-54> 실험1 수분조절제 투입 유형에 따른 복합약취 배출 경향

(2) 실험2 (고액분리고형분 + 톱밥 + 우드칩)

(가) 암모니아

- <그림-55>에서 제시된 바와 같이 암모니아의 경우 개발된 수분조절제(고액분리고형분 + 톱밥 + 우드칩) 투입시 21.20 ppm으로 측정되었으며, 퇴비화 초기 단계에서 지속단계로 진행됨에 따라 암모니아 농도도(8월 17일 : 36.56 ppm, 8월 19일 : 37.45 ppm) 지속적으로 상승되는 것을 관찰됨.
- 숙성단계가 진행되면서 퇴비더미 온도가 점차 낮아지면서 암모니아 농도도 점차 감소하는 (8월 23일: 32.05 ppm, 8월 26일: 13.92 ppm) 것으로 나타남.
- 즉, 가축더미의 부숙이 진행됨(초기단계→지속단계)에 따라 온도와 암모니아 농도가 점차 증가하였으며 다시 숙성단계가 진행되면서 암모니아 농도와 퇴비더미 온도도 함께 감소하는 경향이 관찰됨.
- 본 측정결과를 근거하였을 때 가축더미 온도에 따라 암모니아 농도도 함께 발생하는 것으로 나타남.

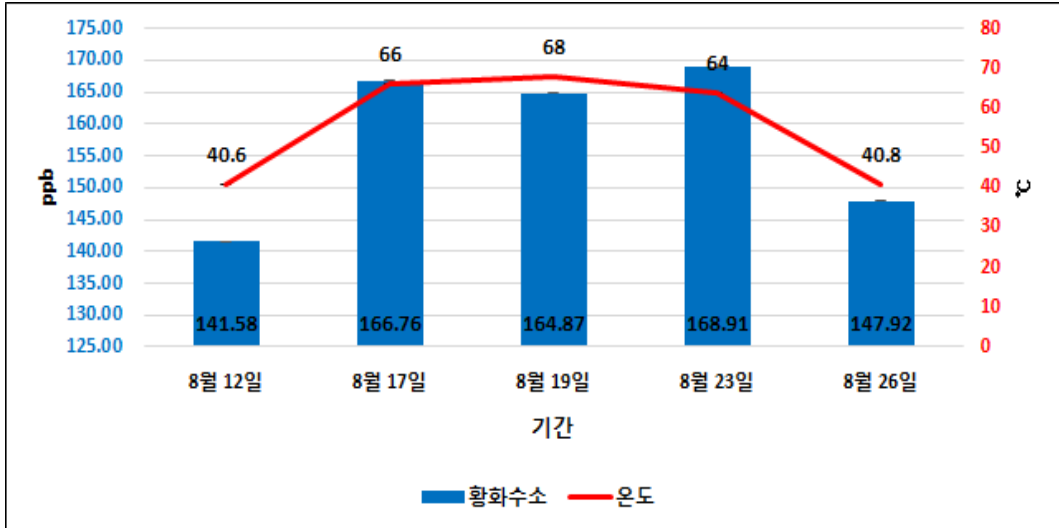


<그림-55> 실험2 수분조절제 투입 유형에 따른 암모니아 배출 경향

(나) 황화수소

- <그림-56>에 나타난 바와 같이 황화수소 농도는 수분조절제 투입 초기 141.58 ppb 이었으며 퇴비화 시스템의 부숙이 진행되면서 온도와 함께 황화수소 농도(8월 17일: 166.76 ppb(온도: 66°C)도 함께 증가하는 것으로 조사됨.
- 숙성단계가 진행되면서 가축더미 온도가 감소함에 따라 황화수소 농도도 함께 감소하는 것으로 관찰되었다(8월 19일: 164.87 ppb(온도: 68°C), 8월 23일: 168.91 ppb(온도: 64°C), 8월 26일: 147.92 ppb(온도: 40.8°C))

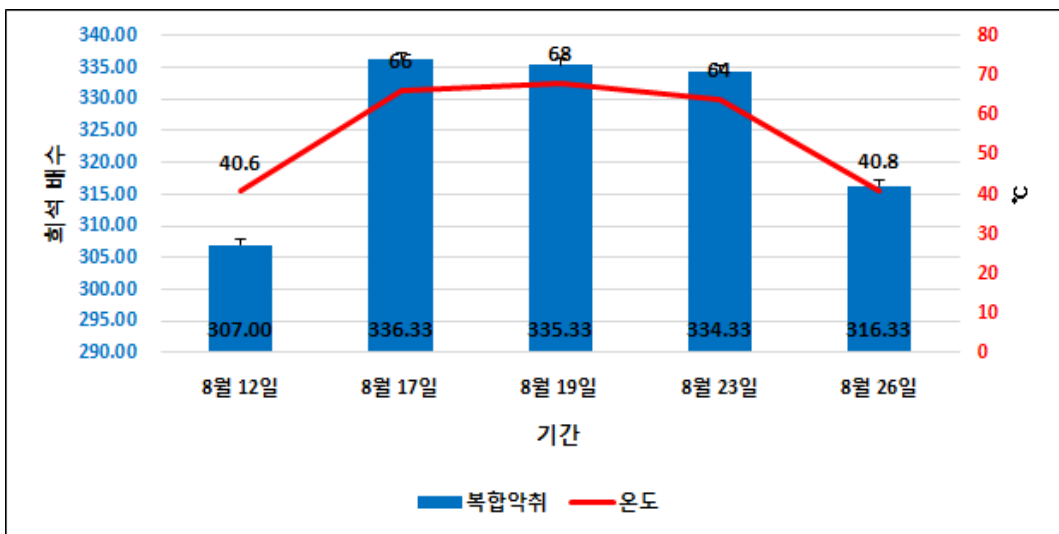
- 암모니아와 동일하게 가축더미 온도 발생 경향에 따라 황화수소 농도도 발생되는 것으로 분석됨.



<그림-56> 실험2 수분조절제 투입 유형에 따른 황화수소 배출 경향

(다) 복합약취

- <그림-57>에서 제시된 바와 같이 퇴비화 시스템 부숙단계별 공기희석 관능법 분석 결과 초기단계의 경우 307배로 분석되었으며, 부숙이 진행됨에 따라 336배(8월 17일), 335배(8월 19일)로 증가하였으며, 숙성단계가 진행되면서 334.33배(8월 23일), 316배(8월 26일)까지 감소하는 경향이 나타남.
- 암모니아 및 황화수소 측정결과와 동일하게 부숙단계에 따라 공기희석 배수가 증가하였다가 온도가 저감됨에 따라 공기희석 배수도 함께 점차 낮아지는 것으로 관찰됨.

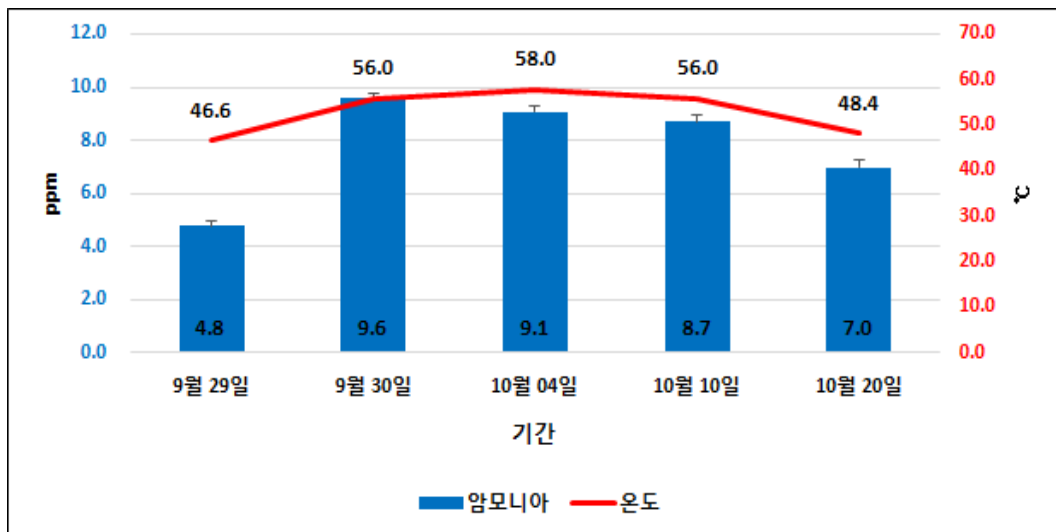


<그림-57> 실험2 수분조절제 투입 유형에 따른 복합약취 배출 경향

(3) 실험3 (고액분리고형분 + 톱밥 + 폐사축 + 우드펠렛)

(가) 암모니아

- <그림-58>에서 제시된 바와 같이 암모니아의 경우 개발된 수분조절제(고액분리고형분 + 톱밥 + 폐사축 + 우드펠렛) 투입시 4.8 ppm으로 측정되었으며 퇴비화 초기 단계에서 지속단계로 진행됨에 따라 암모니아 농도도(9월 30일 : 9.6 ppm) 지속적으로 상승되는 것을 관찰됨.
- 숙성단계가 진행되면서 퇴비더미 온도가 58℃ 이하로 낮아지면서 암모니아 농도도 점차 감소하는 (10월 4일: 9.1 ppm, 10월 10일: 8.7 ppm, 10월 20일: 7.0 ppm)것으로 나타남.
- 즉, 가축더미의 부숙이 진행됨(초기단계→지속단계)에 따라 온도와 암모니아 농도가 점차 증가하였으며 다시 숙성단계가 진행되면서 암모니아 농도와 퇴비더미 온도도 함께 감소하는 경향이 관찰됨.
- 본 측정결과를 근거하였을 때 가축더미 온도에 따라 암모니아 농도도 함께 발생하는 것으로 나타남.

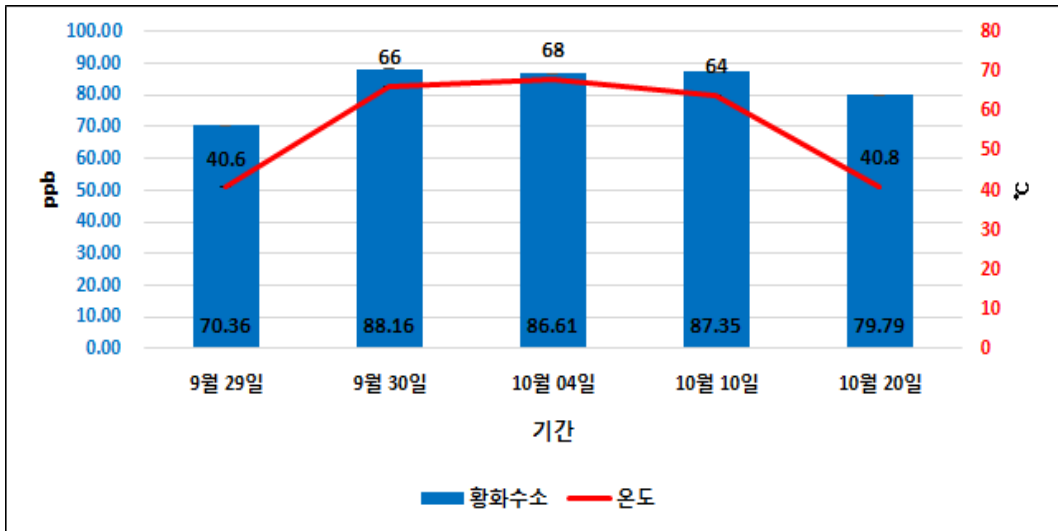


<그림-58> 실험3 수분조절제 투입 유형에 따른 암모니아 배출 경향

(나) 황화수소

- <그림-59>에 나타난 바와 같이 황화수소 농도는 수분조절제 투입 초기 70.36 ppb 이었으며 퇴비화 시스템의 부숙이 진행되면서 온도와 함께 황화수소 농도(9월 30일: 88.16 ppb(온도: 66℃))도 함께 증가하는 것으로 조사됨.
- 숙성단계가 진행되면서 가축더미 온도가 감소함에 따라 황화수소 농도도 함께 감소하는 것으로 관찰됨. (10월 04일: 86.61 ppb(온도: 68℃), 10월 10일: 87.35 ppb(온도: 64℃), 10월 20일: 79.79 ppb(온도: 40.8℃))

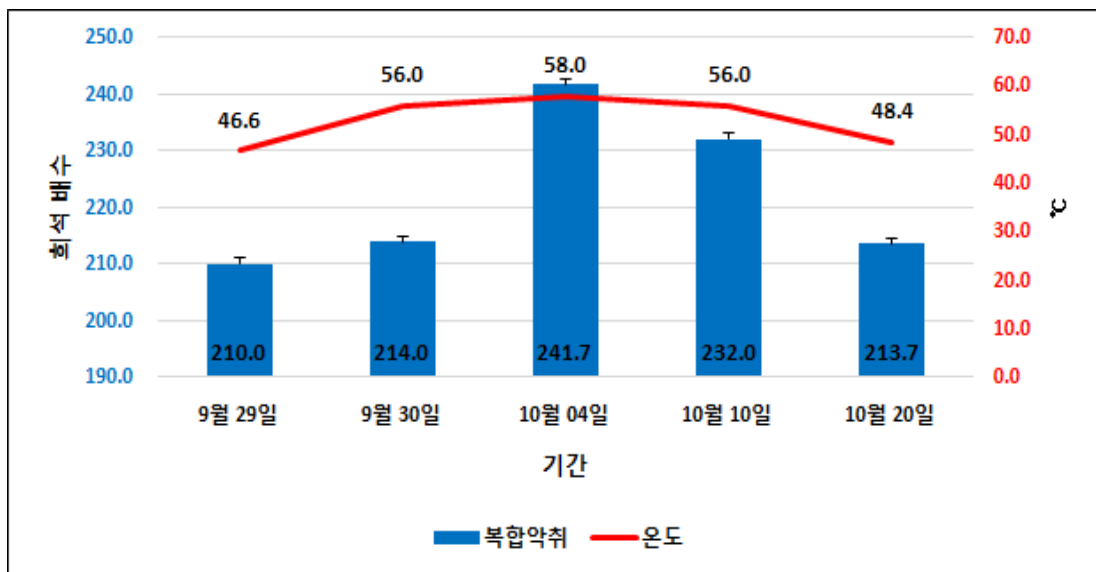
- 암모니아와 동일하게 가축더미 온도 발생 경향에 따라 황화수소 농도도 발생하는 것으로 분석됨.



<그림-59> 실험3 수분조절제 투입 유형에 따른 황화수소 배출 경향

(다) 복합악취

- <그림-60>에서 제시된 바와 같이 퇴비화 시스템 부숙단계별 공기희석 관능법 분석 결과 초기단계의 경우 210배로 분석되었으며, 부숙이 진행됨에 따라 214배(9월 30일), 241.7배(10월 04일)로 증가하였으며, 숙성단계가 진행되면서 232배(10월 10일), 213.7배(10월 20일)까지 감소하는 경향이 나타남.
- 암모니아 및 황화수소 측정결과와 동일하게 부숙단계에 따라 공기희석 배수가 증가하였다가 온도가 저감됨에 따라 공기희석 배수도 함께 점차 낮아지는 것으로 관찰됨.

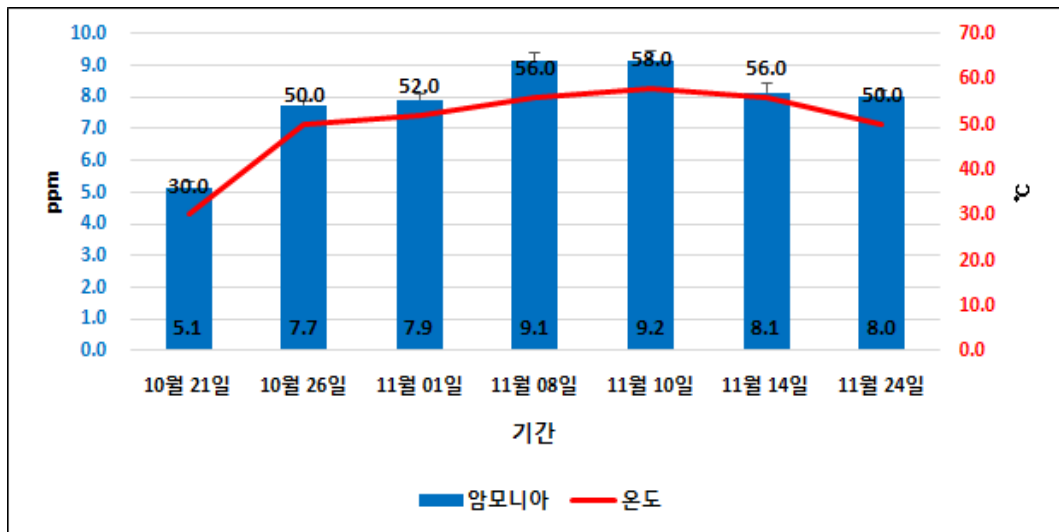


<그림-60> 실험3 수분조절제 투입 유형에 따른 복합악취 배출 경향

(4) 실험4 (고액분리고형분 + 폐사축 + 우드펠릿 + 리사이클링 퇴비)

(1) 암모니아

- <그림-61>에서 제시된 바와 같이 암모니아의 경우 개발된 수분조절제(고액분리고형분 + 폐사축 + 우드펠릿 + 리사이클링 퇴비) 투입시 5.1 ppm으로 측정되었으며 퇴비화 초기 단계에서 지속단계로 진행됨에 따라 암모니아 농도도(10월 26일 : 7.7 ppm, 11월 01일 : 7.9 ppm, 11월 08일 : 9.1 ppm, 11월 10일 : 9.2 ppm) 지속적으로 상승되는 것을 관찰됨.
- 숙성단계가 진행되면서 퇴비더미 온도가 56℃ 이하로 낮아지면서 암모니아 농도도 점차 감소하는 (11월 14일: 8.1 ppm, 11월 24일: 8.0 ppm)것으로 나타남.
- 즉, 가축더미의 부숙이 진행됨(초기단계→지속단계)에 따라 온도와 암모니아 농도가 점차 증가하였으며 다시 숙성단계가 진행되면서 암모니아 농도와 퇴비더미 온도도 함께 감소하는 경향이 관찰됨.
- 본 측정결과를 근거하였을 때 가축더미 온도에 따라 암모니아 농도도 함께 발생하는 것으로 나타남.

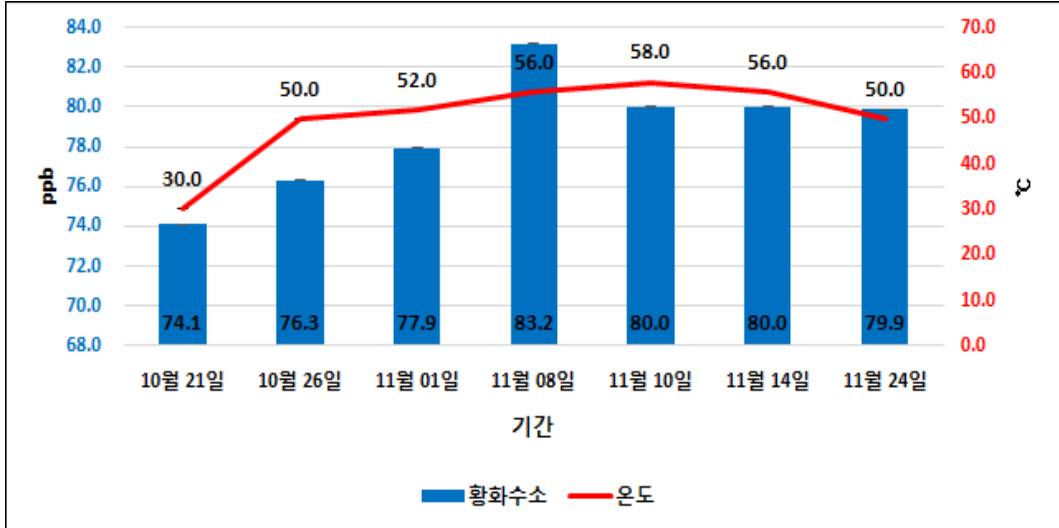


<그림-61> 실험4 수분조절제 투입 유형에 따른 암모니아 배출 경향

(2) 황화수소

- <그림-62>에 나타난 바와 같이 황화수소 농도는 수분조절제 투입 초기 74.1 ppb 이였으며 퇴비화 시스템의 부숙이 진행되면서 온도와 함께 황화수소 농도(10월 26일: 76.3 ppb(온도: 50℃), (11월 01일: 77.9 ppb(온도: 52℃), (11월 08일: 83.2 ppb(온도: 56℃))도 함께 증가하는 것으로 조사됨.
- 숙성단계가 진행되면서 가축더미 온도가 감소함에 따라 황화수소 농도도 함께 감소하는 것으로 관찰됨. (11월 10일: 80.0 ppb(온도: 58℃), 11월 14일: 80.0 ppb(온도: 56℃), 11월 24일: 79.9 ppb(온도: 50.0℃))

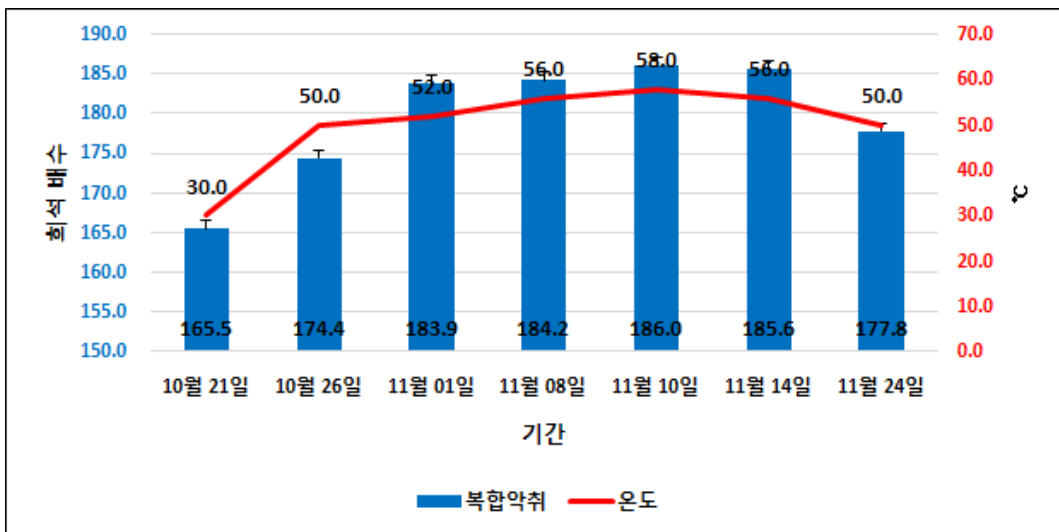
- 암모니아와 동일하게 가축더미 온도 발생 경향에 따라 황화수소 농도도 발생하는 것으로 분석됨.



<그림-62> 실험4 수분조절제 투입 유형에 따른 황화수소 배출 경향

(3) 복합약취

- <그림-63>에서 제시된 바와 같이 퇴비화 시스템 부숙단계별 공기희석 관능법 분석 결과 초기단계의 경우 165.5배로 분석되었으며, 부숙이 진행됨에 따라 174.4배(10월 26일), 183.9배(11월 01일), 184.2배(11월 08일), 186.0배(11월 10일)로 증가하였으며, 숙성단계가 진행되면서 185.6배(11월 14일), 177.8배(11월 24일)까지 감소하는 경향이 나타남.
- 암모니아 및 황화수소 측정결과와 동일하게 부숙단계에 따라 공기희석 배수가 증가하였다가 온도가 저감됨에 따라 공기희석 배수도 함께 점차 낮아지는 것으로 관찰됨.



<그림-63> 실험4 수분조절제 투입 유형에 따른 복합약취 배출 경향

2. 개발된 가축분뇨 퇴비화 악취 저감 장치에 대한 제어 효율 현장 평가

가. 평가개요

(1) 평가대상 및 기간

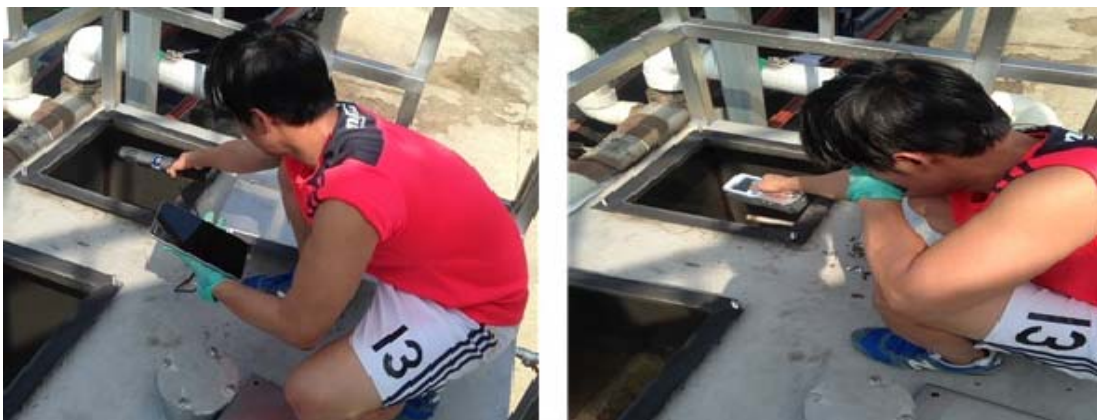
- 본 연구를 통해 개발된 악취 저감 시설을 대상으로 하여 계절별(봄철&가을철, 여름철, 겨울철)로 맑은 날을 기준으로 오후 시간대(13:00 pm ~ 16:00 pm)에 진행. <그림-64>
- 평가 지점은 처리전, 오존처리, 살수처리, 우드칩 처리, 최종배출구로 분류하여 평가.



<그림-64> 개발된 악취 저감 시설

(2) 평가 시료 채취 및 분석방법

- 측정위치는 각 평가지점에 최대한 가까이 하여 측정하였고, 부지경계선은 지면으로부터 상부 1 ~ 1.5m 되는 위치에서 측정하였다. 각 측정항목마다 3회 반복 시료를 채취하여 평균값을 대푯값으로 선정하였다. 악취 저감 장치에 대한 저감 효율 평가의 경우 초기 농도 대비 각 처리단계별 저감효율을 각각 평가하였다.



<그림-65> 악취 처리 공정별 측정 사진

<표-25> 평가 시료 채취 항목 및 분석 방법

장비사진	물질구분	항목	시료채취 장비	분석방법
	가스상 물질	암모니아	TG-501 (Gray wolf, USA)	광산란 직독식
		황화수소		
	악취물질	악취관능법	복합악취시료채취장치 (Odortech, Korea)	공기희석관능법
	악취물질	N계, S계 VOC계 복합악취	전자코 (OdorTech, Korea)	광산란 직독식

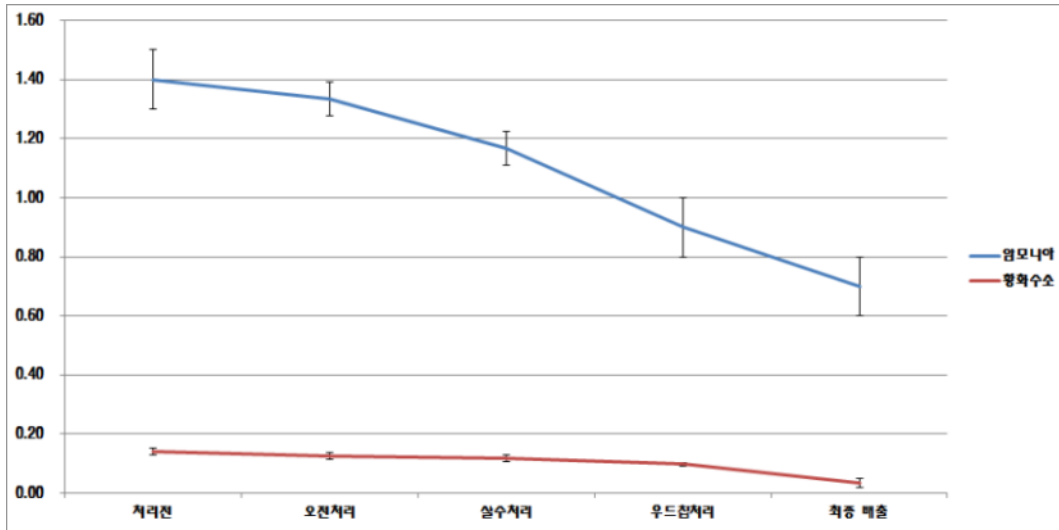
나. 평가결과

(1) 봄철 & 가을철

(가) 가스상 물질

- 본 연구를 통해 개발된 악취 저감 장치 적용에 따른 가스상 물질 저감 효율 평가 결과 아래 그림과 같다. 암모니아 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 4.76%, 살수처리시 16.67%, 우드칩처리시 35.71%로 저감되었으며, 악취 저감 공정의 암모니아 평균 저감효율은 19.04%로 조사됨.
- 황화수소 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 9.52%, 살수처리시 16.67%, 우드칩처리시 30.95%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 황화수소 평균 저감효율은 19.05%로 조사됨.

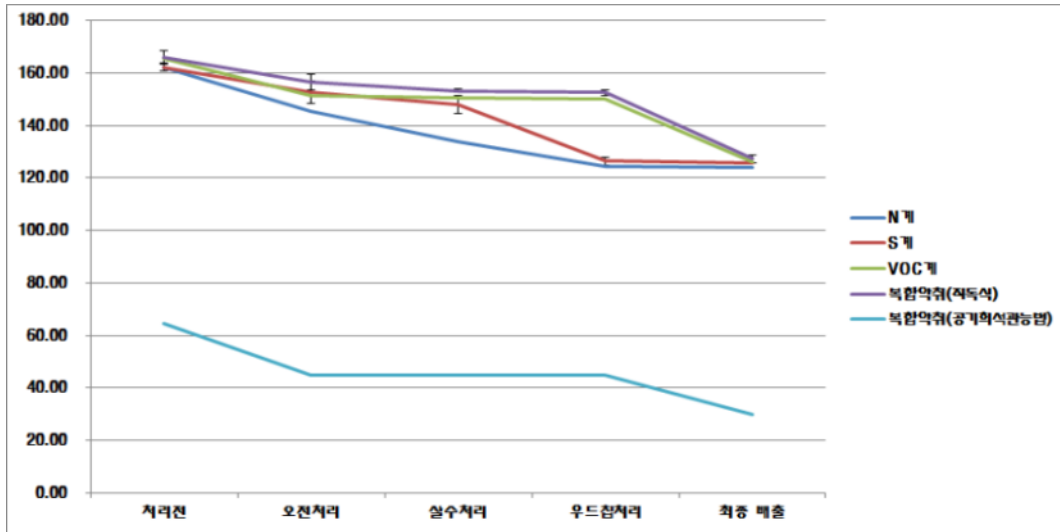
- 본 측정결과에 근거하였을 때, 악취 저감 장치 처리 공정에 따라 가스상 물질의 농도가 점차 감소하는 경향이 관찰됨.



<그림-66> 악취 저감 장치 적용에 따른 처리공정별 가스상 물질 저감 효율 평가 결과 (봄철 & 가을철)

(나) 악취물질

- 본 연구를 통해 개발된 악취 저감 장치 적용에 따른 악취 물질 저감 효율 평가 결과 아래 그림과 같음. N계 악취물질 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 7.77%, 살수처리시 17.39%, 우드칩처리시 23.19%로 저감되었으며, 악취 저감 공정의 N계 악취물질 평균 저감효율은 16.12%로 조사됨.
- S계 악취물질 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 3.84%, 살수처리시 8.75%, 우드칩처리시 22.09%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 S계 악취물질 평균 저감효율은 11.56%로 조사됨.
- VOC계 악취물질 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 6.7%, 살수처리시 9.09%, 우드칩처리시 9.28%로 저감되었으며, 악취 저감 공정의 VOC계 악취물질 평균 저감효율은 8.36%로 조사됨.
- 복합악취(직독식 측정) 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 5.72%, 살수처리시 7.73%, 우드칩처리시 8.09%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 복합악취(직독식) 평균 저감효율은 7.18%로 조사됨.
- 복합악취(공기희석관능법)은 초기농도 대비 오존처리시 30.68%, 살수처리시 30.68%, 우드칩처리시 30.68%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 복합악취(공기희석관능법) 평균 저감효율은 30.68%로 조사됨.
- 본 측정결과에 근거하였을 때, 악취 저감 장치 처리 공정에 따라 악취 물질의 농도가 점차 감소하는 경향이 관찰됨.

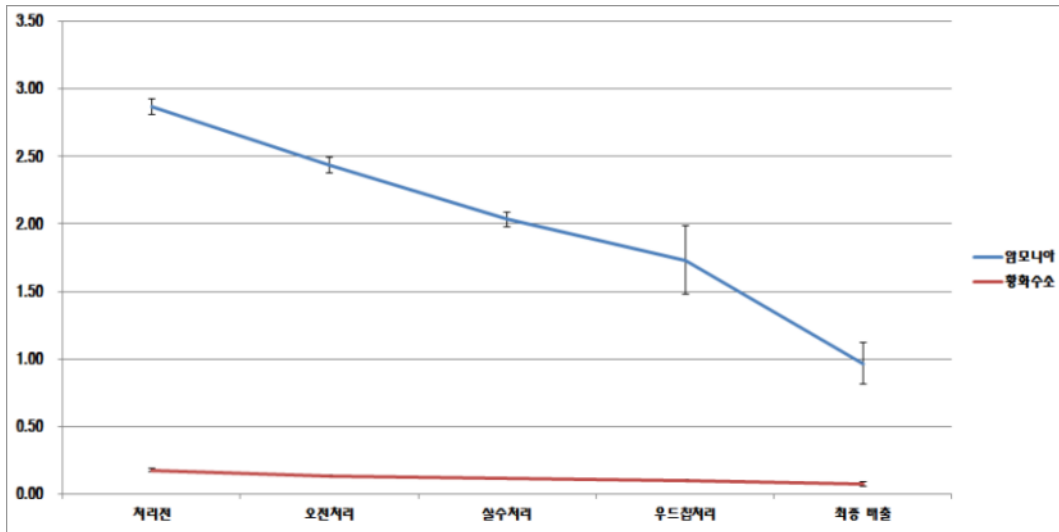


<그림-67> 악취 저감 장치 적용에 따른 처리공정별 악취 물질 저감 효율 평가 결과 (봄철 & 가을철)

(2) 여름철

(가) 가스상 물질

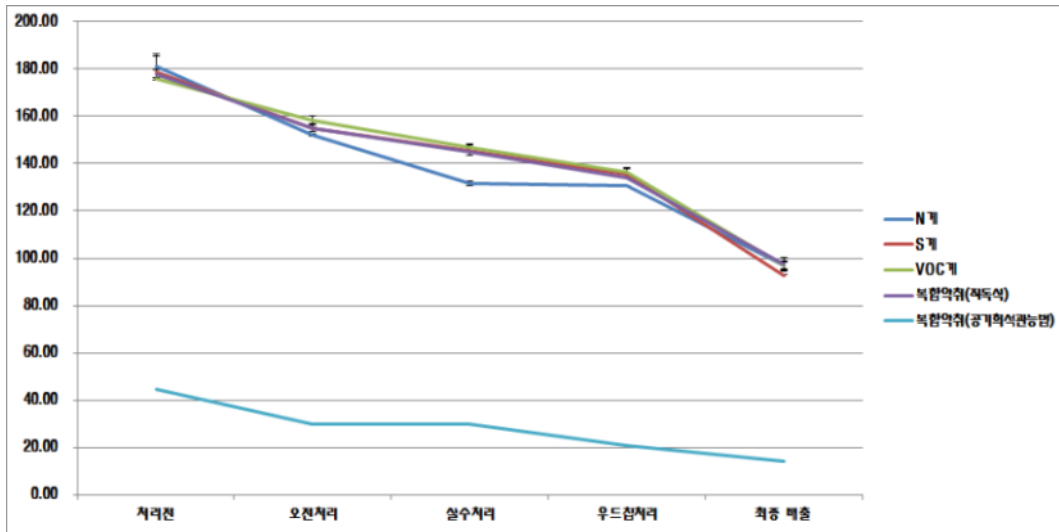
- 본 연구를 통해 개발된 악취 저감 장치 적용에 따른 가스상 물질 저감 효율 평가 결과 아래 그림과 같음. 암모니아 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 15.12%, 살수처리시 29.07%, 우드칩처리시 39.53%로 저감되었으며 악취 저감 공정의 암모니아 평균 저감효율은 27.91%로 조사됨.
- 황화수소 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 24.53%, 살수처리시 35.85%, 우드칩처리시 43.39%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 황화수소 평균 저감효율은 34.59%로 조사됨.
- 본 측정결과에 근거하였을 때, 악취 저감 장치 처리 공정에 따라 가스상 물질의 농도가 점차 감소하는 경향이 관찰됨.



<그림-68> 약취 저감 장치 적용에 따른 처리공정별 가스상 물질 저감 효율 평가 결과 (여름철)

(나) 약취물질

- 본 연구를 통해 개발된 약취 저감 장치 적용에 따른 약취 물질 저감 효율 평가 결과 아래 그림과 같음. N계 약취물질 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 16.18%, 살수처리시 27.43%, 우드칩처리시 28.02%로 저감되었으며 약취 저감 공정의 N계 약취물질 평균 저감효율은 23.88%로 조사됨.
- S계 약취물질 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 13.22%, 살수처리시 18.48%, 우드칩처리시 24.09%로 농도가 감소되었으며, 약취 저감 공정의 S계 약취물질 평균 저감효율은 18.59%로 조사됨.
- VOC계 약취물질 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 9.95%, 살수처리시 16.52%, 우드칩처리시 22.41%로 저감되었으며, 약취 저감 공정의 VOC계 약취물질 평균 저감효율은 16.29%로 조사됨.
- 복합약취 (직독식 측정) 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 12.68%, 살수처리시 18.31%, 우드칩처리시 24.38%로 농도가 감소되었으며 약취 저감 공정의 복합약취 (직독식 측정) 평균 저감효율은 18.45%로 조사됨.
- 복합약취(공기희석관능법)은 초기농도 대비 오존처리시 33.04%, 살수처리시 33.04%, 우드칩처리시 53.57%로 농도가 감소되었으며, 약취 저감 공정의 평균 저감효율은 25.66%로 조사됨.
- 본 측정결과에 근거하였을 때, 약취 저감 장치 처리 공정에 따라 복합약취 (공기희석관능법)의 농도가 점차 감소하는 경향이 관찰됨.

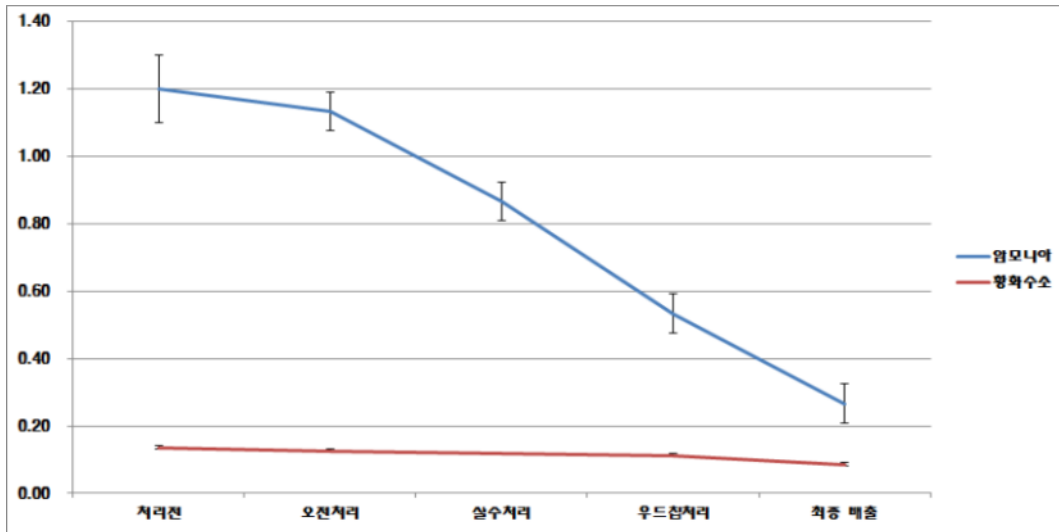


<그림-69> 악취 저감 장치 적용에 따른 처리공정별 악취 물질 저감 효율 평가 결과 (여름철)

(3) 겨울철

(가) 가스상 물질

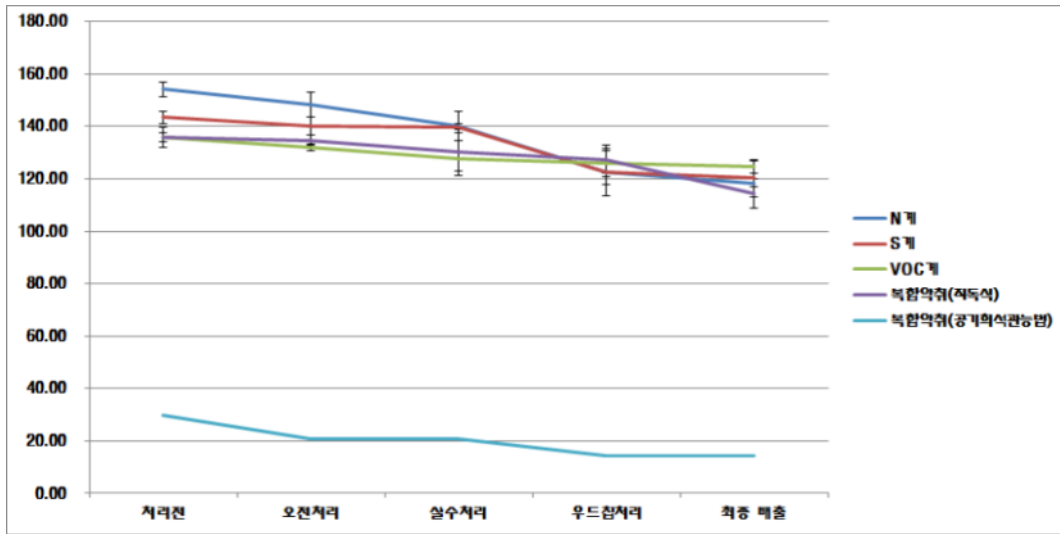
- 본 연구를 통해 개발된 악취 저감 장치 적용에 따른 가스상 물질 저감 효율 평가 결과 아래 그림과 같음. 암모니아 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 5.56%, 살수처리시 27.78%, 우드칩처리시 55.56%로 저감되었으며 악취 저감 공정의 암모니아 평균 저감효율은 29.63%로 조사됨.
- 황화수소 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 7.32%, 살수처리시 12.19%, 우드칩처리시 17.07% 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 황화수소 평균 저감효율은 12.19%로 조사됨.
- 본 측정결과에 근거하였을 때, 악취 저감 장치 처리 공정에 따라 가스상 물질의 농도가 점차 감소하는 경향이 관찰됨.



<그림-70> 악취 저감 장치 적용에 따른 처리공정별 가스상 물질 저감 효율 평가 결과 (겨울철)

(나) 악취물질

- 본 연구를 통해 개발된 악취 저감 장치 적용에 따른 악취 물질 저감 효율 평가 결과 아래 그림과 같음. N계 악취물질 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 3.78%, 살수처리시 9.21%, 우드칩처리시 20.45%로 저감되었으며, 악취 저감 공정의 N계 악취물질 평균 저감효율은 11.15%로 조사됨.
- S계 악취물질 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 2.31%, 살수처리시 2.46%, 우드칩처리시 20.45%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 S계 악취물질 평균 저감효율은 11.15%로 조사됨.
- VOC계 악취물질 저감효율의 경우 초기농도 대비 오존처리시 2.91%, 살수처리시 6%, 우드칩처리시 7.45%로 저감되었으며, 악취 저감 공정의 VOC계 악취물질 평균 저감효율은 5.46%로 조사됨.
- 복합악취(직독식 측정) 저감효율은 초기농도 대비 오존처리시 0.91%, 살수처리시 4.17%, 우드칩처리시 6.23%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 복합악취(직독식 측정) 평균 저감효율은 3.77%로 조사됨.
- 복합악취(공기회석관능법)은 초기농도 대비 오존처리시 30.67%, 살수처리시 30.67%, 우드칩처리시 51.93%로 농도가 감소되었으며, 악취 저감 공정의 복합악취(공기회석관능법) 평균 저감효율은 37.76%로 조사됨.
- 본 측정결과에 근거하였을 때, 악취 저감 장치 처리 공정에 따라 악취 물질의 농도가 점차 감소하는 경향이 관찰됨.



<그림-71> 악취 저감 장치 적용에 따른 처리공정별 악취 물질 저감 효율 평가 결과 (겨울철)

(4) 악취 저감 장치 적용에 따른 저감 효율 평가 결과에 대한 고찰

- 본 연구를 통해 개발된 악취 저감 장치 적용에 따른 유해인자 및 계절별 저감 효율 평가를 실시함.
- 유해인자별 저감 효율 평가 결과, 암모니아가 25.53%, 황화수소 21.95%, 복합악취(공기 희석관능법) 36.11%, N계 악취물질 17.05%, S계 악취물질 12.19%, VOC계 악취물질 10.04%, 복합악취 9.78%로 분석되었으며 복합악취 (공기희석관능법)에서 가장 높은 저감 효율이 나타났으며, 복합악취 (직독식 측정)에서 가장 낮은 저감효율이 평가됨.
- 유해인자별 저감 효율 평가 결과 종합시 측정 장비를 이용한 결과보다 상대적으로 실질적인 인간의 후각을 이용한 공기희석관능법 분석결과에서 더 높은 저감효율이 평가됨.
- 계절별 평가 결과는 봄&가을철 16%, 여름철 25.66%, 겨울철 15.19%로 여름철 > 봄&가을철 > 겨울철 순으로 높은 저감 효율이 분석됨.
- 본 현장평가 결과에 근거하였을 때, 여름철에 가장 높은 저감 효율이 나타남에 따라 개발된 악취 저감 장치의 경우 외기 온도가 높을수록 저감 효율도 함께 증가하는 것으로 판단됨.
- 처리 공정별 저감 효율 평가의 경우 오존처리 11.77%, 살수처리 18.01%, 우드칩처리 27.08%로 오존처리 > 살수처리 > 우드칩 처리 순으로 높은 저감 효율이 조사되었으며, 본 평가 결과는 다음과 같은 사유로 나타난 것으로 판단됨.
- 첫째, 바이오필터와 같은 역할을 하는 우드칩으로 인해 가스상 물질 및 악취물질 저감 효율이 높게 발생된 것으로 생각됨. (울일환 등., 2008)
- 둘째, 처리 공정이 단계별로 진행됨에 따라 악취 및 가스상 물질 농도도 점차적으로 낮아져 최종 처리 공정인 우드칩 처리에서 가장 높은 저감효율이 나타난 것으로 사료됨.

3. 개발될 고 수분 가축분뇨의 고속 퇴비화 시스템 가동에 따른 공기오염 물질의 유형별 주변 환경 관리대상 우선순위 선정

가. 평가개요

- 개발된 고속 퇴비화 시스템을 대상으로 건강 위해성 평가(Health Risk Assessment; HRA) 모델 및 흡입 노출 평가 결과를 적용하여 본 시스템에서 배출되는 유해 공기오염 물질에 대한 인근 주변 정주민들의 건강 위해성 평가를 수행.

나. 평가대상 및 방법

- 국립환경과학원 고시 제2014-8호내 「화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률」 제24조 및 동법 시행규칙 제32조 제4항 「화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정」에 근거하여 인근 주변 정주민들을 대상으로 위해성 평가를 수행함.
- 위해성 평가의 경우 가스상 물질인 암모니아와 황화수소와 같은 화학물질의 경우에만 적용할 수 있으므로, 본 연구에서는 측정 공기오염물질 중 암모니아와 황화수소만을 대상으로 수행함.
- 개발된 고속 퇴비화 시스템 가동에 따라 발생하는 공기오염물질 농도로부터 인체노출량은 다음 그림 내 식에 의해 산정함.
- 본 연구에서는 오염물질 흡입 노출 농도에 따른 노출량을 산출하였으며 해당 오염물질에 대한 일일노출량 및 평생일일 노출량을 남성과 여성으로 분류하여 각각 산정함.
- 위해도 결정은 산정된 노출량에 흡입 노출 참고치(RfC, Reference Concentration for Inhalation Exposure)와의 비교를 통해 그 수준이 “1”을 초과하는 경우에는 유해영향(독성)이 발생할 가능성이 있음을 제시하며, “1”이하인 경우 발생할 가능성이 없음을 제시.

$$\begin{aligned}
 \text{일일평균 노출량} &= \frac{\text{오염물질농도} \times \text{접촉률} \times \text{노출기간} \times \text{흡수율}}{\text{평균체중} \times \text{평균기간}} \\
 (\text{mg/kg/day}) &= \frac{(\text{mg/m}^3, \text{mg/L}) \times (\text{m}^3/\text{day}, \text{L/day}) \times (\text{day}) \times \text{흡수율}}{(\text{kg}) \times (\text{day})} \\
 \\
 \text{평생일일 평균노출량} &= \frac{\text{오염물질농도} \times \text{접촉률} \times \text{노출기간} \times \text{흡수율}}{\text{평균체중} \times \text{평균수명}} \\
 (\text{mg/kg/day}) &= \frac{(\text{mg/m}^3, \text{mg/L}) \times (\text{m}^3/\text{day}, \text{L/day}) \times (\text{day}) \times \text{흡수율}}{(\text{kg}) \times (\text{day})}
 \end{aligned}$$

<그림-72> 인체노출량 산출식

$$\text{Hazard Index} = \frac{(\text{ADDs})}{(\text{RfD})}$$

$$\text{ADDs} = \frac{(\text{C} \times \text{IR} \times \text{ED})}{(\text{BW} \times \text{LT})}$$

ADDs : average daily doses(mg/kg-day)

C : contaminant concentration in inhaled air(mg/m³)

IR : inhalation rate(m³/day)

ED : exposure duration(days)

BW : body weight(kg)

AT : averaging time(days)

LT : lifetime(days)

<그림-73> 인체노출량 추정을 통한 위해도 지수 (Hazard Index)
산정 수식

- ▶ 일일평균 노출량 : 주어진 기간 동안의 노출량 추정치로 통상 25년 평균거주기간을가정해서 성인을 대상으로 추정하거나, 연령군별로 계산
- ▶ 평생일일 노출량 : 통상 70년을 가정해서 성인 평균체중을 적용해서 평생 동안의 일일평균노출량 추정치로 발암위해도 평가에 활용
- ▶ 접촉률 : 흡입, 경구 또는 피부 접촉을 통하여 매체와 신체가 접하는 정도로서 일일 음용수 섭취량(L/day), 일일 호흡률(m³/day) 등으로 가정한다.
- ▶ 노출기간 : 오염물질과의 접촉기간으로 일반적으로 환경기준 설정의 경우에는 70년으로 가정한다. 오염지역의 건강영향 예측의 경우에는 25년으로 가정하며, 노출기간을 알 때에는 그 기간(day)을 적용한다.
- ▶ 흡수율 : 사람과 접촉하여 체내로 들어가는 총 오염물질의 유효 비율로서 일반적으로 흡수율이 결정되지 않은 물질들은 인체에 노출된 양의 100%가 흡수된다고 가정한다.
- ▶ 오염물질농도 : 가능한 충분한 자료수로부터 평균의 신뢰구간 상한 값 또는 95 백분 위수 값 등 보수적으로 산출하도록 한다.

- 위해성 평가를 위한 인체 노출계수(제7항, 제6항 관련)는 아래 표와 같음.

<표-26> 위해성 평가 인체 노출계수

항목		구분	노출계수	표준편차
체중(kg)		성인남자	70.6	0.1
		성인여자	57.8	0.1
		성인 전체 평균	54.2	0.1
평균수명(년)		남자	75.1	
		여자	81.9	
		전체평균	78.6	
인구유동성 (거주기간, 년)		평균	8.8	
		95백분위수	25	
접촉률	호흡량(m ³ /day)	성인남자	15.7	1.2
		성인여자	12.8	0.9
		성인 전체 평균	14.3	
	물 섭취량(L/day)	순수 물	1.2	
		음료	0.3	
		전체	1.5	
	토양섭취량(mg/day)	어린이 (7세 이하)	118	
		성인	50	

나. 위해성 평가 결과

- 현장측정결과를 근거로 하여 인체 노출계수를 고려한 위해성 평가결과, 암모니아의 일일평균 노출량은 남자가 0.91 mg/kg/day, 여자는 0.90 mg/kg/day 이며 평생일일 평균 노출량은 남자가 0.85 mg/kg/day, 여자는 0.63 mg/kg/day로 각각 산정함.
- 황화수소의 경우 일일평균 노출량은 남자가 0.167 mg/kg/day, 여자가 0.166 mg/kg/day 이며, 평생일일평균 노출량은 남자가 0.155 mg/kg/day, 여자가 0.142 mg/kg/day로 산출됨.
- EPA IRIS에서 제안하는 암모니아와 황화수소의 흡입 노출 참고치(RfC, Reference Concentration for Inhalation Exposure)와 인체노출량 산출 결과를 비교한 결과, 암모니아의 경우 일일평균 노출량 결과와 비교시 남성이 1.82, 여성 1.81이며 평생일일 평균 노출량과 비교시 남성 1.69, 여성 1.27로 모든 결과치가 “1” 이상을 초과함.
- 따라서 암모니아 노출에 따른 주변 주민들에게서 건강 유해 영향이 발생할 가능성이 있는 것으로 추정됨.

- 황화수소의 경우 일일평균 노출량 결과와 비교시 남성이 83.34, 여성이 83.00이며 평생 일일 평균 노출량과 비교시 남성이 77.68, 여성이 70.94로 암모니아와 동일하게 모든 결과치가 “1” 이상인 것을 고려하였을 때 암모니아와 마찬가지로 황화수소 노출도 주변 주민들에게 건강 유해 영향을 유발할 가능성이 있는 것으로 추정됨.
- 건강 위해성 평가는 현장측정 결과에 보정계수를 적용하여 노출 및 건강 유해영향 발생 가능성을 판단하는 확률론적 평가 도구.
- 본 평가 결과 암모니아와 황화수소 모두 “1” 이상으로 산출되어 건강 유해영향 발생의 잠재성이 있는 것으로 나타났지만, 현장 측정 결과치의 부족으로 본 추정 결과의 통계적 신뢰도는 매우 낮은 것으로 사료됨.
- 따라서 본 건강 위해성 평가 결과의 불확실성을 극복하기 위해서는 향후 축분 퇴비화 시설에서 배출되는 황화수소와 암모니아에 대한 작업자 및 인근 주민들의 현장 노출 평가 연구가 계속해서 수행되어 통계적 유의성을 확보하기 위한 현장 측정 데이터의 축적이 요구됨.

<표-27> 건강 위해성 평가 결과

구분		남자	여자	
물질명	암모니아	일일평균노출량	0.91	0.90
		위해도 결정	1.82	1.81
		평생일일평균 노출량	0.85	0.63
		위해도 결정	1.69	1.27
	황화수소	일일평균노출량	0.167	0.166
		위해도 결정	83.34	83.00
		평생일일평균 노출량	0.155	0.142
		위해도 결정	77.68	70.94

제 4 장. 목표달성도 및 관련분야 기여도

코드번호 D-06

4-1. 목표달성도

○ 세부 1 : 주관기관 비케이환경종합건설(주)

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2014)	원통 수평형 고 수 분 가축분뇨 고속 퇴 비화 및 악취 2단 제 거 기술개발	국내 가축분뇨 성상이 흡사한 외국의 사례 자료정보 수집	100	현장견학 및 자료 수집
		자동 투입 호퍼 및 원통 수평형 고속발효기 제작도면 설계	100	세부도면설계 : 전면도, 측면도, 종면도, 평면도, 입면도
		자동투입호퍼 및 원통수평형 고속발효기 기자재 선정 및 제작	100	자동투입호퍼 및 고속발효기 제작완료
2차 년도 (2015)	○ 원통형 발효조 Air heating recovery system 이용한 10일 이내 고속발효기 개발	원통수평형 발효조 body 보온 시스템구축(발효열 손실 방지 및 외기온도 차단설비 구축을 위한 자재선정)	100	- 겨울철 외기온도에 의한 퇴비율 저하를 방지하고 계절적 변화(눈.비 등) 조건에 내부열 손실을 차단하는 시스템(보온재 및 열선재료선정)
		기자재 보완 및 설계보완 후 최종 검증된 고속 발효기 구축	100	- 원료 투입구 및 배출구 밀폐시설 및 퇴비 누출방지 시스템 연구
		발효퇴비를 투입구로 재순환 될 수 있는 시스템 구축	100	- 부속이 완료된 퇴비를 재이용하여 수분조절 제로 대체하고 발효 미생물의 자연적으로 식중 이 될 수 있도록 하는 연구
		부속퇴비 내 협착물을 제거 할 수 있는 선별시스템 개발	100	- 난분해성 물질은 선별할 수 있는 매시 선 별체 개발에 대한 연구
	○ 발효퇴비 재순환 시스템개발	부속퇴비 반출구에서 배출되는 고온열을 포집하여 원료투입구로 재이용할 수 있는 시스템 개발	100	- 폐열을 재이용함으로써 퇴비 고속발효 효율을 높이고, 고속발효에 소모되는 공 급열량을 절감할 수 있는 획기적인 발효 폐열 재이용 시스템에 관한 연구
		고속발효기 내 발생된 습윤가스 중 수 분을 제거한 건조가스 생산시스 템개발(heating recovery)	100	- 부속퇴비 반출구에서 배출되는 습윤 가스를 수증기와 건조공기를 분리하여 고 온 건조공기만을 퇴비 발효열로 이용하여 투입원료를 10일내 발효할 수 있는 공정개발
○ 악취 포집 시설 및 악취제어장치연계 시스템개발	고속발효기 내 발생된 복합악취를 미세 기포를 이용한 1차 제어 세정식 개발	100	- 분말형태의 기포 발생기를 이용하여 유입된 복합악취를 살수하여 용해도를 높이는 기술 - 악취저감목표 : 전처리농도100%, 발효기 내부 농도 80%(20%저감) 악취1단계제어설비 85%(88%저감), 악취2단계제어 설비96.5%(99.5%)제시	
	둔분 발생량 변동에 증설설비 및 이동설치가 편리한 조립식 Body system 개발 및 개선	100	- 발효기 총용량 36㎡이상 저장 발효할 수 있 도록 하고, 발효단계를 5단계로 나누어 각 단 별로 분리할 수 있는 설비 개발로 증설 설비 및 이동설비가 가능토록 한다.	
3차 년도 (2016)	○ 부속퇴비 내 협 착물을 제거할 수 있는 선별시스템 보완 및 개발	원형 매시 선별체 개발에 대한 연구	100	- 원통 발효조 배출구 후단에 완속된 퇴비를 유입시켜 난분해성 물질은 선별할 수 있는 원형 매시 선별체 개발에 대한 연구
	○ 다종별 가축분 고속퇴비화를 위한 수평 원통형 고속발 효기실증시험	발효기내 마감재 개발과 스크류 바 설계제작	100	- 우분, 젖소, 계분 등을 원통수평형 발효 기에 투입 후 가동회전 조작 시 원료의 점 도성 때문에 발효기 내부에 이송저하와 발효율 저 하 대한 문제 등을 실증시험을 통해 이를 보완할 수 있도록 한다.
	○ 악취 포집 시설 및 3단계(tray & Bio- Filter) 악취제어 SYSTEM 개발	1단계와 3단 시설에 대한 악취제어 SYSTEM 개발	100	- 세정식 탈취시설 내에 1단 tray에 의한 세정방 식과 2단 오존살수 장치, 3단 바이오 필터 방식 으로 구분하여 1단계와 3단 시설에 대한 악취제어 SYSTEM을 개발한다.

○ 협동 1 : 협동기관 경상대학교 산학협력단

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2014)	원통 수평형 고 수 분 가축분뇨 고속 퇴비화 및 악취 2단 제거 기술개발	과거 국내 수출·입 되는 톱밥, 왕 겨 현황 DB 구축	100	- 과거 5년간 퇴비화 과정에서 수분조절제 로 가장 흔히 이용되고 있는 톱밥과 왕겨의 국내 수출·입 되는 양을 조사하여 DB 구축
		톱밥과 왕겨의 경제성 분석을 통한 수입 타당성 검증	100	- 과거 5년간 톱밥과 왕겨의 국내 수출· 입 되는 양에 따른 발생된 금액과 현 재 톱밥과 왕겨의 수출·입 시 발생 하는 금액을 비교하여 톱밥과 왕겨의 계속적인 수입이 타당하지 검증
		발효 공정 시 30%이상 경제적 절감 할 수 있는 수분조절제 선정	100	- 현재 시중에 판매되고 있는 수분조절제의 수분 흡수율을 측정하여 연구에 가장 적합 한 수분조절제 선정
2차 년도 (2015)	원통 수평형 고 수 분 가축분뇨 고속 퇴비화 및 악취 2단 제거 기술개발	톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등)의 특성을 이용한 수분조절제의 성능검증 및 선정	100	- 현재 알려진 대체 수분조절제를 포함하 고, 그 외 다른 재료들을 이용하여 발효 공정 시 절감되는 효과에 따라, 향후 연구 에 이용 할 대체 수분조절제 선정
		완숙퇴비 일부를 수분조절제로 사용 하여 1차 발효공정으로 RECYCCLE 함으로써 퇴비상산비 30%절감	100	- 완숙퇴비의 일부를 수분조절제로 이 용함으로써, 기존에 이용되고 있던 수 분조절제와 혼용하여 퇴비상산비를 30% 이상 절감 시킬 수 있는지 판단
		원활한 공급을 다양화 하기 위해 우 리나라 수목을 선정하고 Wood Block 의 성형을 통한 공급개선제 개발	100	- Wood Block의 표면적 확대 내구성수분 흡수 율 증대 등을 위해 성형 모형을 선정하고, 가열 과 압축에 의한 흡착, 흡수된 물질의 탈 착 가능도록 개발
		커피생산 부산물(은피)을 이용한 퇴 비생산비용 경제성 분석 및 화학적 분석	100	- 커피생산 부산물(은피)을 수분조절제 로 이용 하므로써, 절감되는 생산비용과 기존의 왕겨, 톱밥 등을 수분조절제로 사용한 퇴비생산비용을 비교분석
3차 년도 (2016)	톱밥, 왕겨보다 저렴한 경제적 대체 수분조절제 개발 및 경제성 분석	대체 수분조절의 경제성 분석 및 퇴 비화 시스템 구축	100	대체 수분조절의 경제성 분석 및 퇴비화 시스템 구축
		대체 수분조절제의 경종농가 적용성 평 가	100	대체 수분조절제의 경종농가 적용성 평가
		대체제로 가능한 수분조절제들에 대 한 분석 요망	100	대체제로 가능한 수분조절제들에 대한 분석 요망
		톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등) 의 특성 분석	100	톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등)의 특성 분석

○ 협동 2 : 협동기관 부산가톨릭대학교 산학협력단

구분 (연도)	세부과제명	세부연구목표	달성도 (%)	연구개발 수행내용
1차 년도 (2014)	퇴비화 시설의 부지 경계선 기준으로 암 모니아농도를 1ppm 이하로 배출하기 위 한 본 약취 제거 장 치의 적정 운용 메 커니즘 제시	현재 설치되어 가동 중인 국내 가 축분뇨 퇴비화 시스템에서 발생되 는 공기오염물질(약취, 분진, 부 유 미생물)의 발생 패턴 규명을 위한 현장 조사	100	- 3가지 교반방식(스크류, 로타리, 자연교 반)으로 가축분뇨를 자원화하는 시설에 대 해 현장 방문 - 스크류 방식으로 가축분뇨를 교반하는 시설이 공기오염물질을 가장 많이 배출하 는 것으로 조사됨 - 계절별 측면에서는 전반적으로 외기 온 도가 높은 여름철에 공기오염물질의 발생 량이 상대적으로 높은 것으로 평가됨
		본 연구를 통해 개발될 고 수분 가축분뇨 고속 퇴비화 공정에서 발생되는 공기오염물질(약취, 분 진, 부유미생물)의 발생 농도 및 배출 계수 관련 선행 연구자료 고 찰	100	- 국외의 경우 주로 유럽을 중심으로 가축 분뇨 자원화시 배출되는 여러 형태의 공기 오염물질에 대한 발생 농도 및 배출계수를 체계적으로 DB화하는 추세임 - 국내의 경우 공기오염물질 중 주로 암모 니아에 대해서만 국한된 현장 연구 결과가 보고되고 있는 실정임
		본 연구를 통해 개발될 다기능 수 분 조절재의 유형 및 투입 조건에 따른 공기오염물질(약취, 분진, 부유미생물)의 발생 농도 관련 예 비 조사	100	- 분진의 예비 조사 결과 배출구(Out-put) 에서 가장 높게 발생되었으며, TSP 651.63 µg/m³, PM ₁₀ 290.53 µg/m³, PM _{2.5} 44.35 µg/ m³, PM ₁ 10.36 µg/m³로 조사되었다. - 부유 미생물은 장치 내부에서 가장 높게 나타났으며, 부유세균 5,594 cfu/m³, 부유 진균 3,492 cfu/m³로 관찰되었다. - 약취물질의 경우 NH ₃ 는 8~70 ppm, H ₂ S는 0~0.7 ppm 농도 범위에서 측정
2차 년도 (2015)	퇴비화 시설의 부지경 계선 기준으로 암모니 아 농도를 1ppm 이하 로 배출하기 위한 본 약취 제거 장치의 적정 운용 메커니즘 제시	투입 수분조절제 조성에 따른 가 축분뇨 고속 퇴비화시 배출되는 공기오염물질의 발생 양상 현장 평가	100	- 관행적으로 운용 시 원통형 고속 퇴비화 시스템에서 배출되는 공기오염물질의 발생 량에 대한 background level 분석 - 가축분뇨의 고속 퇴비화를 달성하기 위해 제 시된 수분조절제 조성에 따른 각 지점별(투입구, 발효조, 배출조) 공기오염물질 발생 패턴 비교 - 해당 수분조절제 투입에 따른 가축분뇨 발효시 발생하는 약취 물질(복합약취, 암모 니아, 황화수소)의 경시적 농도 변화 관찰
		원통형 고속 퇴비화 시스템 운용 에 따른 작업장 및 부지경계선 에서의 작업 환경 측정 평가	100	- 본 시스템 운용에 따른 작업자의 공기오염물 질 노출수준(개인시료 & 지역시료) 현장 평가 - 현장에서 측정된 가스상과 입자상 오염물질 농도의 작업장 노출기준과의 비교 - 국내외 연구 사례 고찰을 통한 본 시스템에서 배출되는 공기오염물질의 건강 유해 수준 분석
		부지경계선 기준으로 암모니아 농 도를 1ppm 이하로 배출하기 위한 약취 제거 메커니즘 제안	100	- 현재 가축분뇨 퇴비화 시설에서 적용되고 있는 약취 저감 장치들에 대한 효율성 분석 - 가축분뇨 처리에 적용된 기존 약취 제거 시스템들의 경제성 평가 - 기존 처리 시설들의 제어 효율 성 및 경제 성 분석에 따른 1차 전처리 시설 및 2차 후 처리 시설에 대한 약취 제거 메커니즘 제시
3차 년도 (2016)	퇴비화 시설의 약취 제거 장치 가동에 따른 약취 등의 인 근 주변 환경 위해 성 평가	공기오염물질의 발생 패턴 현장 평가	100	- 본 연구를 통해 개발된 원통형 고속 가 축분뇨 자원화 시스템의 공정 단계에 따 른 공기오염물질의 발생 패턴 현장 평가
		공기오염물질(약취, 분진, 부유 미생물) 제어 효율 평가	100	- 1차 약취 전처리 시설과 2차 약취 후처 리 시설에 대한 공기오염물질(약취, 분진, 부 유 미생물) 제어 효율 평가
		유형별 주변 환경 관리대상 우선 순 위 선정	100	- 완성된 고 수분 가축분뇨의 고속 퇴비화 시스 템 가동에 따른 공기오염물질(약취, 분진, 부유 미생 물)의 유형별 주변 환경 관리대상 우선 순위 선정

4-2. 관련분야 기여도

- 국내에는 원통수평형 발효조 보급이 2014년 제주도에서 처음 보급을 하여, 지금 현재 유지 비용 및 처리효율 면에서 월등히 우수한 것으로 나타나, 이를 KS 제품화하여 농림부 축산 시설 등록을 통해 완만히 보급하여 농·축산 시설의 전반적인 개선에 기여할 것임.
- 고속 퇴비화 장치 가동시 발생하는 주요 공기오염물질(입자상, 가스상, 생물학상 및 악취물질) 발생 패턴 파악으로 향후 관련 연구 및 사업 분야에 기초자료로써 기여할 것임.
- 퇴비화 시스템 대상 작업환경측정 평가 결과를 통해 후속 연구 수행 및 기존 퇴비화 시설의 기초자료로써 활용되어 기여할 것임.
- 개발된 실증 악취 처리 시설은 기존 퇴비화 시설 및 신규 시스템에 맞춤형 처리시설로써 적용이 가능하고, 이에 대한 기술적인 내용과 시설 운영 및 운전 Know-how를 공개하여 기술이전은 물론 국가적인 차원의 농·축산 시설 악취 물질 제거와 민원을 해결함에 기여할 수 있음.

제 5 장. 연구결과의 활용계획

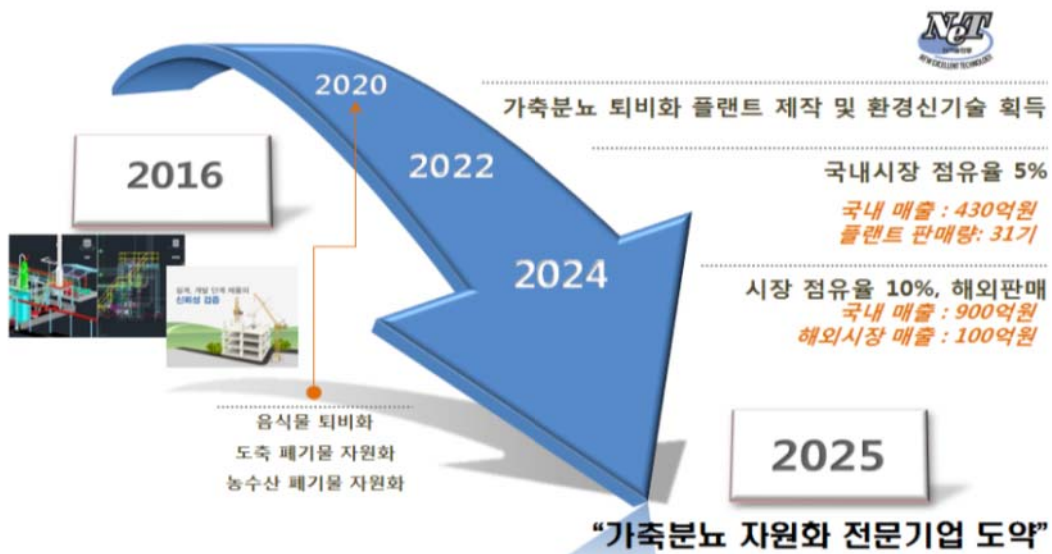
코드번호	D-07
------	------

1. 추가 연구의 필요성

- 기존 퇴비화 공정을 대체할 수 있는 고품질 가축분뇨 퇴비화 기술에 대한 실증 연구 필요
- 퇴비생산비를 절감할 수 있는 경제적인 발효퇴비 재순환 시스템 개발
- 악취처리방식을 획기적으로 개선할 수 있는 경제적인 고효율 악취 및 공기오염물질 제어 시스템 개발 필요

2. 사업화 추진방안

- 상용화 형태 : 고속 원통형 수평 발효기
- 수요처 : 가축분뇨 배출시설, 지역구 농축산자원화 센터 등
- 예상 단가 : 3억원(5톤/일 용량)



제 6 장. 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보

코드번호	D-08
<ul style="list-style-type: none"> ○ Bovallius, A., Bucht, B., Roffey, R. and Anas, P. (1978) Three-year investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden. <i>Applied and environmental microbiology</i>. p. 847-852 ○ Bunker, J., Antlauf- Lammers, M., Schulz, T.G., Westphal, G., Müller, M., Ruhnau, P. and Hallier, E. (2000) Health complaints and immunological markers of exposure to bioaerosols among biowaste collectors and compost workers. <i>Occup Environ Med</i> 57, 458-464. ○ Carducci, A., Tozzi, E., Rubulotta, E., Casini, B., Cantiani, L., Rovini, E., Muscillo, M. and Pacini, R. (2000) Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. <i>Water Res</i> 34, 1173-1178. ○ Douwes, J., Wouters, I., Dubbeld, H., van Zwieten, L., Steerenberg, P., Doekes, G. and Heederik, D. (2000) Upper airway inflammation assessed by nasal lavage in compost workers: a relation with bio-aerosol exposure. <i>Am J Ind Med</i> 37, 459-468. ○ Douwes, J., Thorne, P., Pearce, N. and Heederik, D. (2003) Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. <i>Ann Occup Hyg</i> 47, 187-200. ○ EU Council Directive (2000) EU Council Directive 2000/54/EC on the protection of workers from risks related to exposure to biological agents at work. In <i>Official Journal of the European Communities</i>. pp. 21-45. No. L262/21, 17.10.2000. Luxembourg: European Parliament. ○ Fischer G, Muller T, Ostrowski R, Dott W. (1999) Mycotoxins of <i>Aspergillus Fumigatus</i> in pure culture and in native bioaerosols from compost facilities. <i>Chemosphere</i>; 38, 1745-1755. ○ Folmsbee, M. and Strevett, K. (1999) Bioaerosol concentration at an outdoor composting center. <i>J Air Waste Manage Assoc</i> 49, 554-561. ○ Fung, Z., Ouyang, Z., Zheng, H., Wang, X. and Hu. L. (2007) Culturable airborne bacteria in outdoor environments in Beijing, China. <i>Microbial ecology</i> 38, 254-259. ○ Heldal, K.K., Halstensen, A.S., Thorn, J., Djupesland, P., Wouters, I., Eduard, W. and Halstensen, T.S. (2003a) Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols. <i>Occup Environ Med</i> 60, 444-450. ○ Heldal, K.K., Halstensen, A.S., Thorn, J., Eduard, W. and Halstensen, T.S. (2003b) Airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols assessed by induced sputum. <i>Eur Respir J</i> 21, 641-645. 	

- Herr, C.E.W., zur Nieden, A., Jankofsky, M., Stilianakis, N.I., Boedeker, R.-H. and Eikmann, T.F. (2003) Effects of bioaerosols polluted outdoor air on airways of residents: a cross sectional study. *Occup Environ Med* 60, 336-342.
- Hryhorczuk, D., Curtis, L., Schleff, P., Chung, J., Rizzo, M., Lewis, C., Keys, N. and Moomey, M. (2001) Bioaerosols emission from a suburban yard waste composting facility. *Ann Agric Environ Med* 8, 177-185.
- Jager, E., Ruden, H. and Zeschmar-Lahl, B. (1994) Composting facilities. 2. Aerogenic microorganism content at different working areas of composting facilities. *Zentralbl Hyg Umweltmed* 196, 367-379
- Jones, A.M. and Harrison, R.M. (2004) The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations—a review. *Sci Total Environ* 326, 151-180.
- Kuo, Y. M. and Li, C S. (1994) Seasonal fungus prevalence inside and outside of domestic environments in the subtropical climate. *Atmospheric Environment*. 19, 3125-3130.
- Mancinelli, R. L. and Shulis, W. A. (1978) Airborne bacteria in an urban environment. 1095-1101.
- Pastuszka, J. S., Paw, U. K. T. Lis, D. O. Wlazlo, A. and Ulfing, K. (2000) Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia, Poland, *Atmospheric Environment*. 34, 3833-3842.
- Reinthaler, F.F., Marth, E., Eibel, U., Enayat, U., Feenstra, O., Frieß, H., Kock, M., Pichler-Semmelrock, F.P. (1997) The assessment of airborne microorganisms in large-scale composting facilities and their immediate surroundings. *Aerobiologia* 13, 167-175.
- Seidl, H.P. (1995) Mikrobiologie des Abfalls. In *Keimbelastung in der Abfallwirtschaft: Tagung 26/4/1995* ed. Mücke, W., Seidl, H.P., Rakoski, A.H., Eckrich, C., Emmerling, G., Pipke, R. and Wimmer, M. pp. 5-30.
- Tong, Y. and Lighthart, B. (1997) Solar radiation has a lethal effect on natural populations of culturable outdoor atmospheric bacteria. *Atmos Environ* 31, 897-900.
- Wouters, I.M., Hilhorst, S.K.M., Kleppe, P., Doekes, G., Douwes, J., Peretz, C. and Heederik, D. (2002) Upper airway inflammation and respiratory symptoms in domestic waste collectors. *Occup Environ Med* 59, 106-112.

제 7 장. 연구개발결과의 보안등급

		코드번호	D-09
보안등급 분류	<input type="checkbox"/> 보안과제 <input checked="" type="checkbox"/> 일반과제		
결정 사유	해 당 없 음		

제 8 장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	코드번호		비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
					구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)		
-	-	-	-	-	-	-	-	-

제 10 장. 연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문게재지 / 특허등록 국가	코드번호		D-12	
						Impact Factor	논문게재일 /특허등록일	사사여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기사항 (SCI여부/인 용횟수 등)
1	논문	Exposure level and emission characteristics of ammonia and hydrogen sulphide in poultry building of South Korea	부산 가톨릭대	제1저자/ 교신 저자	Indoor and Built Environment	0.943	2016.07.20	단독	SCI
2	특허	원통형 교반 발효기	비케이환 경종합건 설(주)	발명권자 /특허 권자	대한민국	-	2015.09.09	단독	10 -1553295호
3	특허	에어공급부를 구비한 원통형 교반 발효기	비케이환 경종합건 설(주)	발명권자 /특허 권자	대한민국	-	2016.07.25	단독	10 -1643985호

제 11 장. 기타사항

코드번호	D-13
<ul style="list-style-type: none">▪ 해당 없음.	

제 12 장. 참고문헌

	코드번호	D-14
○ Barrington SF, Schuepp P, Capp R, Blanchette J. 1990. Peat moss to conserve swine manure nitrogen. p. 434-41. In Agriculture and food processing waste. Proc. 6th Int. Symp. on Agricultural and Food Processing Wastes, Chicago, IL. December 1990. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.		
○ Grub W, Rollo CA, Howes JR. Dust problems in poultry environments. Trans ASAE 1965;8:338-339		
○ Jacobson L, Johnston L, Hetchler B, Janni K. Odor emissions control by sprinkling oil for dust reduction in pig buildings. Trans of the ASAE 2000;56:413-420.		
○ Kerr BJ, Ziemer CJ, Weber TE, Trabue SL, Bearson BL, Shurson GC, Whitney MH. 2008. Comparative sulfur analysis using thermal combustion or inductively coupled plasma methodology and mineral composition of common livestock feedstuffs. Journal of Animal Science.		
○ Kim KY, Ko HJ, Kim HT, Kim YS, Roh YM, Lee CM, Kim CN. 2008. Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives. Bioresource Technology. 99(17):8464-8469.		
○ Liao CM, Bundy DS. 1994. Bacteria additives to the changes in gaseous mass-transfer from stored swine manure. J. Environ. Sci. Health. 296:1219-249.		
○ NCSU (North Carolina State University). Biofilter for removing odorous compounds in exhaust from swine buildings. Animal and Poultry Waste Management Research: A Progress Report, July 15. 1997.		
○ Pedersen S. Time-based variation in airborne dust in respect to animal activity. Proceedings on Livestock Environment IV, ASAE. 1993;718-726.		
○ Rumsey IC. 2010. Characterizing reduced sulfur compounds and non-methane volatile organic compounds emissions from a swine concentrated animal feeding operation. A dissertation submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.		
○ Sheridan B, Curran T, Dodd V, Colligan J. 2000. Biofiltration of odour and ammonia from a pig unit : a pilot-scale study. Biosystems Engineering 82:(4);441-53.		
○ Varel VH, Miller DN. Plant-derived oils reduce pathogens and gaseous emissions from stored cattle waste. Applied and Environmental Microbiology 2001;128:1366-1370.		

- Ye Z, Sahab CK, Lic B, Tongd G, Wang C, Zhua S and Zhang G. 2009. Effect of environmental deflector and curtain on air exchange rate in slurry pit in a model pig house. Biosystems Engineering 104(4);522-533.
- Yoder MF, Vanwicken GL. Respirable aerosol generation by broiler chickens. Trans ASAE 1988;31;1510-1517
- Zhu J, Riskowski GL, Torremorell M. Volatile fatty acids as odour indicators in swine manure-A critical review. Transactions of the ASAE 1999;42:175-182.
- 고연자, 공용우, 이제만, 고종명, 김용희, 제갈승. 다중이용시설 내 공기 중의 진균 분포. 대한위생학회지. 2007;22;77-85
- 고용노동부. 화학물질 및 물리적인자의 노출기준. 고용노동부고시 제 2013-38호. 2013 환경부. 다중이용시설 실내공기질관리법 제3조. 2014
- 김기연, 최홍림, 고한중, 김치년. 축분 퇴비화시스템 운용방식에 따른 실내 대기오염 평가. 한국동물자원과학회지. 2004;46;283-294
- 박재범, 김기연, 장규엽, 김치년, 이경중. 다중이용시설 내부에 분포하는 부유 진균의 입경별 농도 특성. 한국환경보건학회지. 2006;32;36-45
- 김기연, 장규엽, 김치년, 이경중. 규제대상 다중이용시설내 부유세균의 분포 특성에 관한 현장 조사. 한국산업위생학회지. 2006;16;1-10
- 이지원, 김현욱. 서울소재 지하철역내 입경분포 및 총분진과 미세분진 농도 비교. 대기환경학회지. 1997;1;110;112
- 김경현, 김수기. 열화학적 액화와 미생물을 이용한 폐가축 자원화 방안. 유기성자원학회. 2011;9(3);13-17
- 김고은, 박나영, 배정현, 전종기, 이철호. 정수 슬러지를 재활용한 펠렛형 흡착제 상에서 염기성 악취 물질의 흡착속도 상수에 관한 연구. 한국공업화학학회. 2014;25;167-173
- 오일환, 서정운, 김태형. 창원공단 주요 악취 민원 발생지역 주변 악취발생 현황조사 및 저감 방안에 관한 연구. 한국환경과학회지. 2008;5;525-535

[별첨]

자체평가의견서

1. 과제현황

			코드번호	D-15	
			과제번호	3130423	
사업구분	농생명산업기술개발사업				
연구분야				과제구분	단위
사업명	농생명산업기술개발사업				주관
총괄과제	기재하지 않음			총괄책임자	기재하지 않음
과제명	원통 수평형 고 수분 가축분뇨 고속 퇴비화 및 약취 2단 제거 기술 개발			과제유형	(기초,응용,개발)
연구기관	비케이환경종합건설(주)			연구책임자	김원중
연구기간 연구비 (천원)	연차	기간	정부	민간	계
	1차년도	2013.12~2014.12	200,000	67,000	267,000
	2차년도	2014.12~2015.12	200,000	67,000	267,000
	3차년도	2015.12~2016.12	200,000	67,000	267,000
	4차년도				
	5차년도				
	계		600,000	201,000	801,000
참여기업	비케이환경종합건설(주)				
상대국	-	상대국연구기관	-		

※ 총 연구기간이 5차년도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성 요망

2. 평가일 : 2016. 12. 14

3. 평가자(연구책임자) :

소속	직위	성명
비케이환경종합건설(주)	대표이사	김원중

4. 평가자(연구책임자) 확인 :

본인은 평가대상 과제에 대한 연구결과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 본 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약	
-----	--

I. 연구개발실적

※ 다음 각 평가항목에 따라 자체평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

1. 연구개발결과의 우수성/창의성

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

본 연구과제에서는 특허 2건과 다수의 SCI 및 비 SCI논문 실적을 달성하여 연구개발 결과의 우수성 및 창의성을 확보하였음.

2. 연구개발결과의 파급효과

■ 등급 : (**아주우수**, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구 개발 결과는 국가 기술력 확보로 농·축산 분야 전반에 걸쳐 크게 영향을 줄 수 있으며, 국내 보급은 물론 장래에는 해외 수출로 제품 판매, 기술 이전 등 가능성이 매우 높음.

3. 연구개발결과에 대한 활용가능성

■ 등급 : (**아주우수**, 우수, 보통, 미흡, 불량)

본 연구 개발 결과는 가축분뇨 배출시설, 공동자원화시설, 경종농가 등 산업 현장에 바로 적용 가능한 기술로써, 본 연구기간동안의 운영 Know-how, 사업화 및 기술이전 실적을 토대로 충분히 활용 가능성이 있음.

4. 연구개발 수행노력의 성실도

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

총 연구기간동안 주관기관 및 협동기관이 협력하여 성실하게 연구개발을 수행하였음.

5. 공개발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급 : (아주우수, **우수**, 보통, 미흡, 불량)

총 연구기간의 실적 목표인 특허 2건, SCI 논문 2건, 비 SCI 논문 4건을 모두 달성하였음.

II. 연구목표 달성도

<주관기관 : 비케이환경종합건설(주)>

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
국내 가축분뇨 성상이 흡사한 외국의 사례 자료 정보 수집	5	100	
자동 투입 호퍼 및 원통 수평형 고속발효기 제작 도면 설계	10	100	
자동투입호퍼 및 원통수평형 고속발효기 기자재 선정 및 제작	10	100	
원통수평형 발효조 body 보온시스템구축(발효열 손실 방지 및 외기온도 차단설비 구축을 위한 자재선정)	10	100	
기자재 보완 및 설계보완 후 최종 검증된 고속발효기 구축	5	100	
발효퇴비를 투입구로 재순환될 수 있는 시스템 구축	5	100	
부숙퇴비 내 협착물을 제거할 수 있는 선별 시스템 개발	5	100	
부숙퇴비 반출구에서 배출되는 고온열을 포집하여 원료투입구로 재이용할 수 있는 시스템 개발	10	100	
고속발효기 내 발생된 습윤가스 중 수분을 제거한 건조가스 생산 시스템 개발(heating recovery)	10	100	
고속발효기 내 발생된 복합악취를 미세 기포를 이용한 1차 제어 세정식 개발	5	100	
돈분 발생량 변동에 증설설비 및 이동설치가 편리한 조립식 Body system 개발 및 개선	5	100	
원형 매시 선별체 개발에 대한 연구	5	100	
발효기내 마감재 개발과 스크류바 설계 제작	5	100	
1단과 3단 시설에 대한 악취제어 SYSTEM 개발	10	100	
합계	100점	100	

<협동기관 1 : 경상대학교 산학협력단>

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
과거 국내 수출·입 되는 톱밥, 왕겨 현황 DB 구축	5	100	
톱밥과 왕겨의 경제성 분석을 통한 수입 타당성 검증	20	100	
발효 공정 시 30%이상 경제적 절감할 수 있는 수분조절제 선정	15	100	
톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등)의 특성을 이용한 수분조절제의 성능검증 및 선정	10	100	
완숙퇴비 일부를 수분조절제로 사용하여 1차 발효 공정으로 RECYCCLE 함으로써 퇴비상산비 30% 절감	10	100	
원활한 공급을 다양화 하기 위해 우리나라 수목을 선정하고 Wood Block의 성형을 통한 공극개선제 개발	5	100	
커피생산 부산물(은피)을 이용한 퇴비생산비용 경제성 분석 및 화학적 분석	5	100	
대체 수분조절제의 경제성 분석 및 퇴비화 시스템 구축	10	100	
대체 수분조절제의 경종농가 적용성 평가	10	100	
대체제로 가능한 수분조절제들에 대한 분석 요망	5	100	
톱밥, 왕겨, 우드블럭(소나무, 참나무 등)의 특성 분석	5	100	
합계	100점	100	

<협동기관 2 : 부산가톨릭대학교 산학협력단>

세부연구목표 (연구계획서상의 목표)	비중 (%)	달성도 (%)	자체평가
현재 설치되어 가동 중인 국내 가축분뇨 퇴비화 시스템에서 발생하는 공기오염물질(악취, 분진, 부유 미생물)의 발생 패턴 규명을 위한 현장 조사	15	100	
본 연구를 통해 개발될 고 수분 가축분뇨 고속 퇴비화 공정에서 발생하는 공기오염물질(악취, 분진, 부유미생물)의 발생 농도 및 배출 계수 관련 선행 연구자료 고찰	5	100	
본 연구를 통해 개발될 다기능 수분 조절제의 유형 및 투입 조건에 따른 공기오염물질(악취, 분진, 부유미생물)의 발생 농도 관련 예비 조사	10	100	
투입 수분조절제 조성에 따른 가축분뇨 고속 퇴비화시 배출되는 공기오염물질의 발생 양상 현장 평가	10	100	
원통형 고속 퇴비화 시스템 운용에 따른 작업장 및 부지경계선에서의 작업 환경 측정 평가	15	100	
부지경계선 기준으로 암모니아 농도를 1ppm 이하로 배출하기 위한 악취 제거 메커니즘 제안	20	100	
공기오염물질의 발생 패턴 현장 평가	15	100	
공기오염물질(악취, 분진, 부유 미생물) 제어 효율 평가	5	100	
유형별 주변 환경 관리대상 우선 순위 선정	5	100	
합계	100점	100	

III. 종합의견

1. 연구개발결과에 대한 종합의견

- 총 3차년에 걸친 연구기간동안 주관기관과 협동기관의 유기적인 연계와 연구자들의 성실한 태도로 연구개발 목표 대비 정량적 및 정성적 실적을 달성하여 우수한 연구성과를 확보하였음.

2. 평가시 고려할 사항 또는 요구사항

- 본 연구과제 개발의 결과는 기존 퇴비화 사업장, 가축분뇨 배출시설, 경종농가 등에 사업화로 활용 및 파급효과가 크다는 것과 가축분뇨 외에도 폐사축 등과 같은 다양한 원료에 대해서도 고속 퇴비화가 가능하여 기술적, 환경적, 경제적 효과가 매우 크다는 점을 평가에 반영을 요구함.

3. 연구결과의 활용방안 및 향후조치에 대한 의견

- 본 연구결과는 공정 개선 등을 통해 소비자의 니즈에 부합하는 제품화로 사업화를 실시할 것이며, 지속적인 연구개발 결과에 대한 특허등록, 논문(SCI 및 비 SCI)개제 등으로 기술에 대한 학문적 성과 및 검증을 하고자 함.

IV. 보안성 검토

o 연구책임자의 보안성 검토의견, 연구기관 자체의 보안성 검토결과를 기재함

※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성함.

1. 연구책임자의 의견

--

2. 연구기관 자체의 검토결과

--

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농생명산업기술 개발사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.