

완결과제 최종보고서

일반과제(○), 보안과제()

(과제번호 : PJ008508)

무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발

(Improvement of ventilation system in an enclosed livestock facilities and development of air purification technology)

미륭이씨오 주식회사

연구수행기간

2012. 02. 01. ~ 2016. 12. 31.

농 촌 진 흥 청

제 출 문

농촌진흥청장 귀하

본 보고서를 “무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발에 관한 연구”(개발기간 2012.02.01.~2016.12.31.) 과제의 최종보고서로 제출합니다.

제1세부연구과제 : 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발

제1협동연구과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부냄새 유출방지 필터링 기술 개발

제2협동연구과제 : 무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발

2017. (02. 28.

제1세부연구기관명 : 미륭이씨오주식회사

제1세부연구책임자 : 장동룡

참여연구원 : 장동룡, 현성두

제1협동연구기관명 : 국립축산과학원

제1협동연구책임자 : 황옥화

참여연구원 : 황옥화, 조성백, 양승학

제2협동연구기관명 : 국립축산과학원

제2협동연구책임자 : 황옥화

참여연구원 : 황옥화, 조성백, 한덕우, 이상룡, 곽정훈, 최희천

주관연구책임자 : 장동룡

주관연구기관장 : 미륭이씨오(주) 대표이사 장동룡

직인

농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정 제51조에 따라 보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제번호	PJ008508		연구기간	2012.02.01-2016.12.31
연구사업명	단위사업명	농업공동연구		
	세부사업명	친환경안전농축산물 생산기술개발		
	내역사업명	가축질병 예방기술개발		
연구과제명	주관과제명	무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기정화기술 개발		
	세부(협동) 과제명	(1세부) 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기정화 기술 개발		
		(1협동) 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부냄새 유출방지 필터링 기술 개발		
		(2협동) 무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환경시스템 기술 개발		
연구책임자	구분	연구기관	소속	성명
	1세부	미륭이씨오 주식회사	미륭이씨오 주식회사	장동룡
	1협동	국립축산과학원	축산환경과	황옥화
	2협동	국립축산과학원	축산환경과	황옥화
총 연구기간 참여 연구원 수	총: 8명 내부: 6명 외부: 2명	총 연구개발비	정부: 900,000천원 민간: 166,700천원 계: 1,066,700천원	
위탁연구기관명 및 연구책임자	-	참여기업명	미륭이씨오주식회사	
국제공동연구	상대국명 : -	상대국 연구기관명 : -		
요약 :	환경오염 방지 및 에너지저감 기술이 결합된 무창 축사 공기정화시스템 개발		보고서 면수 : 157	

<제1세부과제:무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

<국문요약문>

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무창축사에 적용 가능한 공기정화시스템의 저온플라즈마공법을 활용한 연구개발 내용으로 양성코로나방전의 화학적 활성화반응을 이용한 가축생체무해 공기정화적용기술 연구, 국내 적용 가능 외부 공기 유입 필터링 기술 제시, 축사 내부 최대 및 최소 환기량에 따른 공기정화 순환시스템 연구, 축사 내외부 냄새 제거 및 미생물 사멸정도 시험, 무창축사 최소 환기 유지기간 효율적 순환시스템 적용을 위한 축사 내부구조에 따른 공기정화 자동화 기술 적용, 냄새 및 미생물 등 무창계사 내 오염물질 제거 공기정화 시스템, 설계 및 제작, 시험농가 설치, 무창계사 시험농가 공기정화시스템 성능시험 및 운전조건 최적화, 장치 표준화 설계작업을 연차적으로 수행하여 무창 축사에 적용되는 환경오염 방지 및 에너지 저감기술이 결합된 공기정화 시스템을 개발하는데 목적이 있다. 				
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플라즈마 반응기에서 충진물 중 글래스울과 지르코니아는 밝은 갈색 고체부산물의 퇴적과 무관하게 10 h 운전 동안 안정된 분해성능을 유지하였다. 배오존 축매 분해 공정에서 이산화망간 축매의 경우는 약 0.36~0.72 s 체류시간이내에 99% 이상의 오존을 분해할 수 있고 상온에서 작동이 가능하다. ○ 무창축사 환경에 적합한 저온플라즈마 공기정화시스템을 중앙처리방식으로 설계 및 제작, 현장 설치하였다. 배출 풍량은 50~60CMM이며 처리 전후의 악취 저감효율은 암모니아(NH_3)는 최대 52.87%, 황화수소(H_2S) 최대 57.93% 저감 효과를 나타냈다. ○ 저온플라즈마 축매 지지체로 다중채널 다공질 세라믹 막내에서 저온 플라즈마를 발생시킬 수 있는 기술을 확보하고, 플라즈마 효과와 광축매 효과가 복합적으로 악취물질 제거에 활용되도록 하였다. ○ 저온플라즈마시스템 중앙처리방식을 이용한 부유미생물 제거효율 평가에서 미생물 사멸효과는 부유세균 99.8%, 부유진균 99.7% 살균 효과 나타냈다. ○ 악취저감 공기정화 장치 신뢰성 확보를 위하여 Prototype 6m³ /h의 유전체 배리어방전식 반응기 병렬 연결하여 대용량화 구현하였다. ○ 무창돈사 최소최대 환기량 처리에 적합한 저온플라즈마 공기정화시스템 개별처리방식을 설계 제작 및 현장 설치하였다. 처리 풍량 50CMM에서 운전 전후의 악취저감 효과는 암모니아(NH_3)는 최대 47.8% 저감효과를 나타냈으며 황화수소(H_2S)는 변화 없었다. ○ 세척수 살균용 저온플라즈마장치를 설계 제작 설치 운전하였다. 세척수 살균장치는 COD, 부유물질, 총대장균 처리효율이 각각 53.9%, 69.5%, 98.1% 살균효과 나타냈다. ○ 무창돈사 공기정화시스템 개별처리방식을 설계 제작 설치 운전하여 공정별로 악취물질 농도를 측정하였다. 처리 풍량 9.5CMM에서 NH_3 제거효율은 플라즈마처리 약 27.3%, 습식분무처리 약 33.5% 저감효과 나타냈다. ○ 무창계사 시험농가 공기정화시스템 개별처리방식을 설계 제작 설치 운전하여 공정별로 악취물질 농도를 측정하였다. 처리 풍량 2.93CMM에서 NH_3 제거효율은 플라즈마처리 약 36.67%, 습식분무처리 약 31.13% 저감 효과 나타냈으며, UV 광축매필터와 카본필터 처리에서는 운전 전·후 차이가 없었다. ○ 저온플라즈마시스템 기계식 전자식 고전압발생장치 물리적 특성비교 분석하였으며 전자식 고압발생기가 4.8배 이상의 플라즈마 발생량을 유출할 수 있었다. ○ 플라즈마(코로나) 방전 시 생성되는 화학적 활성종(O, OH, H_2O_2, O_3)과 광축매제의 유기성 무기성 악취를 처리하는 기술적 이론을 제시하였다. ○ 무창축사 적용가능한 공기정화시스템으로 중앙처리장식 개별처리방식의 표준화 설계도면을 각각 작성하였다. 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무창축사 악취저감시스템 현장실증사업으로 축산농가별로 제품의 설계 제작 운전하여 효과를 다양하게 검증하였으며 중앙처리방식 개별처리방식 별로 각각의 표준화 설계도면을 작성하여 현장 적용이 가능하도록 하였다. ○ 대량생산에 따른 저렴한 제품단가와 기술적 완성도 높은 제품 설치 운영으로 축산업 발전에 기여함과 축산업 경쟁력 확보 효과가 기대된다. ○ 악취저감시스템의 미생물 사멸효과는 부유세균 99.8%, 부유진균 99.7% 효과 입증으로 유관기관과 상호보완적인 협력연구개발을 실시하여 가축 전염성 질병으로부터 축산산업을 보호할 필요성이 있다. 				
중심어	무창축사	악취	플라즈마	공기정화	습식설비

〈 Summary 〉

Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigation of the air purification for livestock using chemical reactions activated by positive corona discharge ○ Application of external air inflow filtering technology to domestic ○ Investigation of the circulation system for air purification based on the maximum and minimum amounts of ventilation inside a livestock house ○ Deodorization and microbial mortality test from inside and outside of the livestock house ○ Application of auto air purification technology for an efficient circulation system of a windowless livestock house ○ Design and production of air purification system for removal of contaminants from a windowless henhouse, and performance test and optimization of the system. 								
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Development and performance evaluation of bench-scale air purification system using positive corona discharge and ozonation method ○ Field installation and verification of odor reduction before and after treatment (Central processing method, air volume: 50–60 CMM, odor reduction efficiency: NH3(52.87%), H2S(57.93%)) ○ Evaluation of removal efficiency of airborne bacteria, endotoxin and dust in the livestock house (sterilization effects: airborne bacteria (99%), airborne fungus (99.7%)) ○ Optimum operating conditions and performance evaluation of non-thermal plasma/ photo-catalysis system ○ Verification of non-thermal plasma air purification system applied to a windowless pig house (odor reduction efficiency: NH3(47.8%)) ○ Verification of air purification system applied to a windowless a henhouses (odor reduction efficiency: NH3(36.67%)) ○ Performance evaluation of a non-thermal plasma washing water sterilizer (reduction efficiency: COD (53.9%), dust (69.5%), E. coli (98.1%)) ○ Standardized design and drawing of the air purification system 								
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Applicable to the field of odor reduction system through the field demonstration project ○ It contributes to the development of the livestock industry with the technically perfect product installation and operation, and secures the competitiveness of livestock industry ○ Protecting the livestock Industry by reducing odors and infectious diseases 								
Keywords	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">windowless livestock house</td><td style="width: 25%;">odor</td><td style="width: 25%;">plasma</td><td style="width: 25%;">air purificat ion</td></tr> <tr> <td></td><td></td><td></td><td>wet station</td></tr> </table>	windowless livestock house	odor	plasma	air purificat ion				wet station
windowless livestock house	odor	plasma	air purificat ion						
			wet station						

<1협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>
 < 국 문 요 약 문 >

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무창돈사(육성 · 비육돈사, 분만돈사) 환기시스템 조사 ○ 돈사 입기 및 배기시설에 이산화염소 가스 살포에 의한 냄새 및 먼지 감소 효과 평가 ○ 무창계사(육계, 산란계) 사육환경 실태조사 ○ 무창계사 외부 냄새저감 장치 및 내부 바닥 살포용 냄새저감 물질의 냄새 저감 효능 현장평가
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무창돈사(육성 · 비육돈사, 분만돈사) 환기시스템 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 육성 · 비육돈사 : 주로 측벽입기 후 측벽배기 시스템 임 - 분만돈사 : 주로 측벽입기 후 측벽 또는 지붕배기 시스템 임 ○ 돈사 입기 및 배기시설에 이산화염소 가스 살포에 의한 냄새 및 먼지 감소 효과 평가 <ul style="list-style-type: none"> - 돈사에서 배출되는 공기 중에 이산화염소 가스 살포 시 부유진균 및 부유 세균의 농도가 각각 93%와 87% 감소됨 ○ 무창계사(육계, 산란계) 사육환경 실태조사 <ul style="list-style-type: none"> - 공통점 : 무창계사, 터널식-지붕배기식의 기계식 환기시스템, 계사외부 방진벽으로 냄새 휘산 차단함 - 차이점: 육계는 왕겨깔짚 바닥계사에, 산란계는 케이지에 사육됨 ○ 무창계사 외부 냄새저감 장치 및 내부 바닥 살포용 냄새저감 물질의 냄새 저감 효능 현장평가 <ul style="list-style-type: none"> - 저온플라즈마 냄새저감 장치는 무창 계사에서 배출되는 암모니아 가스 저감에 효과가 없었지만, - 무창계사 내부 냄새저감 물질로 황산알루미늄을 살포하였을 때 암모니아 농도가 새깔짚 계사 33% 및 재사용 깔짚 계사 93% 감소됨
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 축사 환경자료의 확보를 통한 응용기술 접목 가능 ○ 축사 냄새저감 기술의 농가보급으로 냄새민원 감소 및 축산업 경쟁력 강화
중심어	무창돈사 무창계사 냄새 분뇨 깔짚

〈 Summary 〉

Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigate of ventilation system in windowless pig house ○ Evaluate of the effect of chlorine dioxide gas on reducing odor and dust from pig house ○ Investigate of feeding and growing environment in windowless poultry house ○ Evaluate of the effect of equipment and material on reducing odor from windowless poultry house 					
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigate of ventilation system in windowless pig house <ul style="list-style-type: none"> - Grower and finisher : air passes through side wall - Sower : air passes through side wall or duct on the roof ○ Evaluate of the effect of chlorine dioxide gas on reducing odor and dust from pig house <ul style="list-style-type: none"> - Concentrations of airborne fungus and bacteria were reduced 93% and 87% after the chlorine dioxide gas spraying ○ Investigate of feeding and growing environment in windowless poultry house <ul style="list-style-type: none"> - Common : windowless house, ventilation system(air passes through tunnel or roof), dust layer to reducing odor - Difference : (broiler)husk bedding, (laying hens)cage housing ○ Evaluate of the effect of equipment and material on reducing odor from windowless poultry house <ul style="list-style-type: none"> - Equipment on reducing odor by plasma process did not reduce the ammonia gas concentration - Concentration ammonia gas was reduced 33% from new litter and 93% from reused litter when aluminum sulfate was sprayed on the litter in windowless poultry house 					
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Development of application technology using collected data ○ Reducing odor complains and strengthening the competitiveness of livestock industry 					
Keywords	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">Windowless pig house</td> <td style="width: 20%;">Windowless poultry house</td> <td style="width: 20%;">Odor</td> <td style="width: 20%;">Manure</td> <td style="width: 20%;">Litter</td> </tr> </table>	Windowless pig house	Windowless poultry house	Odor	Manure	Litter
Windowless pig house	Windowless poultry house	Odor	Manure	Litter		

<2협동과제 : 무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

〈 국 문 요 약 문 〉

연구의 목적 및 내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 돈사 피트와 유사한 구조의 실험실 규모와 pilot 규모의 장치를 이용하여 공기 중 냄새저감제 처리에 의한 냄새저감 효과 평가 ○ 농가 규모의 barn scale 장치를 이용하여 양돈장 피트에서 배출되는 공기 중의 냄새저감제를 처리하여 효능 평가
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> ○ 돈사 피트에서 휘산되는 공기 중에 2% 구연산 용액을 살포하였을 때, 물 살포구에 비해 암모니아 농도가 78.4% 감소(실험실 규모) ○ 공기 중에 플라즈마 처리를 하였을 때, 대조구에 비해 휘발성 유기물 67%, 암모니아 7% 및 먼지 96% 감소(pilot 규모) ○ 돈사 피트에서 배출되는 공기 중에 이산화염소 용액을 살포하였을 때, 대조구에 비해 암모니아 23%, 황화수소 75%, 부유세균 68% 및 부유진균 66% 감소되었으며, 먼지 입자크기 지표인 PM2.5 21% 및 PM1.0 27% 감소
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 돈사에서 배출되는 공기 중에 냄새저감제를 살포함으로써 외부로 배출되는 공기 중의 냄새 저감
중심어	무창돈사 무창계사 냄새 분뇨 환기

〈 Summary 〉

Purpose& Contents	<ul style="list-style-type: none"> ○ Investigation of odor reducing agents for reducing odor in the exhaust air with the device for collecting air from slurry pit in pig house(lab and pilot scale). ○ Evaluation of the effect of odor reducing agent in air from slurry pit in pig house(barn scale). 					
Results	<ul style="list-style-type: none"> ○ The concentration of ammonia was more decrease by 2% citric acid solution than water when compared before and after the filter cleaning(lab scale) ○ The plasma treatment had lowest concentration of volatile organic compounds 67%, ammonia 7%, and dust 96% compared to control(pilot scale) ○ Experiment in a barn scale model were performed to the effect of odor reducing on two treatments(control, chlorine dioxide solution). The result showed that the levels of ammonia, hydrogen sulfide, airborne bacteria and airborne fungi were decreased at 23%, 75%, 68% and 66% compared to control, respectively. As well as that dust indicators of PM2.5 and PM1.0 were decreased at 21% and 27% compared to control, respectively. 					
Expected Contribution	<ul style="list-style-type: none"> ○ Controlling the amount of air ventilated from the pig house and utilizing the various odor reducing agents is helpful to abate odor emission to outside. 					
Keywords	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Windowless pig house</td><td style="width: 25%;">Windowless poultry house</td><td style="width: 25%;">Odor</td><td style="width: 25%;">Manure</td><td style="width: 25%;">Ventilation</td></tr> </table>	Windowless pig house	Windowless poultry house	Odor	Manure	Ventilation
Windowless pig house	Windowless poultry house	Odor	Manure	Ventilation		

〈 목 차 〉

제 1 장 연구개발과제의 개요	1
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 3 장 연구수행 내용 및 결과	12
제 4 장 목표달성을 및 관련분야에의 기여도	59
제 5 장 연구결과의 활용계획 등	106
제 6 장 연구과정에서 수집한 해외과학기술정보	112
제 7 장 연구개발성과의 보안등급	114
제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비현황 ..	114
제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적 ..	115
제10장 연구개발과제의 대표적 연구실적	116
제11장 기타사항	121
제12장 첨부자료	128
제13장 참고문헌	154

제 1 장 연구개발과제의 개요

<제1세부과제 : 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

제1절 연구 개발 목적

축산농가의 기업화와 농축산물 식품에 대한 소비자의 요구가 질적인 우수성에서 식품의 안전성 우선으로 빠르게 전환되고 있다. 또한, 수입 공급되는 농축산물이 FTA, DDA 등으로 개방이 점차 확대되면 친환경 수입 농축산물을 능가하는 안전한 농축산물을 생산·공급할 수 있는 축산산업 경쟁력 확보가 필요한 실정이다. 안전한 먹을거리에 대한 소비자 요구에 부응하는 친환경 축산체계 확립으로 오염물질의 축사 내 유입방지를 통한 가축 안전성 확보 및 축사 내 냄새 감소 및 외부 유출 방지로 환경 친화형 축산 요구 증가하고 있다. 국내외적으로 강화되고 있는 친환경축산, 동물복지 등을 동시에 고려한 사육환경 개선과 축사에서 유발되는 축산 악취를 경제적이고 효율적으로 처리할 수 있는 환경오염방지시설 연구개발 시급하다. 국내의 축산산업 현황으로 축산물 소비가 매년 지속적으로 증가하여 농가의 사육두수 증가에 따른 관리인력 및 친환경적인 축산시설이 부족한 상태이다. 축산농가의 대형화 현상으로 구제역, 조류 독감, 광우병 등 국내외 유동인구 증가 및 물류확대 등에 가축 전염병 감염경로의 다양화로 가축 질병 감염으로 인한 농가 및 국가적 손실이 위험수위에 근접하고 있다. 이를 해소할 수 있는 경제성과 실용성을 갖춘 기술 개발이 시급하다. 축산시설 대규모로 축사 및 축산 분뇨처리 시설 혐오화로 축산배척 분위기가 확산되고 있는 실정이고 기존 축사에 대한 이전을 강하게 요구하고 있으며 축산시설 이전 시에는 법에도 없는 주민 동의서를 행정기관에서 요구하고 있어 시설 이전이 매우 어려운 실정이며, 축산시설 확장 시에도 주변 주민의 반대에 부딪쳐 별도의 조치를 하여야 하는 실정이다. 냄새민원 증가는 2003년 이후 연평균 14.5% 증가하고 있고 축산관련 냄새는 약 7%로 해마다 지속적인 증가하고 있으며 축종별로는 양돈 냄새민원이 약 54%로 대부분을 차지하고 있다. 선진 외국의 축산시설과 일반주거시설의 이격거리를 분석하면 호주 3.3km에 비하여 한국은 1km 이내에서 악취 민원이 59.4% 발생하고 있다. 정부 및 축산농가에서 축산악취를 줄이기 위해서 많은 지원과 노력을 하고 있으나 적절한 악취저감시설이 없으며 초기 설치비용으로 약 5천만원 ~ 1억원/1동 소요로 농가보급에 어려움 있다. 지속적인 축산환경 개선 사업으로 개방형 축사에서 무창축사로 시설계량이 이루어지면서 무창축사에 적용되는 환경오염 방지 및 에너지저감기술이 결합된 공기정화 시스템개발에 있다.

제2절 연구 개발의 필요성

축산산업의 사육생산과정이 All In & All Out System 적용으로 집약화하고 생략화시켜 축사 내 작업의 질과 효율 개선 필요로 하는 무창축사 공급 확대로 축산 악취를 효율적으로 저감할 수 있는 공기정화기술 필요성이 확대되고 있다.

- 축사 실태조사 결과

구 분	돼 지	닭
축사 형태	원치돈사: 77.2% 무창돈사: 51.3%	원치계사: 47.7% 간이계사: 19.8% 무창계사: 19.0%
지붕 재질	스레트: 51.2% 판넬: 46.1%	보온덮개: 28.0% 판넬: 19.0% 등
외벽체 종류	판넬: 41.7% 블록: 21.9%	-
사육형태	일괄사육: 80.0% 비육돈 생산: 13.1% 자돈까지 생산: 6.2%	계열생산: 49.3% 개별생산: 47.4%
분뇨처리 형태	슬러리: 72.3% 스크레파: 38.5%	-
올인-올아웃 가능여부	가능: 58.4% 불가능: 65.0%	-
환기방식	자연식기계식혼합형: 53.1% 원치자연식: 46.1% 기계식무창: 44.1%	원치자연식: 40.5% 자연식기계식혼합형: 39.8%
집란 방식	-	자동집란: 49.5% 자동집, 선란: 25.9%

- 신·개축 희망여부

구 분	한, 육우	젖소	돼지	닭
신·개축 의사	신축희망: 28.3% 개축희망: 14.2%	신축희망: 30.1% 개축희망: 18.5%	신축희망: 26.8% 개축희망: 36.0%	신축희망: 21.2% 개축희망: 22.4%
신·개축 장소	현재장소를 희망			
신·개축 사유	생산성 향상, 축사 및 설비 노후화 등			
신·개축 희망 시설	1.전체적인 개선 2.지붕 및 급이시설	1.전체적인 개선 2.착유기	1.전체적인 개선 2.환경시설	1.전체적인 개선 2.환경시설
신·개축 희망 축사 형태	톱밥우사: 88.4% 계류+톱밥운동장: 8.6%	톱밥우사: 81.0% 계류+톱밥운동장: 16.8%	무창돈사: 67.2% 원치돈사: 44.0%	무창계사: 54.5% 원치계사: 26.9%

무창축사 시설의 최소 환기 기간 중 내부순환 공기 정화기술로 공기 중의 세균 및 바이러스 제거를 통한 사육환경 개선으로 축산물 품질 확보와 가축 생체 무해한 살균기술 개발 축산물 수요 급증에 따른 식품 안정성 기술 개발이 절실하다. 축사 최소 환기 유지기간 중 내부공기 정화 순환 시스템 개발로 에너지 절감을 통한 운영비용 절약, 사육관리자의 건강관리 및 쾌적도 향상, 축사 내 냄새 유발물질 감지 농도 변화에 따른 공기 정화 자동화 연구 필요하다.

제3절 연구 개발 범위

분야	필요 연구 분야
축사 환경시스템 및 환경오염 방지	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양성코로나 방전의 화학적 활성화 반응을 이용한 가축 생체무해 공기 정화적용 기술 연구(배오존 기술개발) ○ 국내 적용 가능 외부 공기 유입 필터링 기술 제시 ○ 축사 내부 최대 및 최소 환기량에 따른 공기정화 순환시스템 연구 ○ 축사 내외부 냄새제거 및 미생물 사멸정도 시험 ○ 무창축사 최소 환기 유지기간 효율적 순환시스템 적용을 위한 축사 내부구조(바닥, 천정, 측벽)에 따른 공기정화 자동화 기술 적용 ○ 냄새 및 미생물 등 무창계사 내 오염물질 제거 공기정화 시스템 설계 및 제작, 시험농가 설치 ○ 무창계사 시험 농가 공기정화 시스템 성능시험 및 운전조건 최적화 ○ 장치 표준화 설계 <p>환경오염 방지 및 에너지 저감 기술이 결합된 무창축사 공기정화 시스템 개발</p>

<1협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

제 1 절 연구 개발 목적

축산냄새는 축사 및 가축분뇨 퇴·액비화 시설에서 발생되는 기체 상태의 물질로 사람의 코를 자극하여 불쾌감과 혐오감을 준다. 국내 냄새민원은 2005년 4,302건에서 2015년 15,573건으로 매년 약 7%씩 증가하였으며, 이 중 축산시설의 냄새민원은 2015년 4,323건으로 전체 냄새민원의 72%를 차지하였다(오, 2015). 축산냄새는 소, 돼지, 닭을 사육하는 농장 중 특히 양돈장에서 강하며 양계장이 다음으로 강하다. 축산냄새는 지역주민의 삶의 질을 떨어뜨리고 축산농장이 혐오시설로 인식될 수 있기 때문에 반드시 저감되어야 한다. 축산냄새를 저감하기 위한 기술은 가축사료에 첨가하는 사료첨가제, 축사 내·외부에 살포하는 냄새저감제 및 축사 외부에 설치하는 냄새저감장치로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 양돈장 및 양계장 내부의 냄새가 유출되는 것을 방지하기 위하여 축사 내·외부의 냄새저감 기술을 개발하고자 수행되었다.

제 2 절 연구 개발의 필요성

농림축산식품부에서는 가축 분뇨 및 냄새로 인한 환경 부담을 최소화하고 환경 친화적 생산기반을 조성하기 위하여 지속가능한 친환경 축산종합대책을 수립하였다(농림축산식품부, 2014). 정부, 축산농가 및 소비자의 역할부담 및 협력체계를 강화하여 축산업을 육성하고자 하였다. 축산업은 가축분뇨 처리 및 냄새로 인해 환경에 부담을 주는 산업으로 인식되고 있으며 이에 따른 환경관련 규제가 지속적으로 증가되고 있다. 2012년 악취방지법이 개정되었으며, 냄

새배출 시설 관리를 위한 냄새물질을 2005년 12종에서 2010년 22종으로 확대하였다(환경부, 2010). 또한 2011년 가축사육 제한구역을 지정하여 가축사육시설에서 발생되는 냄새민원을 방지하기 위하여 주변 마을과 일정거리 이내에는 가축사육을 제한하였다(환경부, 2011). 축산냄새는 지역사회 뿐만 아니라 축산업을 유지하기 위해서 반드시 해결되어야 한다.

축산냄새는 소, 돼지, 닭을 사육하는 농장 중에서 양돈장이 가장 강하며 양돈장의 냄새민원은 전체 축산냄새 민원 중 59.4%를 차지할 정도로 심각하다. 양돈장의 냄새 원인인 돼지 분뇨는 가축분뇨발생량(46.5 백만톤) 중 39.7%(18.4 백만톤)를 차지하며 돼지 사육두수 증가로 인해 발생량이 증가되는 추세이다(농림축산식품부, 2015). 양돈장에서 발생되는 냄새물질은 주로 황화합물류, 휘발성지방산류, 폐놀류, 인돌류, 암모니아 및 아민류로 분류된다. 돼지 분뇨에서 발생되는 주요 냄새물질은 돼지 대장에서 40종 이상이 생성되고 분뇨를 처리하거나 저장하는 동안 10종 이상이 생성된다고 한다(국립축산과학원, 2015). 1990년대 양돈 농가는 분뇨처리비용을 줄이기 위해서 피트로 된 돈사를 건축하였다. 국내 양돈장의 돈사 중 72%가 분뇨를 저장하는 슬러리 돈사형태이다. 돈사 피트에 분뇨의 저장기간은 지역 및 농가별로 다양한데, 분뇨 저장기간이 길어질수록 냄새물질의 농도가 증가한다(황 등, 2016). 양돈장 다음으로 냄새가 심각한 곳은 양계장이다. 과거에는 가금사육의 규모가 적어서 분뇨 및 냄새에 대한 문제가 없었지만, 최근에는 대규모 사육으로 냄새문제가 제시되고 있다. 양계장의 주요 냄새물질은 암모니아이며 계분에 포함된 질소 성분이 깔짚 내 미생물에 의해 암모니움(NH_4^+)으로 전환되고 계사 내부의 온·습도 변화에 따라 암모니아(NH_3)로 휘산된다(Moore 등, 1995). 계분이 포함된 육계사 깔짚은 육계 출하 후 교체를 해야 하지만 깔짚 구입비용이 소요되고 교체 작업이 번거로워 한번 사용한 깔짚을 2~3년간 계속해서 사용하고 있다. 깔짚 재사용으로 인해 계사 내부에 암모니아 가스가 계속 발생될 수 있으며 육계 생산성에 영향을 줄 수 있다고 한다(남, 2004).

축산냄새 저감을 위한 기술은 냄새물질이 생성되기 전에 제어하는 방법과 생성된 냄새물질의 휘산을 차단하는 방법으로 나눌 수 있다. 냄새물질의 생성을 제어하는 방법은 가축의 사료를 조절하여 냄새물질의 배설을 줄이고 축사 내부에 저장된 분뇨의 발효환경을 개선하여 냄새물질의 생성을 줄이는 것이다. 생성된 냄새물질의 휘산을 차단하는 방법은 축사 내·외부에 액상의 냄새저감제를 살포하거나 축사 외부에 냄새저감장치를 설치하여 냄새물질이 축사 외부로 확산되는 것을 방지하는 것이다. 축산농가의 냄새저감 효과를 높이기 위해서는 축산농가의 축사형태, 분뇨관리방법 및 경제적인 문제를 고려하여 냄새저감 방법을 도입하여야 할 것이다. 축산냄새는 유해물질로 작용하여 가축의 건강을 해칠 수 있으며 생산성에 영향을 줄 수 있다. 또한 축산농가 주변으로 냄새민원이 증가되면 축산업의 운영이 어려워진다. 축산냄새는 축산농가 뿐만 아니라 지역주민의 삶의 질을 향상시키기 위해서 반드시 저감되어야 하며 축산농가에서 적용할 수 있는 경제적이고 안전한 냄새저감 기술의 개발이 필요하다.

제 3 절 연구 개발 범위

농림축산식품부는 가축의 사육환경을 개선하여 생산성을 향상하고 축산업 경쟁력을 제고하기 위하여 축사시설현대화 사업을 추진하고 있으며(농림축산식품부, 2016), 이로 인해 축산농가는 기존의 축사를 무창 형태로 개보수하고 있다. 본 연구에서는 무창축사에서 발생되는 냄새를 저감하기 위한 방법을 개발하고자 수행되었으며, 양돈장과 양계장으로 구분하여 연구를 추진하였다. 양돈장의 경우, 1) 돼지 성장단계별로 구분하여 무창돈사의 구조 및 환기형태를

조사하고 2) 무창돈사의 냄새가 외부로 확산되는 것을 방지하기 위한 이산화염소 분무장치를 개발하고 3) 무창돈사 내·외부에 이산화염소 분무에 의한 냄새저감 효과를 분석하였다. 양계장의 경우, 1) 육계와 산란계로 구분하여 무창계사의 구조, 환기형태 및 분뇨처리형태를 조사하고, 이를 기초로 하여 무창계사 내·외부 냄새저감을 위한 기술을 개발하였으며 2) 양계농가를 대상으로 무창계사 내·외부 냄새저감 기술에 대한 현장시험을 수행하여 냄새저감 효능을 평가함으로써 양돈장 및 양계장의 냄새를 저감하기 위한 기술을 개발하고자 수행하였다.

<2협동과제 : 무창축사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

제 1 절 연구 개발 목적

본 연구의 목적은 무창돈사의 피트 내 공기를 포집하여 외부로 배출하고 배출된 공기 중의 냄새물질을 저감함으로써 돈사에서 배출되는 냄새를 줄이기 위한 시스템을 개발하고자 수행되었다. 이를 위하여 1) 무창돈사의 피트 구조를 파악하여 실험실 규모의 장치에서 외부로 배출되는 공기에 냄새저감제 처리에 의한 냄새저감 효과를 평가하며, 2) pilot scale의 장치를 개발하여 냄새저감제 처리에 의한 냄새저감 효과를 평가하고, 3) 농가 규모의 barn scale 장치를 개발하여 양돈장의 피트에서 배출되는 공기 중에 냄새저감제를 처리하여 효능을 평가함으로써 돈사 외부로 배출되는 냄새를 저감하기 위한 기술을 개발하고자 수행하였다.

제 2 절 연구 개발의 필요성

축산업이 농촌의 환경을 오염시킨다는 부정적인 영향에 대하여 관심과 우려가 증가하고 있다. 또한 안전한 먹을거리에 대한 소비자의 요구에 부응하기 위해서는 반드시 환경 친화형의 축산 체계 확립이 필요하다. 가축에게 급여한 사료의 영양소가 분과 뇨로 배설되면 축사 내에서 혐기발효되어 냄새물질이 생성된다(Spoelstra, 1977; Williams과 Evans, 1981). 2005년도에 냄새방지법(냄새방지법, 2005)이 개정되어 축산시설에서 배설되는 냄새를 규제하기 시작하면서 축사 내 냄새저감 및 냄새의 외부유출 방지에 대한 요구가 증대되고 있다. 또한 국내외적으로 친환경 축산 및 동물복지 등이 강화되어 가축의 안전성 확보에 대한 환경 개선책이 필요하다. 축산시설에서 발생되는 냄새민원은 2003년 이후 해마다 7%씩 증가하고 있으며, 축종별로는 양돈장 냄새민원이 54%로 가장 높다(환경부, 2007). 양돈장의 냄새민원이 많은 이유는 전체 돈사의 77.2%가 원치커던 방식이며, 72.3%가 슬러리 돈사로 되어있어 지속적으로 냄새가 외부로 배출되고 있다(한국축산경제연구원, 2007). 이런 이유로 농가에서는 무창축사의 신축 및 개축을 확대하고 있으며 축사형태에 적합한 공기정화 기술을 필요로 하고 있다.

제 3 절 연구 개발 범위

무창돈사와 유사한 실험실 및 pilot 규모의 장치에서 외부로 배출되는 공기에 냄새저감제 처리에 의한 냄새저감 효과를 평가하고, 농가 규모의 barn scale 장치를 개발하여 양돈장의 피트에서 배출되는 공기 중에 냄새저감제를 처리하여 효능을 평가하였다.

제 2 장 국 · 내외 기술개발 현황

<제1세부과제 : 무창축사 내 · 외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

제 1절 국내외 기술개발 현황

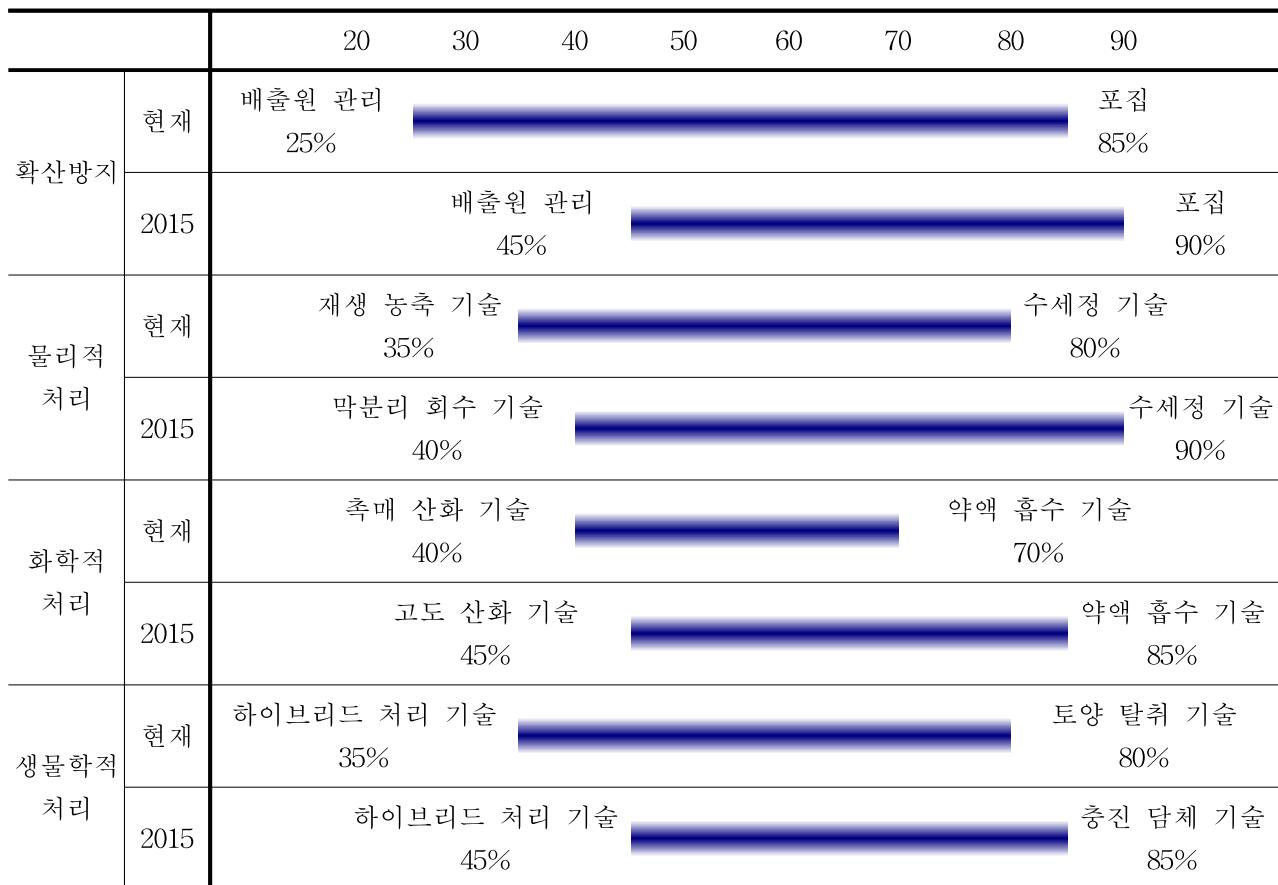
국내 냄새방지기술은 1990년대 이후 생활수준이 향상되면서 부분적으로 도입되고 있으며, 전통적인 대기오염 방지기술과 관련된 소수의 기술분야는 선진국과 경쟁이 가능한 수준이라 판단된다. 그러나 전반적인 냄새방지기술은, 기술 보급수준 및 도입속도가 매우 늦고 연구투자가 저조한 소규모 영세 산업구조를 탈피하지 못해, 일본 등의 선진국 수준에 비해 매우 낮은 30~80% 수준이다. 따라서 소수의 상용화 완료된 분야를 제외하고 첨단기술 분야는 매우 낙후되어 있어, 점차 기술개발 및 연구 투자를 증가시켜 국내 냄새방지기술 수준을 향상시키고 기술경쟁력을 확보가 필요하다.

1. 국내 연구현황

구 분	중 기 연 구 현 황 (2001~2005)	장 기 연 구 현 황 (2006~2010)
사육 환경 연구 개발	<ul style="list-style-type: none"> · 에너지 절약형 냉, 난방장치 개발 · 환기형태별 적정 환기시스템 개발 · 환경제어 자동화 시스템 개발 	<ul style="list-style-type: none"> · 축종별, 경영규모별 적정 기계화 모델 개발 · 동물복지 환경설정기준 제정 · 축사시설 투자환경 기준 정립
· 무창축사 환기시스템 정립 및 환기효율 평가 등		
환경 오염 방지 연구 개발	2009-2010	
	<ul style="list-style-type: none"> · 축사내외 환경제어를 통한 냄새저감 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 축산발생 냄새의 확산방지 - 축산냄새 저감을 위한 축사 환기시스템 개선 - 냄새저감 수세식 돈사 시스템 개발 · 축산냄새 저감종합기술 활용을 위한 연구 추진 ('09~'11) · 오존을 이용한 돈사 내 냄새저감 연구 ('00 축산원) · 돈사에서 냄새발생 특성과 농가실태조사 분석 ('03 축산원, 수원대) · 양돈장 냄새 실태조사 및 저감방안 연구 ('06 축산원, 진주산업대) · 냄새 저감형 육성 돈사 개발 ('08, 농과원) 	

연구현황 및 성과를 종합 분석하면 축사환경개선에 의한 식품 품질향상, 동물복지 및 에너지 절감 그리고 환경문제 해결이 결합된 통합형 환기시스템개발 필요하며 오존을 이용한 축사 배출가스 정화시스템의 경우 가축 무해정도의 농도로 오존발생 처리 시 살균효과 미비한 것으로 나타났다.

- 냄새방지기술 분야 국내 기술수준 평가



10여 년 전부터 축사시설에 대한 연구는 진행되어 왔으나, 축종별 환기연구는 부분적으로 시행되고 있으며 대부분이 돈사시설에 대한 연구가 이루어지고 있다. 돈사 및 개방식 계사의 환기시스템 개발, 개방형 돈사의 무창형 환기 리모델링 기술개발, 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 축사 환경 분석, 환절기 및 겨울철에 적합한 최적 환기시설 연구 등 축사시설에 대한 전문가가 부족한 실정으로 2-3개 대학교 및 농촌진흥청을 주축으로 축사 환경관리 연구 수행되고 있다.

2. 국외 기술 수준 및 시장 현황

구 분	연 구 현 황
연 구 내 용	<ul style="list-style-type: none"> • 시설형태별 가축 행동습성 분석 연구 • 저비용, 고품질 환경 보존형 축사시설 개발 • 정밀 생력관리용 시설 기계화 기술 개발 • 동물복지를 위한 시설, 관리기구 개선 연구

선진국에서는 지속 가능한 개발이라는 개념을 도입하고, 이를 촉진하기 위한 거시적 측면에서의 종합적인 냄새 방지 계획과 목표를 수립하고 있다. 뿐만 아니라 단순히 냄새방지 기술을 이용해 민원 등의 현안만을 해결하는 소극적 자세의 공익적 개념에서 탈피해, 냄새방지기술이 이윤을 창출할 수 있는 환경산업의 일환으로 성장하기에 이르렀다.

- 선진국의 냄새방지기술 개발 단계(미국)

개발 단계	개발 내용
사후처리기술(제1세대기술)	집진기술, 유해가스 및 악취 제거기술,
청정기술(제2세대기술)	저공해 생산공정기술, 저공해 원료사용기술, 저오염 무공해공정기술, 배출절감 대체원료기술
환경복원/재생기술(제3세대기술)	유해가스 및 악취 평가기술, 환경개선기술

- 가축사육장 및 하,폐수처리 시설 냄새 제거 적용 기술(미국)

<ul style="list-style-type: none"> • 냄새가 집중적으로 발생하는 곳에 covering. • 공기를 유입시켜 냄새가 회석될 수 있도록 폭기조 설치. • 슬러리, 혼탁액 폭기. • 냄새제어 미생물 주입. • 산화 미생물의 활성을 증강시키기 위한 화학물질 및 산화제 사용. 	<ul style="list-style-type: none"> • 황화합물 저감을 위한 금속염(염화철등) 사용 • 황화수소 증가로 인한 pH 변화를 막기 위해 완충 물질 사용. • 냄새제어를 위한 화학반응이 활발히 일어나게 하기 위한 효소 사용
--	---

- 축산냄새 처리의 유전체방전(저온플라즈마) 기술 적용

상기와 같이 선진국에서는 여러 냄새제거 기술을 산업화하는 단계에 와 있고 저온플라즈마 활성 기체 연구도 진행되어 있지만 구체적인 축사 냄새제거 적용 사례는 찾아볼 수 없었다. 따라서 유전체방전(저온플라즈마) 기술의 연구 개발은 축사 냄새 제거부분 선진화 및 세계기술 선도의 기회로 활용하여 기술개발을 하고자 한다.

<1협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

제 1 절 국내 연구현황

돈사 내부의 냄새가 외부로 유출되는 것을 방지하기 위한 필터링 기술은 돈사 외부에 습식세정기, 바이오커튼 및 바이오플터 등을 설치하여 냄새가 외부로 확산되는 것을 방지하고 있다(그림 1). 습식세정기는 공기 중의 먼지를 포집한 후 물을 뿌리면서 먼지 입자에 흡착된 냄새물질을 제거하는 방식으로 배기팬의 에너지 효율과 공기흐름을 줄여들게 하지 않으면 냄새 저감 효과를 볼 수 있다. 돈사 외부에 설치하는 바이오커튼은 돈사에서 배출되는 냄새물질을 커튼 내부에 가둔 후 오존이나 이산화염소 가스를 분무하여 처리하는 방법이다. 돈사 외부에 바이오커튼을 설치한 후 외부로 배출되는 공기 중의 암모니아 가스 농도를 측정하였을 때 설치하지 않은 것에 비해 92% 감소되었다(국립축산과학원, 2012). 바이오플터는 필터에 미생물을

흡착시켜 냄새물질을 분해하거나 필터에 오존이나 액상 냄새저감제를 살포하여 냄새물질이 외부로 배출되는 것을 차단하는 방식이다. 바이오플터를 설치한 돈사에서 배출되는 공기 중의 암모니아 가스 농도가 일반 돈사에 비해 96%가 감소되었다(국립축산과학원, 2012). 그러나 바이오퀴튼이나 바이오플터는 여름철 돈사 환기를 최대로 하였을 때 커튼 및 필터의 두께에 따라 배기팬이 부하를 받는 단점이 있다.



<그림 1> 돈사 외부에 설치된 바이오카튼 및 바이오플터

계사의 냄새가 외부로 배출되는 것을 방지하기 위해서 깔짚에 화학제재나 흡착제를 살포하여 냄새물질이 휘산되는 것을 제어하고 있다. 화학제재는 산화제(황산알루미늄)나 알칼리제(생석회)를 이용하고 흡착제는 황토 등을 이용하여 암모니아 가스가 휘산되지 못하도록 한다. 계사 외부에는 집진장치를 설치하여 냄새물질이 흡착된 먼지를 포집하여 외부로 확산되는 것을 차단한다.

제 2 절 국외 연구현황

국외에서는 축사 외부로 냄새가 확산되는 것을 방지하기 위하여 냄새방지 종합대책을 추진하고 있다. 네덜란드 PTC 연수기관에서는 축사 환기시설 및 냄새관리에 관한 연구를 수행하고 있다. 미국에서는 돈사 외부로 배출되는 공기에 대한 냄새제거를 위해 바이오플터를 이용하고 있다. 무창돈사에서 냄새가 확산되는 것을 방지하기 위하여 부숙된 퇴비를 충진한 바이오플터를 배기팬에 부착하여 냄새를 저감하는 연구를 수행하였다(Nicolai 등, 2002). 최근에는 물리화학적인 방법보다 생물학적인 여리를 바이오플터에 충진하여 냄새를 제거하는 연구를 수행하고 있다(Jacobson 등, 1997; Barber 등, 1998). 양계장의 깔짚에서 암모니아 휘산을 억제하는 연구는 1950년부터 지속적으로 추진되었으며 제올라이트(Nakaue 등, 1981), 황산철(Moore 등, 1995), 아세트산(Parkhurst 등, 1974), 황산알루미늄(Cooke 등, 1986) 등 다양한 화학제재를 이용하여 암모니아 가스 발생을 억제하였다. 또한 계사 내·외부의 공기 질을 개선하여 암모니아, 황화수소 등의 냄새물질을 제거하였다(Salito, 2002). 생물학적 기능을 갖는 바이오플터를 이용하여 계사 내부의 먼지를 흡착함으로써 냄새 확산을 방지하는데, 바이오플터 충진제는 가격이 저렴한 짚류를 많이 쓴다. 이러한 바이오플터를 이용하였을 때 약 80%의 먼지와 냄새가 제거되는 효과가 있었다고 하였다(Hoff 등, 1997).

제 3 절 향후 필요 연구 분야

국내에서는 축사 냄새확산 방지를 위해서 공기 필터링 시스템을 이용하고 있지만 축사 환기 시스템을 고려하지 않아서 냄새저감 효율이 떨어지고 있다. 축사 형태 및 환기 시스템 현황을 조사한 후 환기 조건에 맞추어 냄새제거 시스템을 도입함으로써 최소 환기를 통한 에너지 절감 및 냄새 배출방지 기술의 개발이 필요하다.

<2협동과제 : 무창축사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

제 1 절 국내 연구현황

돈사의 냄새확산을 방지하기 위한 기술로는 습식세정기, 먼지흡착기, 바이오플터 등이 있다. 양돈시설에서는 경제성, 효율성 및 편리성을 고려하여 습식세정기나 바이오플터를 이용하고 있다. 습식세정기는 공기 중의 먼지를 포집한 후 물을 뿌리면서 먼지 입자에 흡착된 냄새물질을 제거하는 방식으로 배기팬의 에너지 효율과 공기흐름을 줄여들게 하지 않으면 냄새 저감 효과를 볼 수 있다. 바이오플터는 필터에 미생물을 흡착시켜 냄새물질을 분해하거나 필터에 오존이나 액상 냄새저감제를 살포하여 냄새물질이 외부로 배출되는 것을 차단하는 방식이다. 여름철 최대 환기 시 필터의 두께에 따라 배기팬의 부하를 받는 단점이 있다.

무창돈사의 측벽 배기팬에 바이오플터를 설치(가로 2m, 세로 2m, 높이 0.6m)하여 냄새저감 효과를 평가하였을 때, 암모니아 99% 및 황화수소 90%의 감소 효과를 얻었다. 또한 무창돈사의 측벽 배기구에 바이오커튼을 설치하여 바이오커튼 내부에 이산화염소 가스를 분무하였을 때 냄새 휘산 억제에 효과적이었다(그림 1).



바이오플터



바이오커튼

<그림 1> 돈사 외부에 설치된 바이오플터 및 바이오커튼

제 2 절 국외 연구현황

선진국에서는 냄새방지를 위하여 종합적인 냄새 방지계획을 수립하고 있으며 환경산업의 일환으로 냄새에 관한 연구를 수행하고 있다. 네덜란드 PTC 연구기관에서는 지속적으로 축사

환기시설 및 냄새관리 연구를 수행하고 있으며, 아이오와 대학교와 일리노이 대학교의 연구진은 CFD를 이용한 환기시스템 분석을 수행하고 있다. 국외에서도 축사에서 외부로 배출되는 공기 중의 냄새제거를 위해 바이오플터를 이용하고 있다. 무창돈사의 배기팬에 바이오플터를 설치하여 돈사 내부의 냄새가 확산되는 것을 방지하는 연구를 실시하고 있으며, 냄새가 적은 부속 퇴비를 바이오플터 내 충진제로 이용하고 있다(Richard, 2002). 또한 최근에는 냄새 제거를 위해 물리화학적인 방법 뿐만 아니라 생물학적인 탈취 방법을 적용한 바이오 여제를 개발하여 냄새물질을 제거하는 기술을 개발하고 있다(Jacobson 등, 1997; Barber 등, 1998).

제 3 절 향후 필요 연구 분야

현재 국내에서는 축사 냄새제거를 위해 공기 필터링과 냄새제거 장치로 구성 되어있는 시스템을 이용하고 있다. 그러나 일부 농가에서는 축사 환기조건을 고려하지 않고 냄새제거 시스템을 도입하여 냄새제거 효율성이 떨어지고 있다. 축사 형태 및 가축 사육두수를 고려한 환기조건을 확인한 후 냄새제거 시스템을 도입함으로써 최소 환기를 통한 에너지 절감 및 냄새 배출방지 기술의 개발이 필요하다.

제 3 장 연구 수행 내용 및 결과

1. 연구개발 목표

연차	목 표	가중치
1차년도 (2012)	1)양성 코로나 방전의 화학적 활성화 반응을 이용한 가축 생체무해 공기 정화적용 기술 연구(배오존 기술개발)	25%
	2)국내 적용 가능 외부 공기 유입 필터링 기술 제시	25%
	3)온습도, 냄새 등의 축사 내부 공기 질을 복합적으로 고려한 환기 방법 조사 및 설계	25%
	4)분뇨 pit 공기의 가축 사육공간 유입방지 기술검토 및 설계	25%
2차년도 (2013)	1)축사 내부 최대 및 최소 환기량에 따른 공기정화 순환시스템 연구	25%
	2)축사 내외부 냄새제거 및 미생물 사멸정도 시험	25%
	3)돈사내 입기 및 배기시설 기술적용시험(pilot scale)	25%
	4)분뇨 pit 공기의 가축 사육공간 유입방지 기술적용(pilot scale)	25%
3차년도 (2014)	1)무창축사 최소 환기 유지기간 효율적 순환시스템 적용을 위한 축사 내부구조(바닥, 천정, 측벽)에 따른 공기정화 자동화 기술 적용	50%
	2)먼지, 냄새, 유해물질이 감소된 축사 내부공기의 외부 배출시 2차 저감기술 적용	25%
	3)분뇨 pit 공기의 가축 사육공간 유입방지 기술적용(barn scale)	25%
4차년도 (2015)	1)냄새 및 미생물 등 무창계사 내 오염물질 제거 공기정화 시스템 설계 및 제작(시험농가 설치)	66.7%
	2)무창계사의 냄새물질이 외부로 휘산되는 것을 차단하는 냄새저감장치(플라즈마) 설계 및 제작	23.3%
	3)무창계사 바닥 살포용 냄새저감물질 선발 및 냄새저감 효능 평가	10%
5차년도 (2016)	1)무창계사 시험 농가 공기정화 시스템 성능시험 및 운전조건 최적화(장치 표준화 설계)	66.7%
	2)무창계사 내외부 냄새저감 기술 실증시험	23.3%
	3)냄새저감 시스템 적용에 의한 내외부 냄새저감 효능평가	10%
최 종	환경오염 방지 및 에너지 저감기술이 결합된 무창축사 공기정화 시스템 개발	500%

<제1세부과제 : 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

1. 연구개발 목표

연차	목 표	가중치
1차년도 (2012)	1) 양성 코로나 방전의 화학적 활성화 반응을 이용한 가축 생체무해 공기 정화작용 기술 연구(배오존 기술개발)	50%
	2) 국내 적용 가능 외부 공기 유입 필터링 기술 제시	50%
2차년도 (2013)	1) 축사 내부 최대 및 최소 환기량에 따른 공기정화 순환시스템 연구	50%
	2) 축사 내외부 냄새제거 및 미생물 사멸정도 시험	50%
3차년도 (2014)	1) 무창축사 최소 환기 유지기간 효율적 순환시스템 적용을 위한 축사 내부구조(바닥, 천정, 측벽)에 따른 공기정화 자동화 기술 적용	100%
4차년도 (2015)	1) 냄새 및 미생물 등 무창계사내 오염물질 제거 공기정화 시스템 설계 및 제작(시험농가 설치)	100%
5차년도 (2016)	1) 무창계사 시험 농가 공기정화 시스템 성능시험 및 운전조건 최적화(장치 표준화 설계)	50%
	2) 장치 표준화 설계	50%
최 종	환경오염 방지 및 에너지 저감기술이 결합된 무창축사 공기정화 시스템 개발	500%

2. 연구 수행 내용 및 결과

<1차년도> 양성 코로나 방전의 화학적 활성화 반응을 이용한 가축 생체무해 공기 정화적용 기술 연구(배오존 기술개발)/ 국내 적용 가능 외부 공기 유입 필터링기술 제시(2012년)

제 1 절 모사 무창축사 악취저감

1.1. 실험장치

그림 1은 코로나 방전 플라즈마 반응기, 광촉매 반응기 및 흡착필터로 구성된 악취처리 장치의 모식도와 플라즈마 장치 부위의 사진이다. 이 악취처리 장치는 기체를 연속 순환 방식으로 처리할 수 있으며, 최대 출력은 입력 전력 기준 450 W이다. 본 장치의 코로나 플라즈마 반응기는 선-판 (wire-plate) 형상으로 제작되었으며 교류 고전압 (60 Hz)에 의해 구동된다. 좌측 0.8 m^3 부피의 통은 무창축사를 모사하기 위한 것으로서, 통 내부의 악취가스를 연속으로 플라즈마 반응기로 순환시키며 시간별 농도변화를 관찰하였다. 본 악취저감 장치의 성능 평가는 연구계획대로 황화수소 (H_2S) 및 암모니아 (NH_3)를 이용하여 수행되었다. 주요 운전변수는 순환유량, 운전시간 및 운전전압이었다. 본 악취저감 장치는 악취물질이 포함된 공기가 반응기를 통과할 때의 공기저항을 최소화하고, 대풍량 처리에도 안정적으로 운전될 수 있는 방전스프링을 플라즈마 반응기의 방전전극으로 사용하여 코로나 방전을 일으켰고, 코로나 플라즈마 방전 시 발생되는 자외선을 활용하기 위하여 플라즈마 반응기 후단에 이산화티타늄 (TiO_2)이 코팅된 광촉매 필터를 적용하였다. 또한 흡착제 (charcoal) 필터 및 배오존 제거능력이 탁월한 이산화망간 (MnO_2) 필터를 후단에 적용하였다.

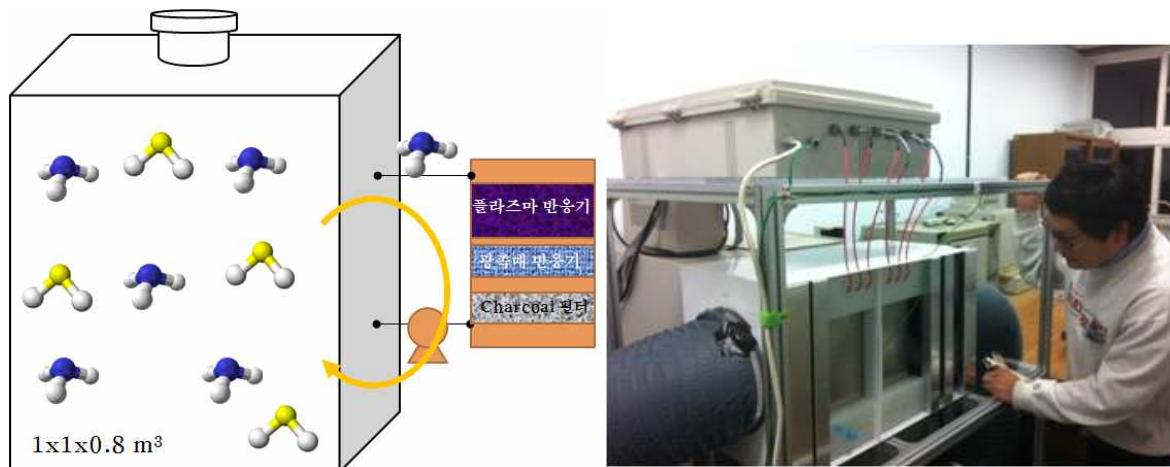
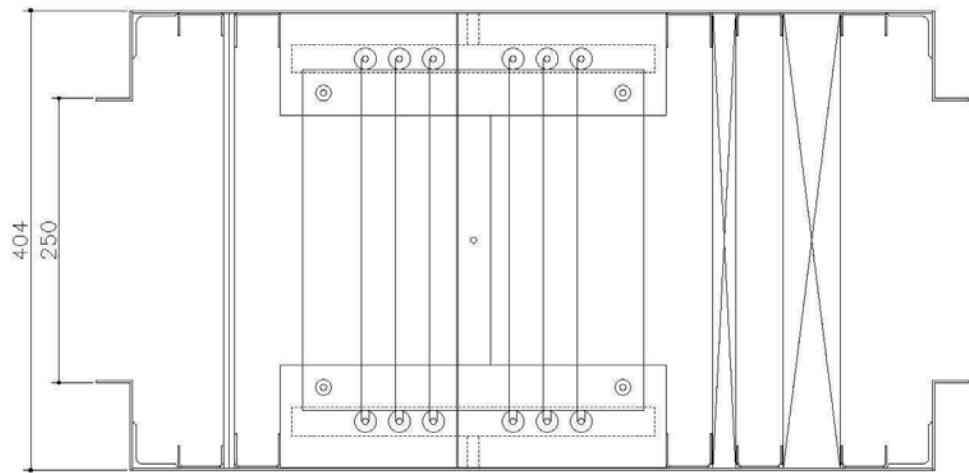


그림 1 플라즈마 반응기, 광촉매필터 및 흡착필터로 구성된 악취처리 장치
그림 2는 코로나 플라즈마 악취처리 반응기의 상세도면이다. 모사 무창축사의 악취가 직

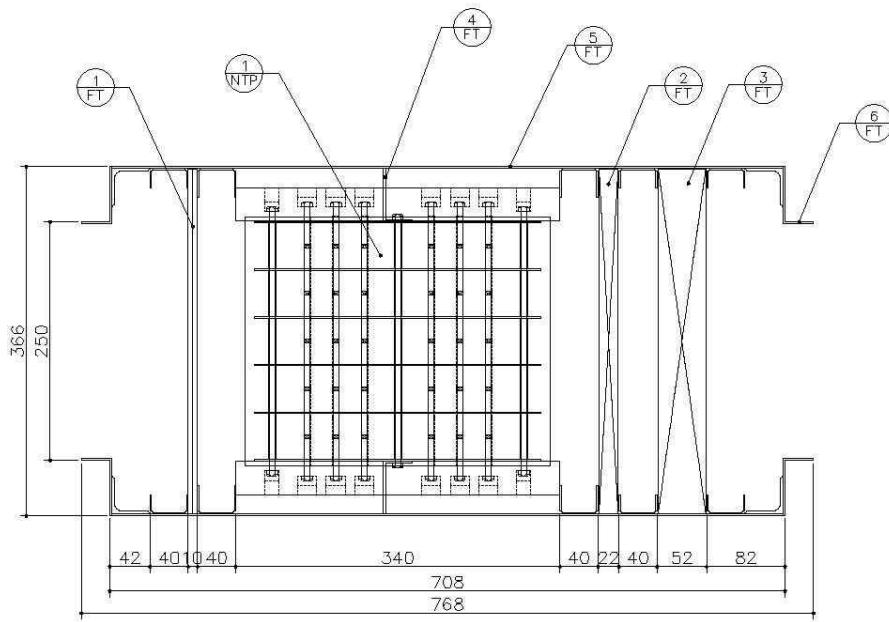
경 250 mm 유입구를 통해 플라즈마 반응기로 유입되어 처리되고, 순차적으로 광촉매 반응기 및 흡착층을 통과하도록 설계되었다. 이와 같이 처리된 가스는 직경 250 mm의 유출구를 통해 모사 무창축사로 재순환된다. 선-판 형상의 코로나 플라즈마 반응기의 높이는 404 mm, 접지판의 길이와 높이는 각각 340 mm 및 250 mm, 각 채널당 방전극의 개수는 6개이며, 접지판과 방전극의 간격은 25 mm이다. 광촉매 반응기는 플라즈마 반응기로부터 40 mm 후단에 설치되

었고, 흡착제 필터는 광촉매 반응기로부터 40 mm 후단에 설치되었다. 플라즈마 반응기 후단에 설치된 charcoal 필터 중 charcoal의 질량은 2.9 kg이다. 광촉매 필터는 부직포 (약 25.2 g)에 이산화티타늄 7.5 g을 도포시켜 제작하였다.

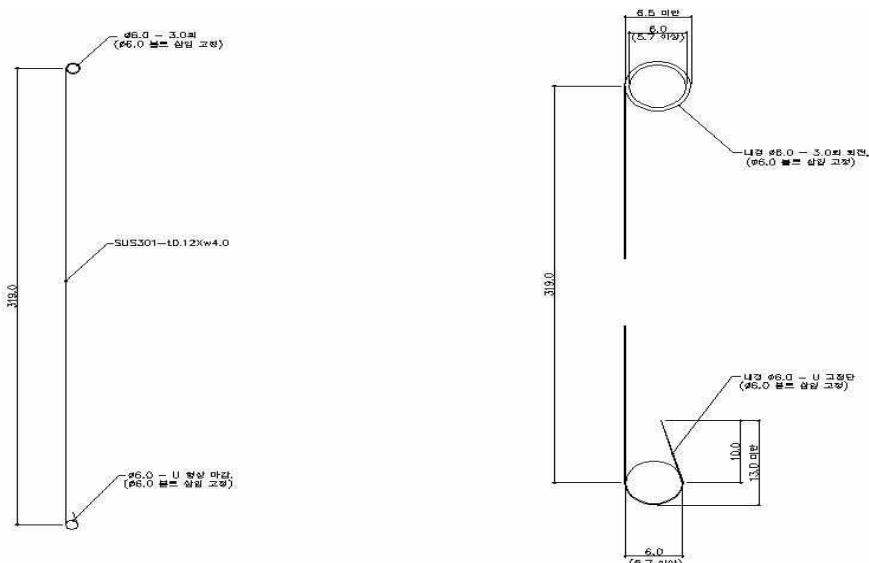
<정면도>



<평면도>



<방전 스프링>



<측면도>

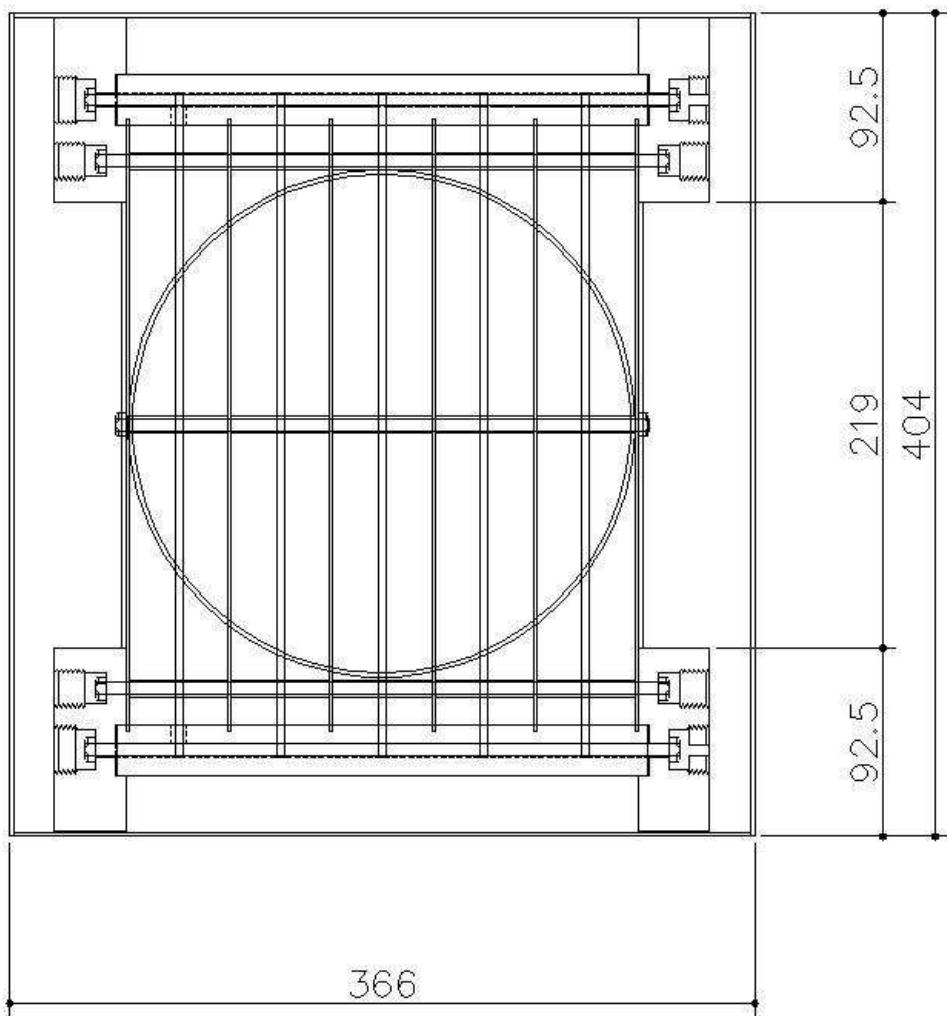


그림 2 코로나 플라즈마 악취처리장치 도면

1.2. 실험결과

그림 3은 순환기체 유량을 $1.4\sim3.1\text{ m}^3/\text{min}$ 범위로 변화시키며 암모니아 농도 감소속도를 측정한 그림으로서 초기 암모니아 농도는 30 ppm으로 조절하여 실험을 수행하였다. 코로나 플라즈마 반응기에 공급된 전력은 입력기준으로 63 W였다. 플라즈마의 효과 및 유량의 영향을 정확하게 파악하기 위하여 광촉매 반응기와 흡착제는 사용하지 않은 상태에서 실험이 이루어졌다. 그림과 같이 동일한 전력에서도 순환유량을 증가시키면 암모니아 제거속도가 더 빨라지는데, 이 결과는 기체가 플라즈마 반응기에 오래 머물수록, 즉 체류시간이 길수록 방전에 의해 생성되었던 활성성분들이 분해될 가능성이 높아지기 때문이다. 실제 동일한 전력이 공급되면 생성되는 활성성분의 양도 거의 동일하나 체류시간이 길어지면 생성된 활성성분들이 플라즈마에 의해 다시 분해되기도 한다. 유량이 높을수록 암모니아 분해시간이 짧아지더라도 유량을 증가시키기 위한 팬의 전력소비 및 차압이 증가하므로 이를 고려하여 가장 경제적인 유량을 결정해야 한다. 그림과 같이 유량이 $2.5\text{ m}^3/\text{min}$ 및 $3.1\text{ m}^3/\text{min}$ 인 두 가지 경우에 암모니아 제거 속도가 큰 차이가 나지 않으므로 적정한 유량은 $2.5\text{ m}^3/\text{min}$ 내외인 것으로 판단된다.

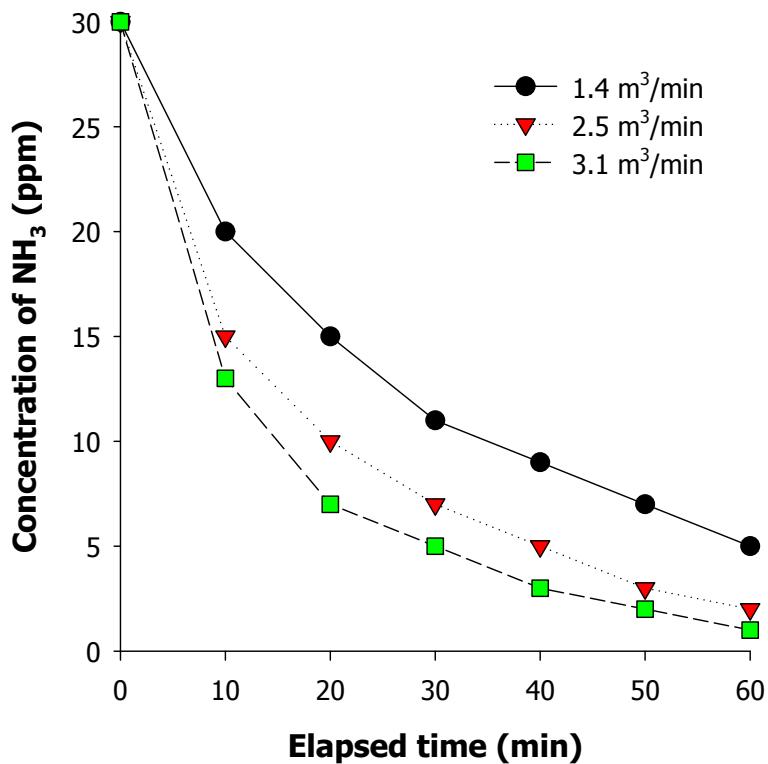


그림 3 순환유량 변화에 따른 암모니아 제거속도 (전력: 63 W).

그림 4는 순환기체 유량을 $2.5\text{ m}^3/\text{min}$ 로 고정한 상태에서 코로나 플라즈마 반응기 입력 전력을 $18\sim63\text{ W}$ 로 변화시키며 암모니아 농도 감소속도를 측정한 그림이다. 그림 4와 같이 전력이 증가함에 따라 암모니아의 농도가 더 급격하게 감소함을 알 수 있는데, 이 결과는 더 높

은 전압에서 플라즈마가 더 강하게 발생하고 이에 따라 암모니아와 반응할 수 있는 활성성분들이 더 많은 발생하였기 때문으로 해석된다. 전력이 18 W인 경우 1시간 후 암모니아 농도가 25 ppm에서 5 ppm으로 낮아졌고, 전력이 63 W인 경우는 30 ppm에서 2 ppm으로 낮아졌다. 이와 같이 전력이 증가한 비율만큼 제거속도가 같은 비율로 증가하지 않으므로 입력 전력도 경제성을 고려하여 최적의 값을 결정해야 한다. 그럼에 나타나 있지는 않지만 플라즈마 반응기 후단에 흡착제 필터와 광촉매 필터를 설치하게 되면 전력에 크게 관계없이 암모니아 농도가 매우 빠르게 감소하는데 이 이유는 흡착제 필터에 흡착되는 속도가 빠르고 광촉매에 의해서도 분해가 일어나기 때문이다. 또한 본 실험에서는 분석을 용이하게 하기 위하여 약 30 ppm의 고농도 암모니아를 사용하였으나, 실제 악취의 농도는 수 ppm 이내이므로 본 기술을 실제로 축사 악취저감에 적용하게 되면 그림 4의 처리시간 (60 min) 보다 훨씬 빨리 제거된다. 암모니아가 완전산화되면 NO_2 를 발생시킨다.



이산화질소 (NO_2)는 악취는 아니지만 대기오염물질로 취급되므로 실제 공정에서는 NO_2 를 흡착 또는 스크러버를 이용하여 제거해야 한다.

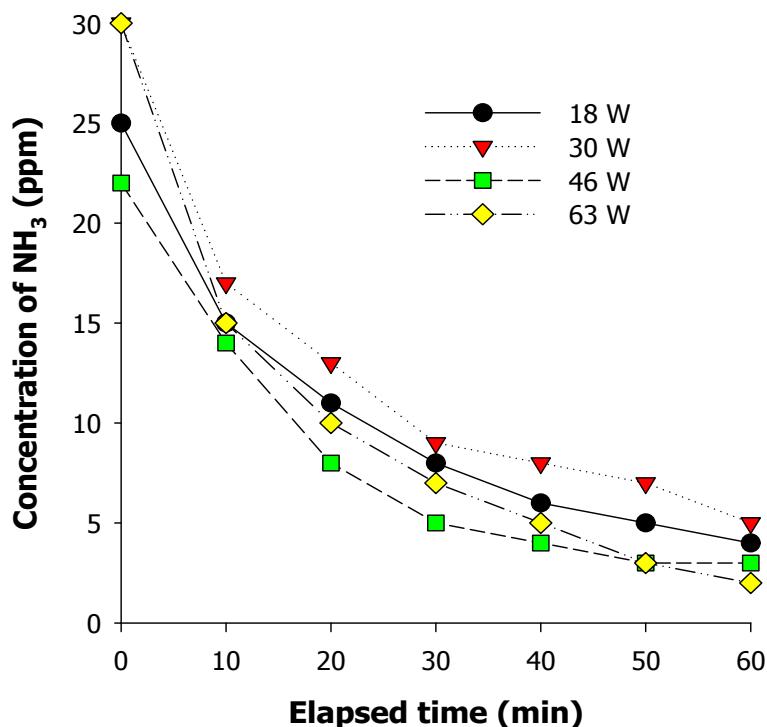


그림 4 입력전력 변화에 따른 암모니아 제거속도 (순환유량: 2.5 m^3/min)

그림 5는 입력 전력을 64 W로 고정한 상태에서 모사 무창축사에 순환되는 기체의 유량을 $1.4\sim3.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 범위로 변화시키며 황화수소 (H_2S) 농도 변화를 측정한 그림이다. 초기 황화수소 농도는 $\sim60 \text{ ppm}$ 으로 조절하여 실험을 수행하였다. 황화수소는 1 ppm 이내의 극히 낮은 농도에서도 강한 악취를 내는 데, 본 실험에서 농도를 $\sim60 \text{ ppm}$ 으로 높여서 실험을 수행한 이유는 저농도의 황화수소 측정이 매우 까다롭기 때문이다. 암모니아 실험과 마찬가지로 플라즈마의 효과 및 유량의 영향을 정확하게 파악하기 위하여 광촉매 반응기와 흡착제는 사용하지 않았다. 그림과 같이 동일한 전력에서도 순환유량을 증가시키면 황화수소의 제거속도가 증가하는데, 반응기 체류시간이 짧아질수록 방전에 의해 생성된 활성성분들이 플라즈마에 의해 재분해되지 않고 더 효과적으로 이용될 수 있기 때문이다. 순환 유량이 $2.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 일 때 10 min 경과 후 $3.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 인 경우보다 황화수소 농도가 더 낮은 이유는 초기 농도가 낮았기 때문이다. 실험에서 모사 무창축사내의 초기 농도를 정확하게 맞추기가 매우 어려워 이러한 현상이 발생하였으나, 그림 5와 같이 순환유량이 증가할수록 제거속도가 빨라진다는 것은 명확하다. 유량이 $3.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 이었을 때는 40 min에 대부분의 황화수소가 제거되었고, 유량이 $2.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 이었을 때는 50 min 그리고 유량이 $1.4 \text{ m}^3/\text{min}$ 이었을 때는 약 60 min의 시간에 대부분의 황화수소가 제거되었다. 황화수소는 완전산화되면 SO_2 를 발생시킨다.



아황산가스 (SO_2)는 NO_2 와 마찬가지로 악취는 아니지만 산성비를 일으키는 대기오염물질이므로 실제 공정에서는 SO_2 를 흡착 또는 스크러버를 이용하여 제거해야 한다. NO_2 나 SO_2 는 물에 대한 용해도가 매우 높으므로 스크러버를 이용하여 쉽게 제거할 수 있다.

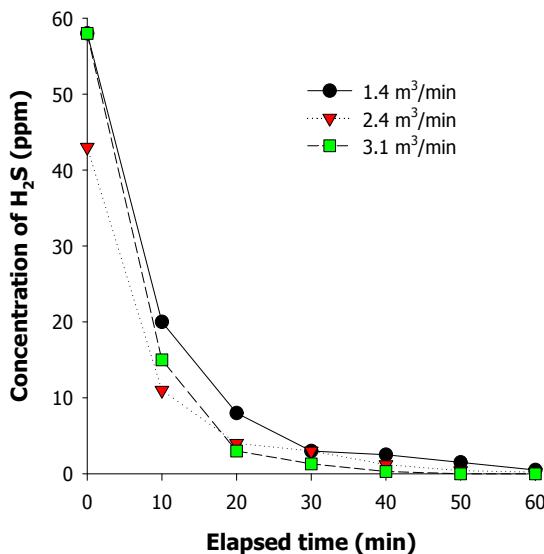


그림 5 순환유량 변화에 따른 암모니아 제거속도 (전력: 64 W).

그림 6은 순환기체 유량을 $3.1 \text{ m}^3/\text{min}$ 으로 고정한 상태에서 코로나 플라즈마 반응기 입

력 전력을 18, 29, 42, 64 W로 변화시키며 황화수소 농도 감소속도를 측정한 그림이다. 초기 황화수소 농도는 약 60 ppm이었다. 그림 6과 같이 입력 전력이 18 W에서 29 W로 증가했을 때 초반부 제거속도가 매우 빨라졌는데, 전력을 42 W와 64 W로 더욱 높였을 때는 그 차이가 두드러지지 않았다. 입력 전력이 18 W에서 29 W로 증가했을 때 황화수소 농도가 더 빠르게 감소한 것은 플라즈마 밀도가 증가하여 활성성분 농도가 높아졌기 때문으로 해석된다. 입력 전력을 42 W와 64 W로 더욱 높였을 때 황화수소 제거속도가 더 이상 크게 증가하지 않은 이유는 이미 20 min 이내의 시간에 대부분의 황화수소가 분해되었기 때문이다. 그림과 같이 29, 42, 64 W에서는 황화수소 농도가 20 min 이내에 초기농도 60 ppm에서 5 ppm이하로 저감되었다. 반면 18 W인 경우는 20 min에서의 농도가 약 10 ppm이다. 데이터를 제시하지 않았으나 코로나 플라즈마 반응기 후단에 흡착제 필터와 광촉매 필터를 설치하게 되면 입력 전력에 관계없이 10 min이내에 모든 황화수소가 사라진다. 또한 실제 황화수소 악취의 농도는 본 실험에 사용한 60 ppm 보다 훨씬 낮은 수준이므로 무창 축사 악취저감에 플라즈마를 적용시 매우 높은 수준의 악취저감성능이 예상된다.

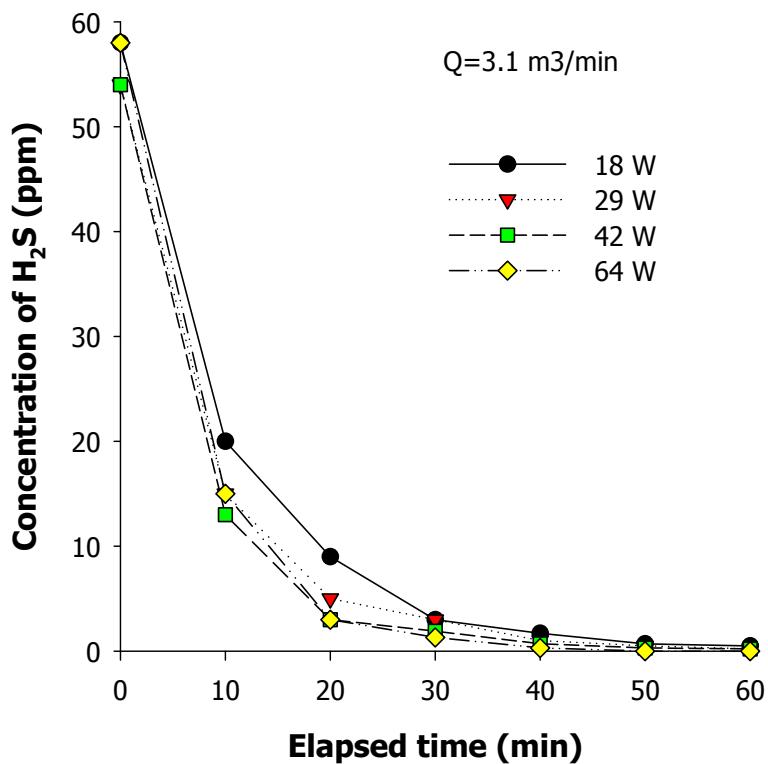


그림 6 입력전력 변화에 따른 황화수소 제거속도 (순환유량: 3.1 m³/min)

그림 7은 전압을 8.0, 9.0, 9.2, 11.1 kV로 변화시키며 미반응 오존의 농도를 시간별로 측정한 결과이다. 흰색 기호들은 플라즈마 반응기 만 가동했을 때의 오존 농도이고, 검은 색 기호들은 플라즈마 반응기 후단에 흡착제 (charcoal) 필터를 설치했을 때의 결과이다. 전압이 8.0

kV일 때는 오존이 거의 관찰되지 않았으며, 전압이 9.0 kV, 9.2 kV, 11.1 kV로 증가됨에 따라 한 시간 후의 모사 무창축사내 오존 농도가 10~60 ppm으로 크게 높아졌다. 입력 전력은 인가 전압에 따라 기하급수적으로 증가하므로 오존의 농도도 전압에 따라 기하급수적으로 증가한다. 오존의 반감기는 다른 활성종들(라디칼, 이온 등)에 비해 매우 길고 반응성도 상대적으로 낮으므로 기체가 플라즈마 반응기를 순환하면 할수록 오존이 누적되어 농도가 계속 증가하게 된다. 검은색 기호들은 플라즈마 반응기 후단에 흡착제 필터를 설치했을 때의 오존 농도를 나타낸다. 그림과 같이 전압에 관계없이 오존의 농도가 0이었다. 이 결과는 흡착제 필터가 오존을 효과적으로 흡착시켜 제거하기 때문이다. 활성탄을 배오존 처리에 이용하는 방법은 일반적인 방법으로 알려져 있다. 플라즈마를 이용한 악취저감 장치의 주요 문제는 플라즈마 반응기에서 발생하는 오존이지만, 물리·화학적인 방법으로 효과적으로 제어할 수 있기 때문에 오존에 따른 문제는 없을 것으로 판단된다. 이밖에도 오존을 효과적으로 제어하는 방법으로는 이산화망간 촉매를 이용하는 방법과 알칼리 세정법이 있다. 이산화망간 촉매는 상온에서 오존을 매우 빠르게 분해시키는 방법으로서 촉매 피독을 방지하기만 하면 수명이 매우 길다. 또한 알칼리 수용액에서의 오존분해 속도가 매우 빠르므로, 부산물인 NO_2 나 SO_2 를 제거하기 위한 스크러버 순환액을 알칼리성으로 하면 오존 또한 쉽게 제어된다.

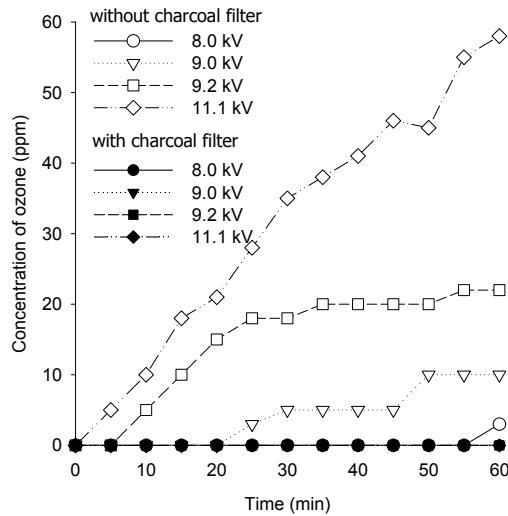


그림 7 Charcoal 필터 유무에 따른 시간별 오존 농도

이산화망간 기반 오존 분해 촉매는 α -알루미나 (Sigma-Aldrich; 직경: 3 mm; BET 표면 적: $348 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$)에 $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Junsei Chemical Co.) 수용액을 함침시킨 후, 110°C 에서 12시간의 건조과정과 소성과정 (6시간, 550°C)을 거쳐 제조되었으며, Mn의 함량은 5.0wt%로 하였다. 오존 분해 촉매의 부피는 85 cm^3 이었다. 그림 8은 오존 분해 촉매 사용여부에 따른 모사 무창축사내의 오존농도를 시간의 함수로 모니터링 한 결과이다. 유전체 플라즈마 반응기를 이용하여 기체 유량 $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ 에 58 ppm의 오존을 발생시키면서 기체를 연속 순환시키게 되면 모

사 무창축사내에 오존이 누적되어 검은 색 기호처럼 오존 농도가 지속적으로 증가한다. 그러나 오존 분해 촉매를 설치하면 흰색 기호처럼 기체가 모사 무창축사로 유입되기 전에 오존이 완전히 분해되므로 오존이 누적되지 않는다. 배오존은 강한 산화제로서 축사내의 동물들에 직접적인 피해를 유발할 수 있으므로 재순환 기체의 오존 제거는 필수적이라 할 수 있다.

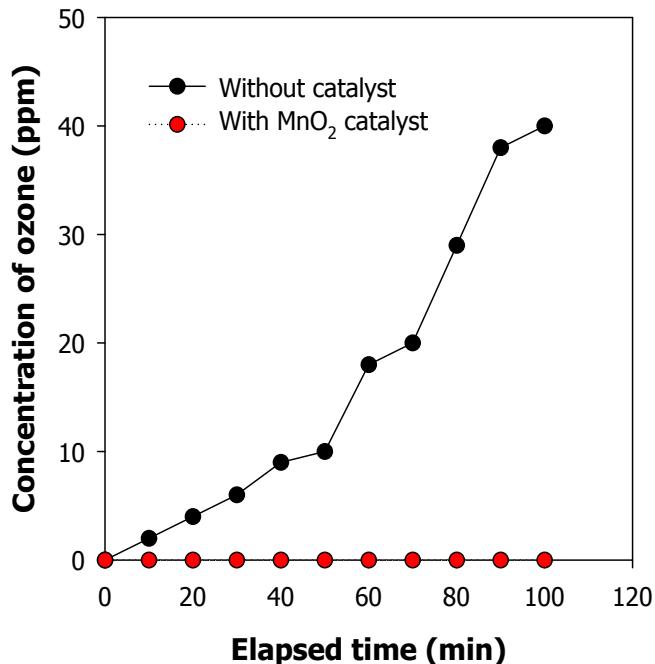
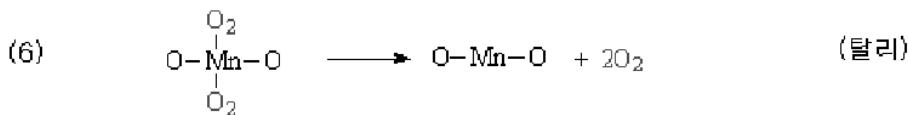
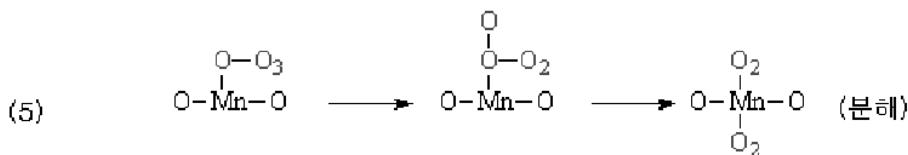
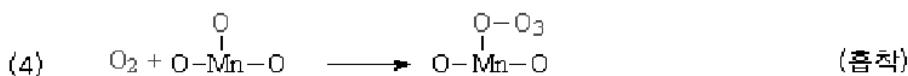
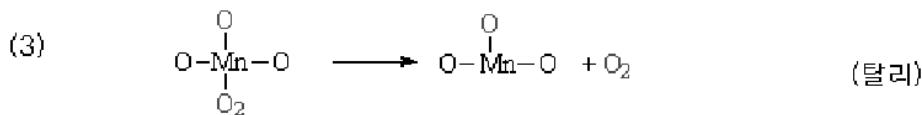
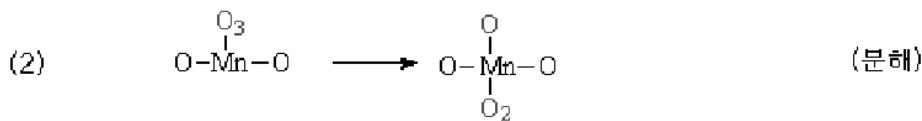
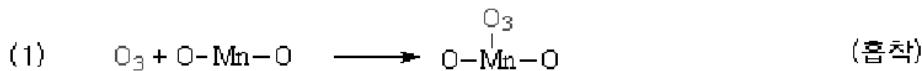


그림 8 오존분해촉매 설치 유무에 따른 시간별 오존 농도

오존을 촉매로 분해할 경우 탄소계 흡착제를 이용하는 공정과 달리 촉매가 반응과정에서 손실되지 않으므로, 수명이 매우 길다. 백금/팔라듐 (Pt/Pd) 촉매의 경우는 50–75°C 범위의 온도에서 오존을 분해하는데 사용된다. 그러나 약 3초의 비교적 긴 반응시간이 필요한데, 긴 반응시간은 촉매의 부피가 커진다는 것을 의미하므로 귀금속의 가격을 고려하였을 때 백금/팔라듐의 사용은 바람직하지 못하다. 현재는 이산화망간 (MnO_2) 촉매가 유망한 것으로 평가되고 있다. 이산화망간은 상온에서도 오존을 빠르게 분해하며 습도가 높은 조건에서도 사용될 수 있다. 이산화망간 촉매는 약 0.3초의 체류시간을 필요로 하는데, 이는 촉매 부피가 귀금속의 경우와 비교하여 매우 작아짐을 의미하며, 또한 비용 측면에서도 여타 오존 분해 기술에 비해 매우 효과적임을 의미한다. 이산화망간에 의한 오존 분해는 다음 반응식으로 표현될 수 있다.



알칼리 수용액 상에서 오존의 분해속도는 오존의 농도와 수산화이온 농도에 대해 1차 반응으로서 다음 형태를 취한다:

$$-\left(\frac{d[O_3]}{dt}\right)_{\text{pH}} = k [O_3][OH^-] \quad (3)$$

알칼리 수용액에 의한 오존 분해는 일종의 연쇄반응 형태로 일어나며 다음과 같다.

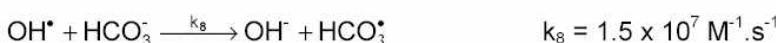
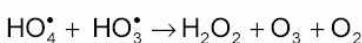
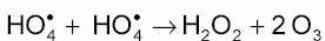
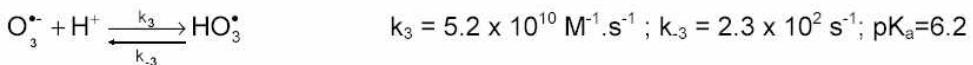
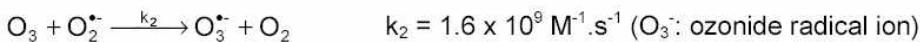
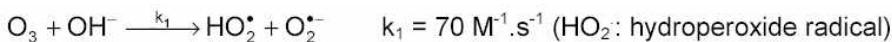


Table 1은 열분해기술 및 촉매분해기술 (Pt/Pd , MnO_2)을 반응온도와 체류시간의 관점에서 비교한 것이다.

Table 1 오존분해기술별 접촉시간 및 반응온도 비교

	열분해	Pt/Pd catalyst	MnO_2 catalyst
T (°C)	> 280	50-75	실온
체류시간 (s)	> 9	3	0.36-0.72

촉매 분해 공정을 설계하는데 있어서 체류시간과 선속도 (linear velocity)와 같은 적절한 물질전달 조건이 사용될 때, 99% 이상의 오존분해효율을 얻을 수 있다. 이산화망간 촉매의 경우는 약 0.36~0.72 s 체류시간이내에 99% 이상의 오존을 분해할 수 있고 상온에서 작동이 가능하다. 이산화망간을 이용한 오존 분해 공정은 매우 우수한 성능을 나타내지만, 문제점은 촉매의 활성유지이다. 즉, 배오존에 포함되어 있는 피독성분이 촉매와 화학적으로 결합을 하면 촉매의 활성 및 수명이 현저히 떨어지는 문제점이 있다. 물을 사용하는 문제가 있기는 하나 알칼리 수용액을 이용하면 배오존이 효과적으로 제거될 뿐 만 아니라, 암모니아와 황화수소의 부산물인 SO_2 와 NO_2 가 제거되므로 가장 신뢰성 있는 방법으로 판단된다.

제 2 절 탄화수소계 악취저감 기초실험

2.1. 개요

일반적으로 플라즈마 반응기에서의 악취성분 분해는 대상 물질의 농도, 전력, 인가전압, 주파수, 산소농도, 유량 등 여러 가지 변수에 의존한다. 또한 플라즈마 반응기에 충진된 충진물도 반응성과 부산물 생성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 플라즈마 반응기의 성능개선을 위하여 반응기 충진물에 대한 조사가 이루어졌다. 메틸머캅탄, 아세트알데하이드, 발레르산과 같은 탄화수소계 악취성분을 모사하기 위하여 간단한 화학구조의 에틸렌을 이용하였다. 뒤에 설명하겠지만 충진물이 없을 때보다 충진물이 사용되었을 때 탄화수소의 분해속도가 더욱 빨랐으며, 조사된 충진물 중에서 α -알루미나 > 실리카 > 지르코니아 > 글래스울 순서로 반응이 촉진되었다. 그러나 α -알루미나가 사용되었을 경우에는 초기에는 탄화수소가 완전히 분해되었으나, 반응이 지속될수록 일정시간 경과 후 분해성능이 조금씩 감소함을 확인하였다. α -알루미나와 달리 다른 충진물들은 10 h 연속 운전을 하여도 탄화수소계 악취의 분해성능이 크게 저하되지 않았다. 본 연구에서는 플라즈마를 이용한 충진물의 재생에 대한 조사도 이루어졌다. 장시간 운전한 플라즈마 반응기에 공기를 주입하며 플라즈마를 발생시키면 오염된 충진물이 재생되어 원래의 탄화수소계 악취저감 성능을 보여주었다. 장시간 운전시 부산물에 의한 충진물의 BET 표면적 감소가 관찰되었으나, 재생 후 표면적이 거의 원상태로 회복되었다. 플라즈마 반응기에 충진물로 α -알루미나 혹은 실리카를 사용하면 CO 나 CO_2 이외의 부산물이 관찰되지 않으나 지르코니

아와 글래스울 충진물에서는 메테인, 아세틸렌, 아세트알데하이드, 폼알데하이드와 같은 부산물이 관찰되었다.

2.2. 실험장치

탄화수소계 악취제거를 모사하기 위하여 사용한 에틸렌의 분해실험은 그림 9와 같이 자체 제작한 유전체 배리어 방전 플라즈마 반응기를 이용하여 수행되었다. 플라즈마 반응기는 석영관(내경 및 외경이 각각 21 mm와 25 mm)과 8 mm 두께의 스테인레스 스틸 방전극으로 제작되었다. 스테인레스 스틸 방전극에는 고전압이 인가되어 석영관내에 동축으로 설치되었다. 석영관과 스테인레스 스틸 방전극 사이의 공간에는 15 g의 충진물(α -알루미나, 실리카, 지르코니아, 글래스울)을 충진하였다. 석영관외부에는 온도를 일정하게 상온으로 유지하기 위하여 냉각수가 흐르고 냉각수는 접지전극의 역할도 하도록 하였다. 모든 악취분해 실험은 상온에서 수행되었다. 스테인레스 스틸 방전극에는 10~16 kV(피크 값)의 교류 고전압이 인가되며, 교류의 주파수는 400 Hz이었다. 모사 악취가스는 질소, 산소, 에틸렌으로 구성되었다. 총 유량은 MFC를 이용하여 60 L/h로 고정하였다. 산소농도는 5%(v/v) 그리고 에틸렌의 농도는 1,898 ppm으로 하였다. 에틸렌의 농도 및 부산물의 농도는 퓨리에변환적외선분광광도계(FTIR, Bruker IFS 66/S, Germany)를 이용하여 분석하였다. 제거효율(DE)은 다음 식에 의해 계산되었다.

$$DE = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100(\%) \quad (4)$$

여기서 C_0 와 C 는 각각 반응기 입구와 출구의 농도이다.

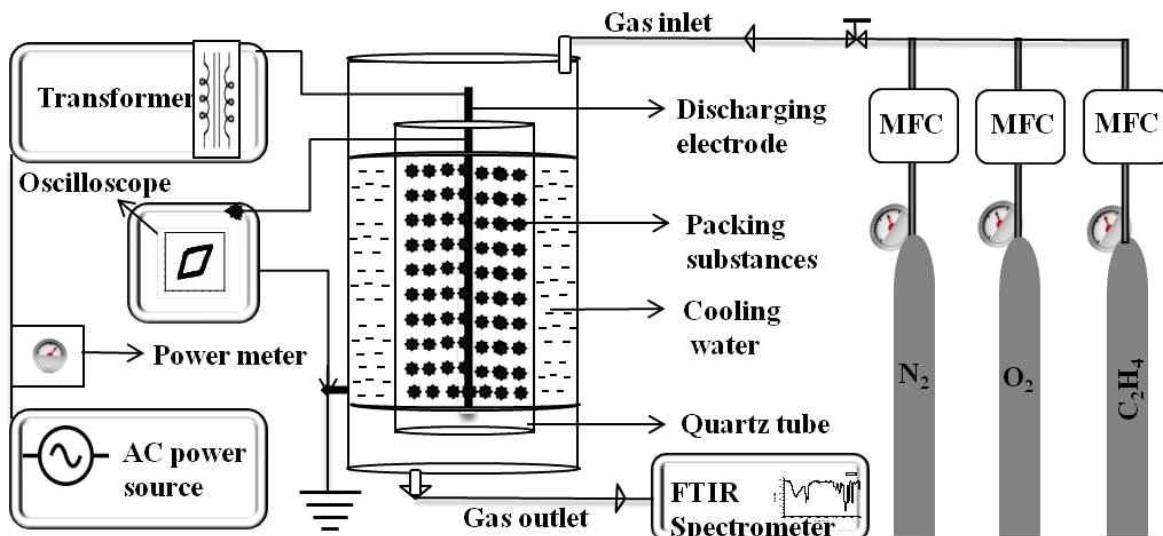


그림 9 탄화수소계 악취제거를 모사하기 위한 실험장치의 개략도

탄화수소계 악취제거에 미치는 충진물의 영향은 두 형태로 살펴보았다. 하나는 입력전력을 변화시키며 충진물의 영향을 살펴본 경우이며, 다른 한 형태는 10 시간의 운전시간 동안 충진물의 장시간 안정성을 조사한 경우이다. 충진물의 재생을 위하여 사용된 α -알루미나와 실리카를 산소 존재하에서 플라즈마 반응기에서 100 W의 전력으로 2 시간동안 처리하였다. 새 충진물과 재생 충진물은 FTIR과 BET 표면적 분석기 (Quantachrome, AUTOSORB-1-MP)로 특성평가를 하였다. 지르코니아와 글래스울은 표면적이 무시할 만큼 작으므로 재생을 고려할 필요가 없다. 입력 전력은 디지털 전력계 (Model WT200, Yokogawa, Japan)로 측정하였다. 반응기에서 실제 소모된 방전전력은 전압-전하 선도를 이용하여 구하였다. 그림 10은 플라즈마 반응기 충진물별 입력전력과 방전전력간의 관계를 나타낸다. 그림과 같이 빈 플라즈마 반응기의 방전전력이 상대적으로 낮았는데, 이 결과는 충진물이 평균 전기장세기를 증가시키는 효과를 주므로 충진물 존재하에서 방전 개시전압이 낮아지기 때문으로 해석된다. 조사된 충진물 중에서는 다공성 구조의 α -알루미나와 실리카가 지르코니아나 글래스울보다 더 높은 방전전력을 나타냈는데, 이는 미세 방전이 기상에서 뿐만 아니라 세공에서도 일어나기 때문으로 판단된다.

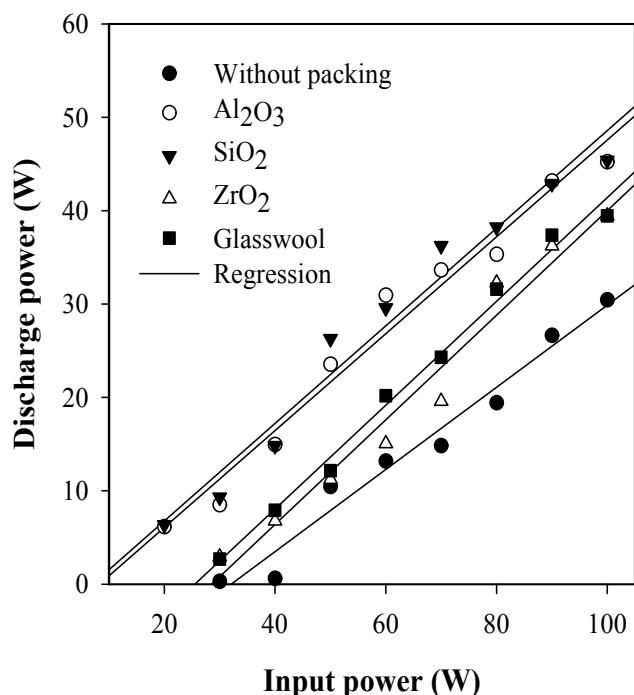


그림 10 반응기 충진물 별 입력전력과 방전전력 사이의 관계

2.3. 실험결과

(1) 탄화수소 분해 및 부산물 분포

탄화수소 (에틸렌)의 분해에 미치는 충진물의 영향이 입력 전력의 함수로 그림 11에 제시되어 있다. 빈 반응기를 사용했을 때는 입력전력을 90 W까지 증가시킴에 따라 분해성능이 급격하게 증가되다가 그 이후 점차 둔화되었다. 충진물이 없는 빈 반응기가 100 W의 전력에서

에틸렌을 78%까지 제거시킨 반면, α -알루미나 또는 실리카가 충진된 반응기는 훨씬 낮은 전력인 45 W에서 에틸렌을 거의 완전히 분해시켰다. 참고로 글래스울 또는 지르코니아 충진 반응기는 완전한 분해에 75 W를 소비하였다. 이해를 돋기 위하여 충진물의 분해 경향을 분해 거동의 유사성을 기준으로 그룹 I (α -알루미나, 실리카) 및 그룹 II (지르코니아, 글래스울) 두 부류로 구분할 수 있다. 탄화수소의 분해거동은 충진물의 표면적과 깊은 연관성이 있을 것으로 생각된다. α -알루미나와 실리카 같은 그룹 I 충진물들은 흡착에 의해 에틸렌을 수용할 수 있는 넓은 표면적을 지니고 있고, 미세 세공에서 수많은 미세방전이 일어나 흡착된 탄화수소를 분해시킬 수 있다. 뿐만 아니라, 그림 10과 같이 α -알루미나 또는 실리카가 충진된 반응기는 글래스울 또는 지르코니아 충진 반응기 보다 더 높은 방전 전력을 나타낸다. 이 또한 그룹 I 충진물들의 더 높은 분해성능을 부분적으로 설명할 수 있다.

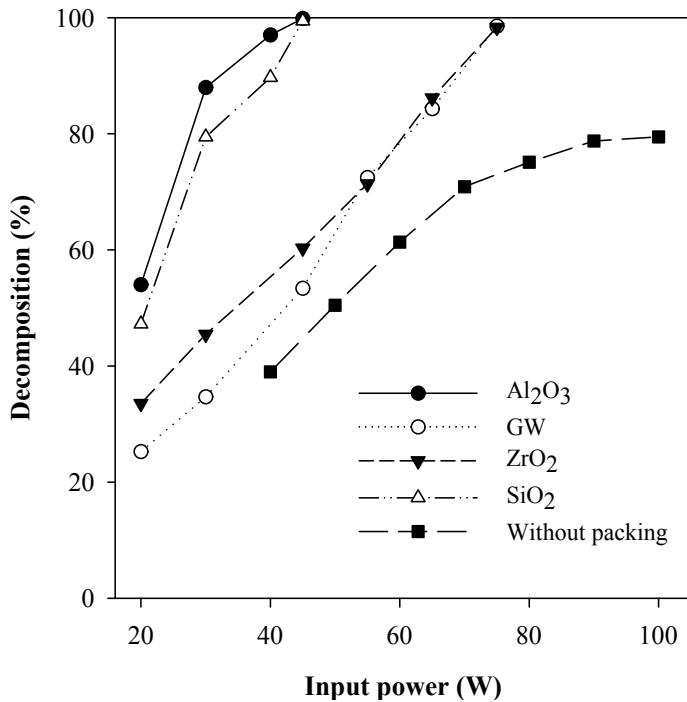


그림 11 탄화수소 (에틸렌)의 분해에 미치는 충진물의 영향

부산물의 생성도 충진물의 종류에 따라 영향을 받았다. 그림 12에서 지르코니아 또는 글래스울이 충진된 경우 상당량의 아세틸렌과 메테인이 부산물로 생성됨을 확인할 수 있다. 게다가 반응기 출구에서 아세트알데하이드와 폼알데하이드가 미량으로 관찰되었다 (그림 13). 이러한 현상은 Liao 등 (2005)의 연구 결과와 좋은 일치를 보여준다. Liao 등은 에틸렌옥사이드의 분해를 위해 플라즈마를 사용하였는데, 부산물로 아세틸렌, 아세트알데하이드, 폼알데하이드의 발생을 확인하였다. 반면 α -알루미나와 실리카가 충진된 경우에는 위에 언급한 부산물이 생성되지 않았는데, 이는 그룹 I 충진물이 완전산화를 도와준다는 것을 의미한다.

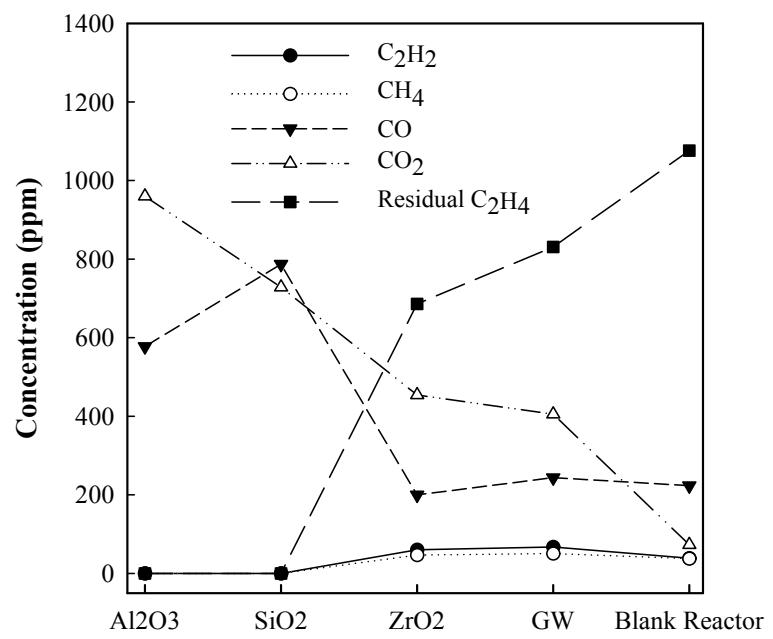
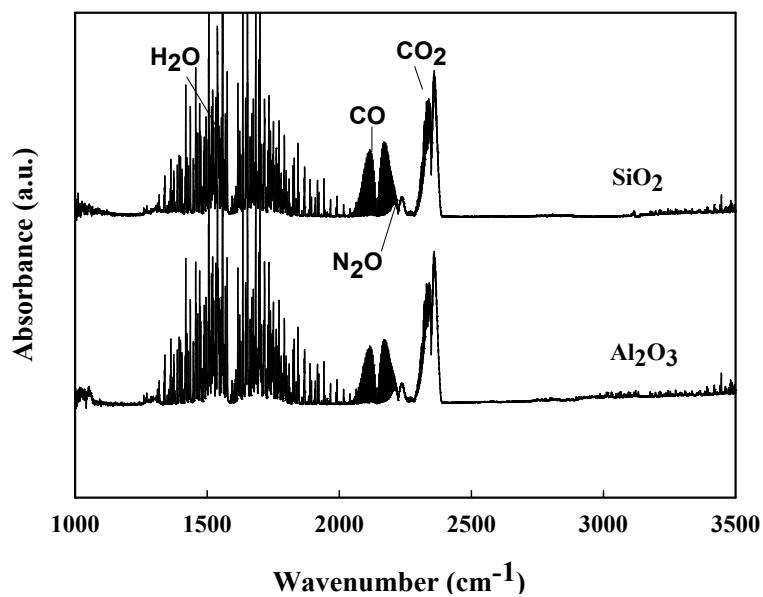


그림 12 부산물 발생에 미치는 충진물의 영향 (입력전력: 45 W)



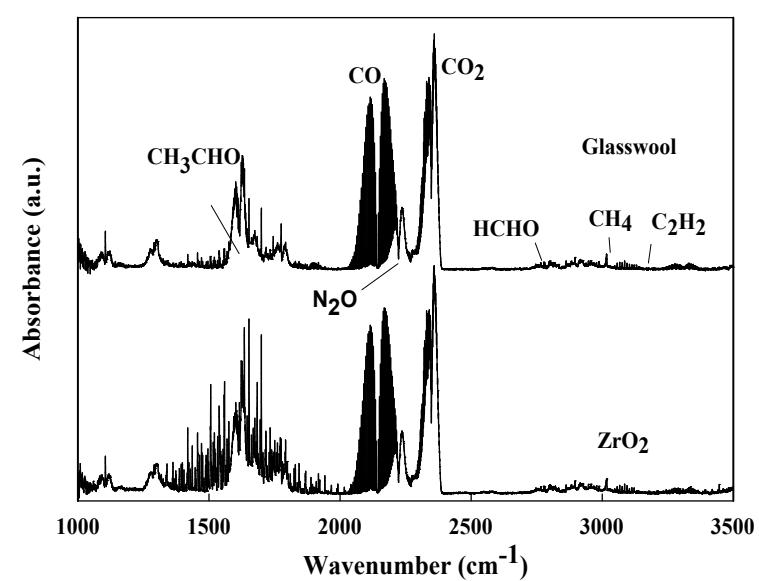


그림 13 충진물별 반응기 출구의 FTIR 스펙트럼 (알루미나와 실리카 사용시 입력전력: 45 W; 글래스울과 지르코니아 사용시의 입력전력: 80 W).

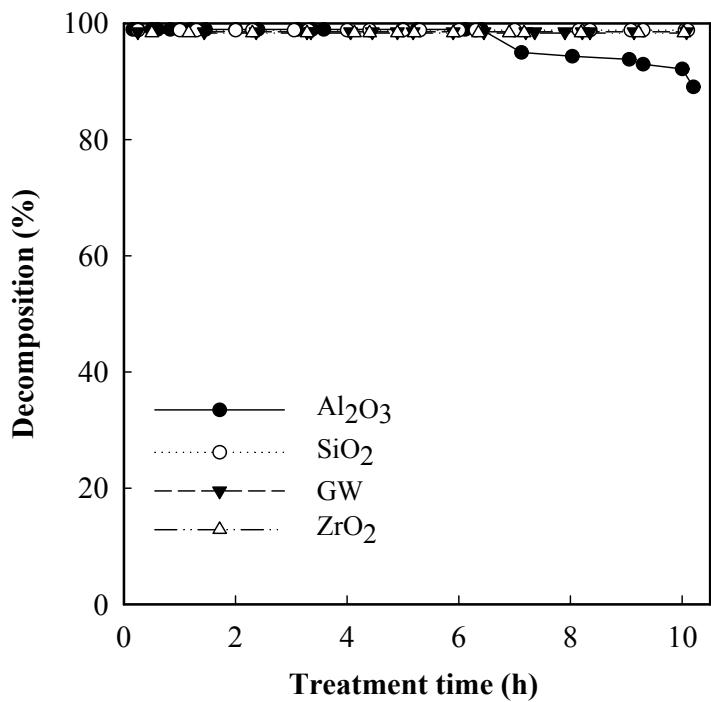


그림 14 충진물의 장시간 안정성 평가를 위한 연속 운전결과 (알루미나와 실리카 사용시 입력전력: 45 W; 글래스울과 지르코니아 사용시의 입력전력: 80 W)

그림 14는 충진물의 장시간 안정성에 대한 결과이다. 그림에서와 같이 α -알루미나를 제외한 10 h 운전하는 동안 일정한 분해속도를 보여주었다. 그러나 α -알루미나는 일정시간 경과 후 분해성능이 계속 감소하여 10시간 후 약 11%의 제거효율 감소를 나타냈다. 이 결과는 분명히 에틸렌의 분해로부터 생성된 고체부산물이 알루미나에 퇴적되어 생긴 현상이다. 비록 운전시간 동안 분해효율에 있어서 큰 변화를 보이지는 않았을지라도, 다른 충진물들은 더 높은 운전전력을 소비했음을 알아야 한다.

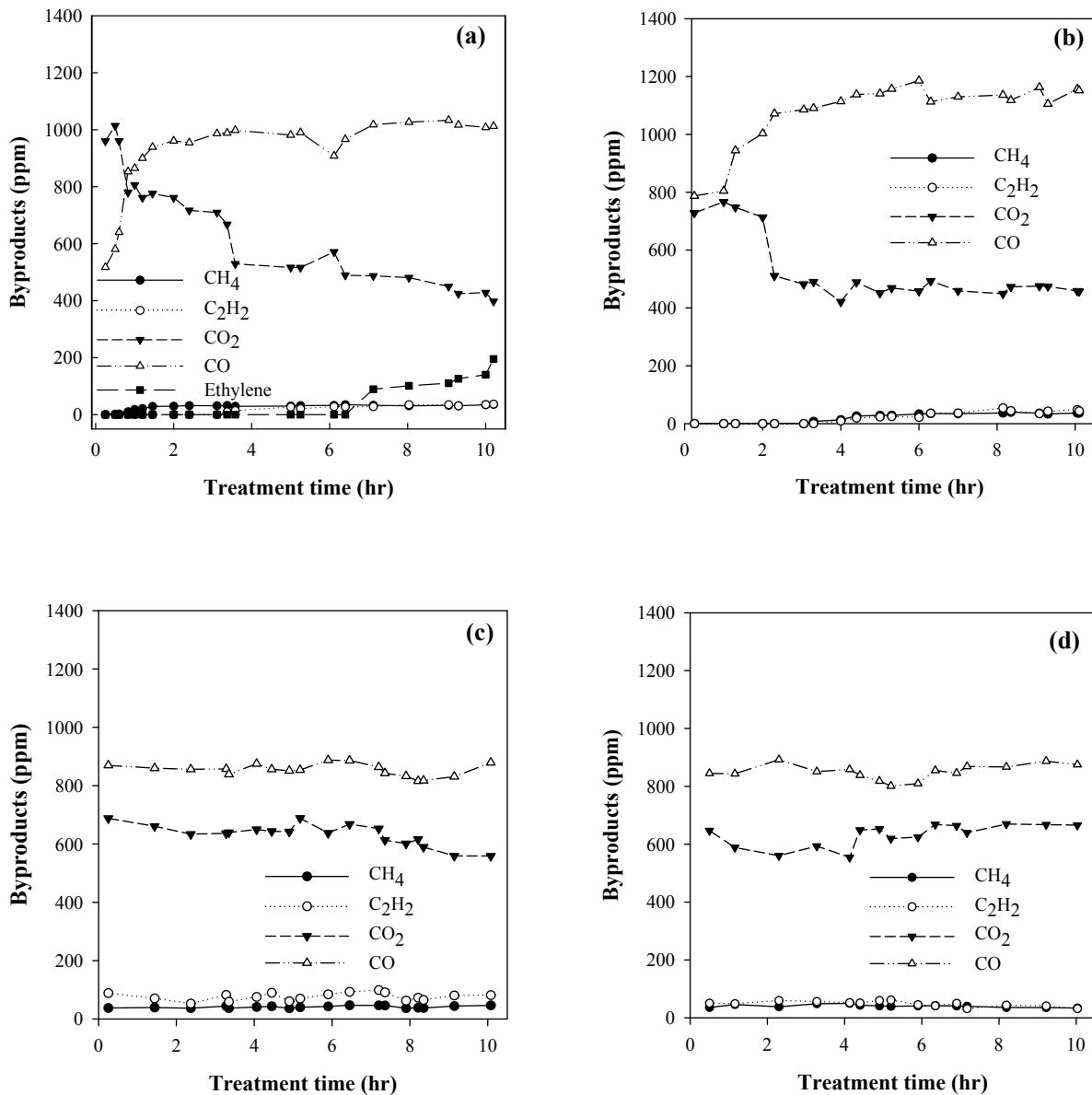


그림 15 (a) 알루미나, (b) 실리카, (c) 글래스울, (d) 지르코니아 충진물 부산물 농도 (알루미나와 실리카 사용시 입력전력: 45 W; 글래스울과 지르코니아 사용시의 입력전력: 80 W)

그림 15 (a)-(d)는 각각 α -알루미나, 실리카, 글래스울, 지르코니아 충진물로부터 얻어진 부산물의 농도를 나타낸다. 글래스울이나 지르코니아가 사용되었을 때, 부산물의 농도는 10 h

동안 크게 변하지 않았다. 그러나 알루미나와 실리카는 부산물의 농도에 있어서 큰 변화를 보여주었다. 이러한 변화는 고체 부산물의 퇴적으로 인한 미세기공의 막힘과 활성점의 감소 때문에 일어나는 현상이다. 비록 글래스울과 지르코니아의 충진이 방전개시전압의 감소를 유발하여 단순히 방전전력을 증가시킴으로써 분해효율을 조금 증가시키기는 하나, 그럼 15의 실험결과는 글래스울과 지르코니아는 촉매로 작용하지 않는다는 것을 보여준다. 한편, 알루미나와 실리카 충진물은 장시간 운전시 CO_2 보다는 CO 를 더 많이 생성시킨다. 이 결과는 알루미나와 실리카의 비활성화 때문으로 추정된다. 고체 부산물의 퇴적 뿐만 아니라 불완전 산화에 기인한 아세트알데하이드, 아세틸렌, 폼알데하이드 등의 산소계 부산물 또한 촉매의 비활성화에 영향을 미친다 (Roland 등, 2005).

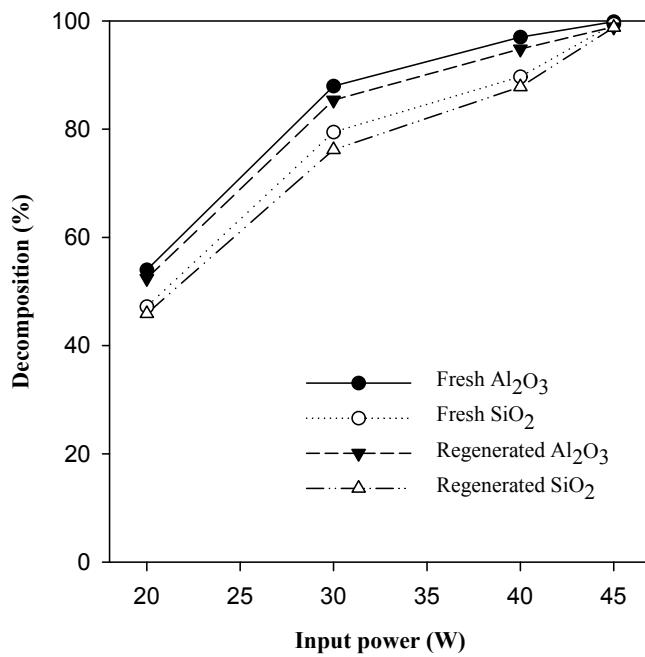


그림 16 재생된 알루미나와 실리카의 에틸렌 분해성능

(2) 재생 충진물의 특성

충진물의 재사용 가능성은 실용화에 있어서 중요한 이슈다. 사용된 플라즈마 반응기 충진물의 재사용을 위하여, 45 W의 전력에서 10 h 동안 사용된 알루미나와 실리카를 위의 실험 방법에서 설명한대로 후처리를 하였다. 충진물의 재생은 미세기공을 막고 활성점을 차지하고 있는 고체 퇴적물의 제거 및 산소계 부산물의 제거를 포함한다. 그럼 16은 재생된 알루미나와 실리카가 새 알루미나와 실리카만큼 높은 분해성능을 나타낸다는 것을 보여주고 있다. 재생된 충진물은 탄화수소 새 충진물에 비해 조금 낮은 분해성능을 보였을 뿐이다. 이 결과는 완전 재생되지 않았기 때문이나 좀 더 긴 재생 시간을 사용하면 해결될 문제이다. 새 충진물, 사용된 충진물, 재생된 충진물의 특성은 아래 논의되어 있다.

Table 2는 알루미나와 실리카의 BET 표면적, 평균 기공 크기, 총 기공부피를 정리한 것

이다. 새 알루미나와 실리카의 BET 표면적은 각각 $348.3\text{m}^2\text{g}^{-1}$ 인 것으로 측정되었다. 10 h 운전 후, 표면적이 각각 $302.7\text{m}^2\text{g}^{-1}$ 으로 감소하였으며, 이는 새 충진물에 비해 각각 13%와 7.9%의 표면적 감소에 해당한다. 그밖에 평균 기공크기와 총 기공부피 또한 감소되었음을 알 수 있다. 장시간 운전 후 표면적, 기공크기 및 기공부피의 감소는 고체 퇴적물에 기인한다. 고체 퇴적물의 성상은 재생과정에서 제거시킬 수 있는 다양한 고분자 형태의 성분일 것으로 판단된다. Table 1과 같이 재생과정을 거친 후 표면적, 기공크기 및 기공부피는 거의 원래대로 회복되었다. 완전한 재생을 위해서는 더 긴 재생시간이 필요하다.

Table. 2 여러 충진물의 BET 표면적 비교

Sample	BET surface area (m^2/g)	Average pore radius (\AA)	Total pore volume (cc/g)
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ - fresh	348.3	28.64	0.4500
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ - after 10h	302.7	25.84	0.4165
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ - after regeneration	319.7	26.05	0.4335
SiO_2 - fresh	648.6	12.04	0.3905
SiO_2 - after 10h	597.1	11.64	0.3474
SiO_2 -after regeneration	642.6	11.92	0.3831

10 시간 운전 후, 알루미나와 실리카는 밝은 갈색으로 색이 변화되었다. FTIR 스펙트럼은 고분자 형태의 물질이 사용된 충진물의 표면에 퇴적되었음을 나타낸다. 그림 17 (a)는 새 알루미나, 사용된 알루미나, 재생된 알루미나의 FTIR 스펙트럼이다. $400\text{-}1,017\text{cm}^{-1}$ 주변의 부드러운 넓은 흡수 밴드는 Al-O-Al 결합을 나타내며 (Costa et al., 1999), $3,500\text{cm}^{-1}$ 을 중심으로 한 넓은 흡수 밴드는 O-H이다. 10시간 운전 후 $1,383\text{cm}^{-1}$ 에서 C-H 특성 피크가 나타났는데, 이는 Al-O-Al과 C-H의 연결을 의미한다. 사용된 알루미나의 바깥쪽 영역은 고분자 형태의 고체퇴적물로 덮여 있을 것으로 예상된다. 게다가 10 시간 사용된 충진물의 경우 O-H와 CO_2 와 같은 공명 피크의 세기 (각각 $1,625\text{cm}^{-1}$ 과 $2,345\text{cm}^{-1}$)가 약간 증가하였다. 위와 같은 변화는 알루미나가 에틸렌의 분해과정 중에 일정량의 OH와 CO_2 를 흡수한다는 것으로 의미한다. 그림 17 (b)는 새 실리카, 사용된 실리카, 재생된 실리카의 FTIR 스펙트럼이다. 약 450cm^{-1} 근처의 흡수 밴드는 Si-O 결합에 의한 것이며, 800cm^{-1} 의 흡수밴드 또한 Si-O에 의한 것이다. 950cm^{-1} 에서의 피크는 Si-OH 결합의 O-H에 의해 나타난다 (Hamelmann 등, 2005). C-H 특성 피크는 $1268\text{-}1395\text{cm}^{-1}$ 주변에 위치하고 있으며, 재생을 할 경우 알루미나와 실리카 모두 원래의 FTIR 스펙트럼을 보여주었다.

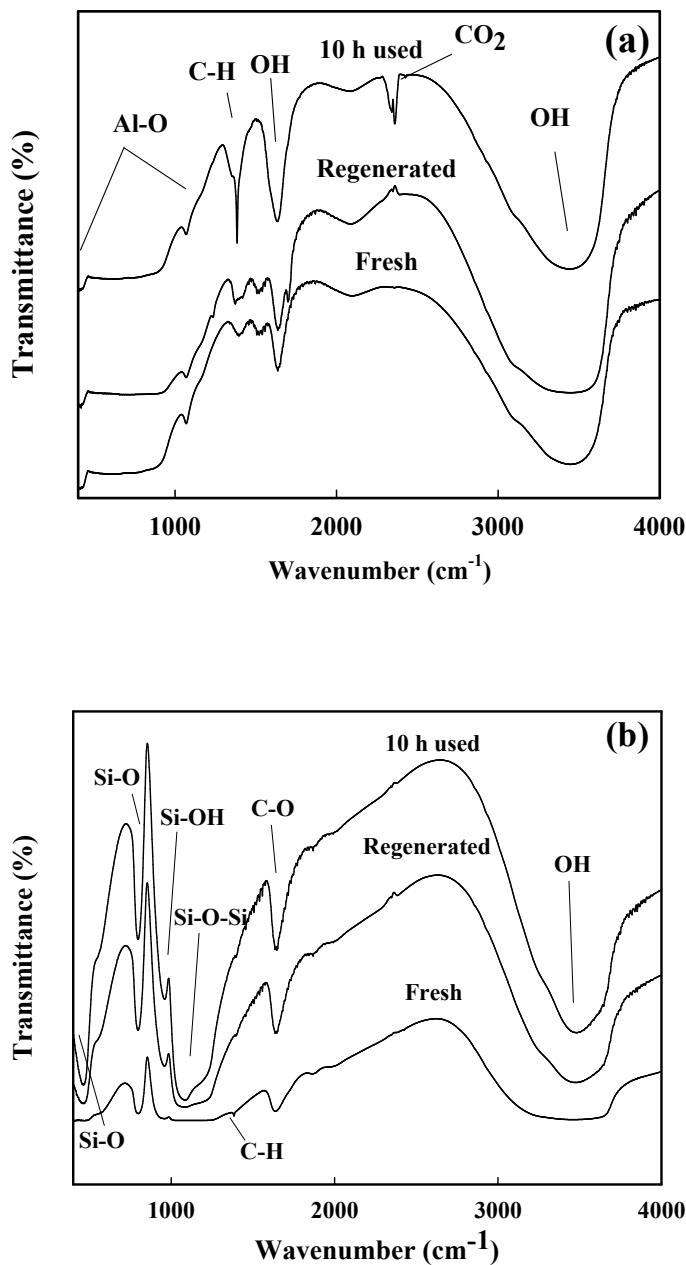


그림 17 (a) 새 알루미나, 사용된 알루미나, 재생된 알루미나의 FTIR 스펙트럼; (b) 새 실리카, 사용된 실리카, 재생된 실리카의 FTIR 스펙트럼

2.4. 요약

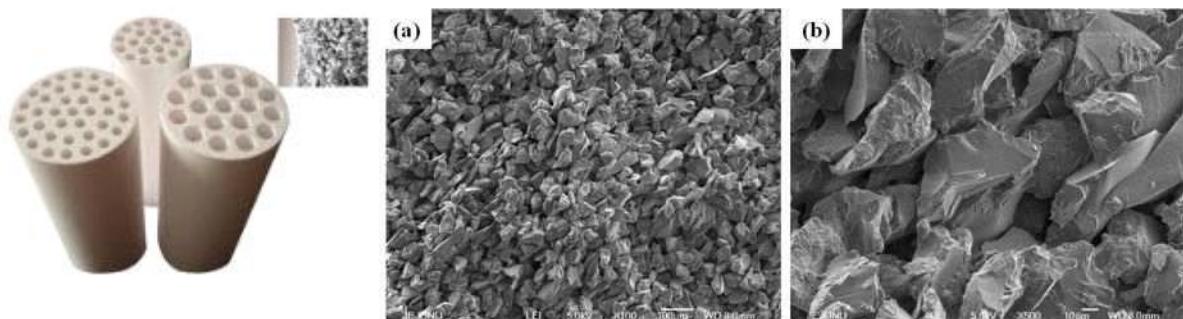
플라즈마 반응기에 α -알루미나, 실리카, 지르코니아, 글래스울을 충진하여 탄화수소계 악취 모사 가스인 에틸렌의 분해를 연구하였다. 충진물 중 α -알루미나가 가장 좋은 분해성능을 보여주었으나, 장시간 운전시 비활성화로 인해 일정 시간 경과 후 분해성능이 점차 감소하는 현상이 관찰되었다. 비활성화의 주 원인은 고분자 형태의 고체 퇴적물과 산소계 탄화수소이다. 장시간 운전 후 충진물의 색이 밝은 갈색으로 변화되었으며 비표면적이 크게 감소되었다. 사용

된 충진물이 산소분위기 하에서 플라즈마에 의해 재생되었을 때 BET 표면적 뿐만 아니라 분해 성능도 원래의 상태로 거의 회복되었다. 시간에 따라 분해성능이 감소하는 α -알루미나와 달리 촉매 특성이 없는 글래스울과 지르코니아는 밝은 갈색 고체 부산물의 퇴적과 무관하게 10 h 운전 동안 안정된 분해성을 유지하였다. 글래스울과 지르코니아로 충진된 플라즈마 반응기는 상당량의 메테인, 아세틸렌, 아세트알데하이드, 폼알데하이드를 부산물로 발생시키나, α -알루미나와 실리카로 충진된 플라즈마 반응기의 주요 부산물은 CO와 CO₂였다.

<2차년도> 축사 내부 최대 및 최소 환기량에 따른 공기정화 순환시스템 연구 / 축사 내외부 냄새제거 및 미생물 사멸정도 시험(2013년)

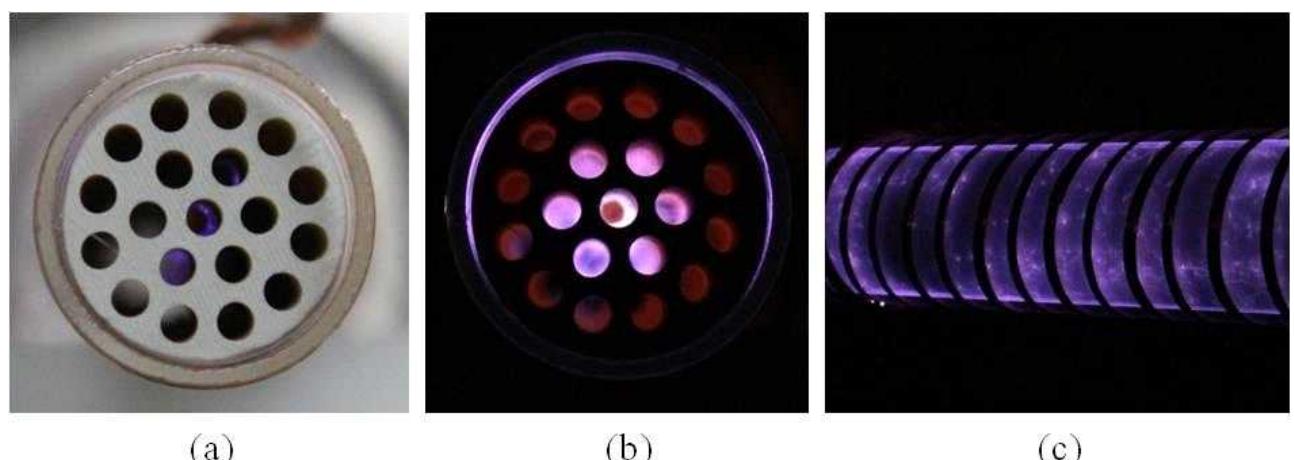
1. 광촉매 및 코팅 기술개발

압력손실을 최소화할 수 있으며 비교적 얕은 비표면적을 제공할 수 있는 촉매 지지체로 다중채널 다공질 세라믹 막을 사용하고, 이 지지체에 광촉매인 산화아연 (ZnO)을 코팅하였다. 다공질 막의 주성분은 흡착성능이 우수한 알루미나이며, 광촉매가 알루미나에 안정적으로 코팅될 수 있도록 질산아연 용액의 함침, 오븐에서의 건조 (110°C, 12시간), furnace에서의 소성 (550°C, 6시간) 과정을 거쳐 촉매제를 가공 제조하였다.



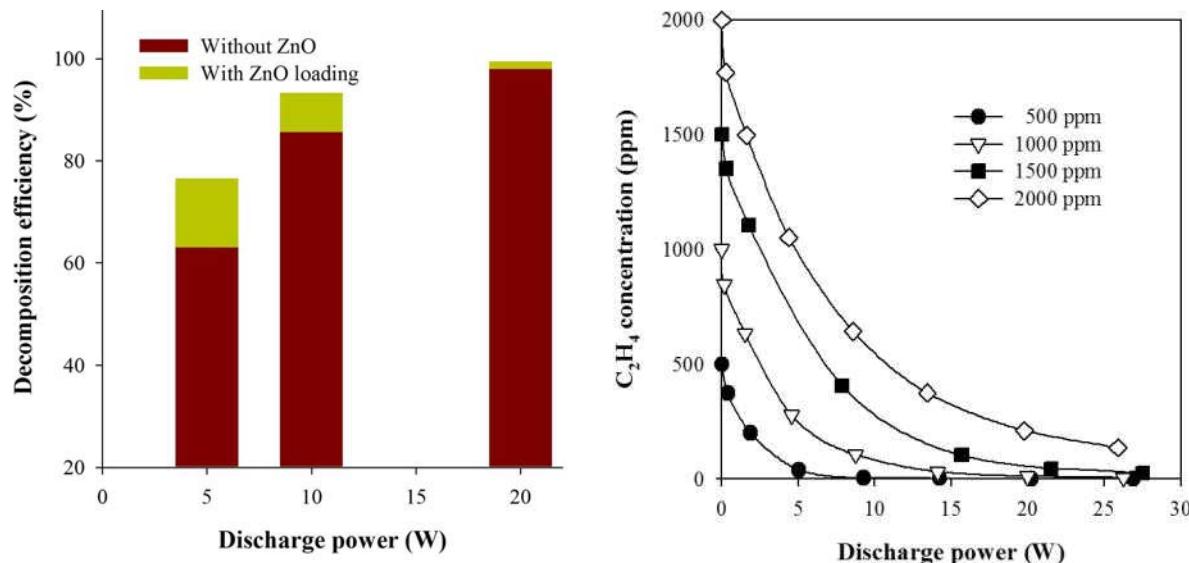
2. 플라즈마, 광촉매 최적 운전조건 도출

다중채널 다공질 세라믹 막내에서 저온 플라즈마를 발생시킬 수 있는 기술을 확보하고, 플라즈마 효과와 광촉매 효과가 복합적으로 악취물질 제거에 활용되도록 하였다.



분해과정 중에 악취 구성성분들인 알데하이드류 및 유기산류를 생성하는 에틸렌을 악취 모사

기체로 사용하여, 다양한 운전조건 (전압변화, 전력변화, 모사기체 유량 변화)에서의 분해성능을 평가하였다.



3. 축사 내부 최대 및 최소 환기량에 따른 공기정화 순환시스템 연구

(1). 현장 실증 장치 제작 및 현장설치

실증현장으로 제주특별자치도 제주시 애월읍 어음1리 187-107 위치한 선진농장으로 협의 선정하였다. 농장현황으로 대지면적 3,299M², 건물면적 1,375.49M²으로 연구개발 실증 대상으로 자돈사(350두, W6,000*L20,000*H3,000), 환기시설방식은 배기휀 4개소(\varnothing 500)+3개소(\varnothing 250) 강제배기와 급기시설은 자연급기를 선택하고 있었다. 대지 경계 외부는 과수원과 인접하여 있으며 경계에 공기정화시스템을 설치하기로 하였다. 축사환경에 적합한 저온플라즈마장치 공기정화시스템 시스템 구성은 축사내부에서 발생되는 악취물질을 환기휀으로 유입하여 먼지제거필터를 통과하여 먼지를 제거 후 저온플라즈마장치 내부의 활성화 반응을 시킨 후 자외선 램프의 광산화반응의 건식 반응을 마친 후 마지막 습식중화액순환장치를 통과하여 기액분리필터에서 기체에 포함 된 물을 제거하여 외부로 배출하는 흐름으로 되어 있다. 축사 현장에 그림 1과 같이 설치되는 공기정화시스템 설계 및 제작, 현장 설치는 자체의 기술력으로 하였다.

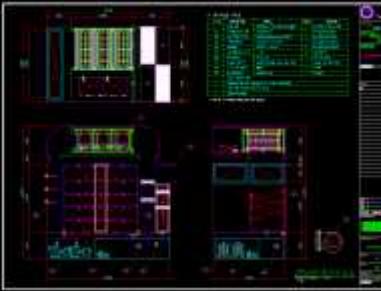
구분	설계	제작	현장설치
사진			
기간	'13.01.01.~'13.01.20.	'13.01.21.~'13.03.31.	'13.04.19.
내용	약취저감용량 60CMM	장치 제작	현장설치(선진농장)

그림 1 공기정화시스템의 설계 제작 현장설치

(2) 악취저감장치 현장 운전 및 악취물질 저감 효과측정

축사시설 내 사육두수 기준으로 최소·최대 환기량기준으로 설정하였으며 최소환기량 계산은 동절기 및 환절기, 하절기 환기량 중에서 동절기 최소 환기량을 기준으로 하였다. 축사 벽체에 설치된 배기채의 내부 및 외부에서 풍량을 측정하였으며 측정풍량 50~60CMM이다.(측정기기: TSI 9565-P, 9565P1230021, TSI Incorporated Made in USA)

공기정화 순환시스템 장치의 구성은 처리용량 60CMM이며 장치 규격은 그림 2 와 같이 가로 2,500mm 세로 2,500mm 높이2,500mm 의 중앙처리식 장치이다.

	
공기정화시스템 현장설치	공기정화시스템 성능 효과측정

그림 2 공기정화시스템의 현장설치 및 운전

축사 내부에서 발생되는 악취물질은 휴대용 악취측정기를 이용하여 그림 3 과 같이 공기정화시스템 운전 전후의 악취저감 효과를 조사하였다.

구분	현장 운전	악취저감 효과 측정
사진		
기간	'13.04.20.~'13.12.31.(연속운전)	'13.04.20.~'13.12.31.(측정)
내용	악취저감용량 60CMM	VOC, NH ₃ , H ₂ S, DUST

그림 3 공기정화시스템 현장 운전 효과측정

NodeID	TimeStamp	TEMP(°C)	HUMI	VOC(ppm)	CO ₂ (ppm)	NH ₃ (ppm)	H ₂ S(ppb)	DUST(ppm)	HUMI-DI(%RH)	비고
(1) 자동사 PIT증										
유효평균값	2013-07-10 오후 3:30:51	38.24	50.30	2.22	399.60	56.54	0.14	0.40	89.20	유효값
(2) 정상운전 배기헬/플라즈마/증화액										
평균값	2013-07-10 오후 4:08:53	39.00	48.25	1.13	399.33	39.73	0.00	11.00	89.75	
(3) 배기헬 운전										
평균값	2013-07-10 오후 4:36:15	38.58	46.93	0.45	399.85	28.60	0.00	85.25	88.75	
(4) 배기헬 / 플라즈마 운전										
평균값	2013-07-10 오후 5:02:05	38.50	45.00	0.15	400.85	26.65	0.00	3.50	88.00	유효값
(5) 배기헬 / 플라즈마 / 증화액 순환 PH10.01										
평균값	2013-07-10 오후 5:14:08	38.65	47.80	1.10	399.50	33.65	0.00	5.50	89.00	
(6) 배기헬 / 증화액순환 PH9.93										
평균값	2013-07-10 오후 5:26:31	38.85	47.25	1.05	399.70	33.05	0.00	8.50	89.00	
(7) 외부 대기 공기질										
평균값	2013-07-10 오후 5:45:50	38.47	39.00	0.00	399.39	0.00	0.00	0.85	86.92	

악취 물질 암모니아(NH₃)를 각각 측정 자돈사 내부에서 56.54ppm이였으며 공기정화시스템(플라즈마장치) 운전 26.65ppm으로 최대 52.87% 악취 제거 효과가 있었다.

구 분	Sample	unit: ppb				비고
		H ₂ S	MM	DMS	DMDS	
2013.06.20/ 오전	in1-1	38.5256	5.8472	2.2853	4.1846	
	in2-1	29.0952	0.2825	0	0.5307	
	in3-1	34.2926	8.4153	3.0854	2.5138	
	out1-1	20.6449	9.093	2.2289	7.7137	
	out2-1	47.0905	3.4601	1.1882	2.6776	
	out3-1	19.7582	11.4098	3.3212	4.2721	
2013.06.20/ 오후	in1-2	32.3352	3.3007	2.4082	2.2368	
	in2-2	42.0928	8.9004	5.6689	5.2236	
	in3-2	48.408	17.174	6.4515	9.8724	
	out1-2	56.6785	8.8234	2.1403	8.7325	
	out2-2	8.2133	0	0	0	
	out3-2	45.724	10.6448	5.5084	2.8382	
2013.06.21/ 오전	21in1	25.115	1.5041	1.4886	2.1778	
	21in2	43.1292	5.0346	3.1661	4.1865	
	21in3	47.6602	6.6977	3.5416	3.8762	
	21out1	48.6432	2.8326	1.1985	3.7049	
	21out2	18.9637	5.8603	1.9853	3.4874	
	21out3	19.2304	6.0427	2.0948	4.4877	

구분		Sample	unit: ppb				비고
			H ₂ S	MM	DMS	DMDS	
3반복 평균	20일 오전	in					
		out	20.20155	10.2514	2.2461	3.47485	
	21일 오전	in	45.3947	5.86615	3.35385	4.03135	
		out	19.09705	5.9515	2.04005	3.893333	

구분		Sample	unit: %				비고
			H ₂ S	MM	DMS	DMDS	
감소율	21일 오전						
			57.9311	-1.45496	39.17289	3.423584	

H₂S, MM(methyl mercaptan), DMS(demethylsulfide), DMDS(demethyldisulfide)

약취물질 황화수소(H₂S) 저감효과는 45.39ppb에서 19.09ppb로 저감되어 최대 57.93% 효과가 있었다.

(3) 축사 내·외부 냄새제거 및 미생물 사멸정도 시험

플라즈마 시스템을 이용한 부유미생물, 엔도톡신, 먼지 제거 효율 평가

- 부유 미생물 (unit : CFU/m³)

실내		1번 지점				
		1회	2회	3회	Mean	SD
30cm	부유진균	140112	164971	119774	141619	22636
	부유세균	188700	175141	167231	177024	10858
120cm	부유진균	153672	154802	123163	143879	17949
	부유세균	166101	187570	148022	167231	19798
2번 지점		1회	2회	3회	Mean	SD
30cm	부유진균	114124	166101	145762	141996	26192
	부유세균	162711	85875	167231	138606	45722
120cm	부유진균	74576	195480	172881	147646	64281
	부유세균	94350	175141	151412	140301	41526
3번 지점		1회	2회	3회	Mean	SD
30cm	부유진균	48022	190960	143502	127495	72801
	부유세균	107909	161581	114124	127871	29358
120cm	부유진균	131008	134463	132203	132558	1755
	부유세균	145502	200000	162711	169404	27859
실외		1회	2회	3회	Mean	SD
부유진균		5508	2683	2259	3483	1766
부유세균		12853	4802	1977	6544	5643

- 엔도톡신 (unit : EU/m³)

측정 높이	측정 지점			실외
	1번	2번	3번	
30cm	315.26	214.01	192.44	34.28
120cm	272.18	223.41	279.28	

- 분진 (unit : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

실내

1번 지점

		1회	2회	3회	Mean	SD
30cm	TSP	699.43	580.42	536.71	605.52	84.21
	PM ₁₀	190.14	224.36	284.19	232.90	47.60
	PM _{2.5}	15.36	16.42	19.60	17.13	2.21
	PM ₁	4.90	6.37	10.66	7.31	2.99
120cm	TSP	606.30	505.10	463.10	524.83	73.61
	PM ₁₀	155.08	195.86	236.16	195.70	40.54
	PM _{2.5}	21.91	23.84	28.58	24.78	3.43
	PM ₁	7.52	9.10	15.31	10.64	4.12

2번 지점

		1회	2회	3회	Mean	SD
30cm	TSP	615.13	496.12	452.41	521.22	84.21
	120cm	158.08	192.30	252.13	200.84	47.60
	PM _{2.5}	10.18	11.24	14.42	11.95	2.21
	PM ₁	2.48	3.95	8.24	4.89	2.99
120cm	TSP	534.00	432.80	390.80	452.53	73.61
	PM ₁₀	127.02	167.80	208.10	167.64	40.54
	PM _{2.5}	12.73	14.66	19.40	15.60	3.43
	PM ₁	4.10	5.68	11.89	7.22	4.12

3번 지점

		1회	2회	3회	Mean	SD
30cm	TSP	783.73	664.72	621.01	689.82	84.21
	PM ₁₀	274.44	308.66	368.49	317.20	47.60
	PM _{2.5}	99.66	100.72	103.90	101.43	2.21
	PM ₁	9.20	9.67	4.96	7.94	2.59
120cm	TSP	690.60	589.40	547.40	609.13	73.61
	PM ₁₀	239.38	280.16	320.46	280.00	40.54
	PM _{2.5}	106.21	108.14	112.88	109.08	3.43
	PM ₁	11.82	12.07	9.61	11.17	1.35

실외

	1회	2회	3회	Mean	SD
TSP	52.10	214.30	458.00	241.47	204.31
PM ₁₀	29.90	41.80	169.20	80.30	77.22
PM _{2.5}	8.49	8.27	91.30	36.02	47.87
PM ₁	3.31	3.66	16.91	7.96	7.75

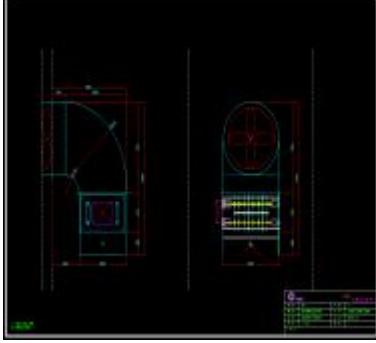
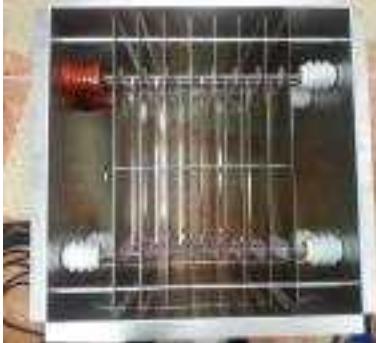
- 플라즈마 시스템 가동 전/후 비교

	가동 전	가동 후
실내	실내	실내
부유세균 (CFU/m ³)	266,666	227,118
부유진균 (CFU/m ³)	174,011	178,531
TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	753.4	590.2
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	120.2	145.5
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8.88	10.5
PM ₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.95	3.04
실외	실외	실외
부유세균 (CFU/m ³)	6214	423
부유진균 (CFU/m ³)	3107	401
TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	38	458
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13.8	169.2
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9.57	91.3
PM ₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2.64	16.91

플라즈마시스템(중앙식 공기정화시스템) 운전 전후의 미생물 사멸효과는 부유세균 99.8%, 부유진균 99.7%로 효과가 나타났다.

(4) 개별플라즈마 장치 설계, 제작, 설치 운전

하절기에는 축사내부 적정 온도를 유지하기 위하여 설치된 배기팬을 전량 운전하여 배출하므로 최대 환기량이 발생한다. 여러 개소의 배기팬 풍량을 한 곳으로 모아서 배출 처리하는 중앙처리장치로는 하절기 최대풍량을 처리할 수 없으므로 각각의 배기팬에 설치 가능한 개별식 처리장치가 필요하다. 축사 배기팬에서 배출되는 최대풍량은 20CMM으로 개별 처리가 가능한 악취저감장치를 설치 운전하였다.

구분	설계	제작	현장설치
사진			
기간	'13.07.01.~'13.07.15.	'13.07.16.~'13.07.31	'13.08.06.
내용	배기팬 전량 배출량	장치 제작	현장설치(선진농장)

<3차년도> 무창축사 최소 환기 유지기간 효율적 순환시스템 적용을 위한 축사 내부구조(바닥, 천정, 측벽)에 따른 공기정화 자동화 기술 적용(2014년)

1. 공기정화장치 기술 신뢰성 확보

약취저감 공기정화 장치 신뢰성 확보를 위하여 Prototype 6m³ /h의 유전체배리어방전식 플라즈마 반응장치 그림 1, 그림 2와 같이 설계 및 제작, 설치, 운전하였다. 그림 2와 같이 세라믹 관 기반 동축 원통형 플라즈마 유전체배리어방전식 반응기 (7개) 병렬 연결하여 대용량화 구현하였으며 플라즈마 반응기 내부에 제올라이트 촉매 (4 mm, zeolite 13X)를 충진하여 저전력으로 고효율의 분해성능을 나타낼 수 있도록 제작하였다. 운전방법으로 교류 400 Hz를 투입하여 유량 100~300 L/min 약취모사 농도를 3~20 ppm으로 변화하며 분석하였다. 농도분석은 기체 크로마토그래프(GC) 및 퓨리에변환적외선분광기(FTIR)를 이용하여 각각의 농도를 그림 3과 같이 분석하였다.

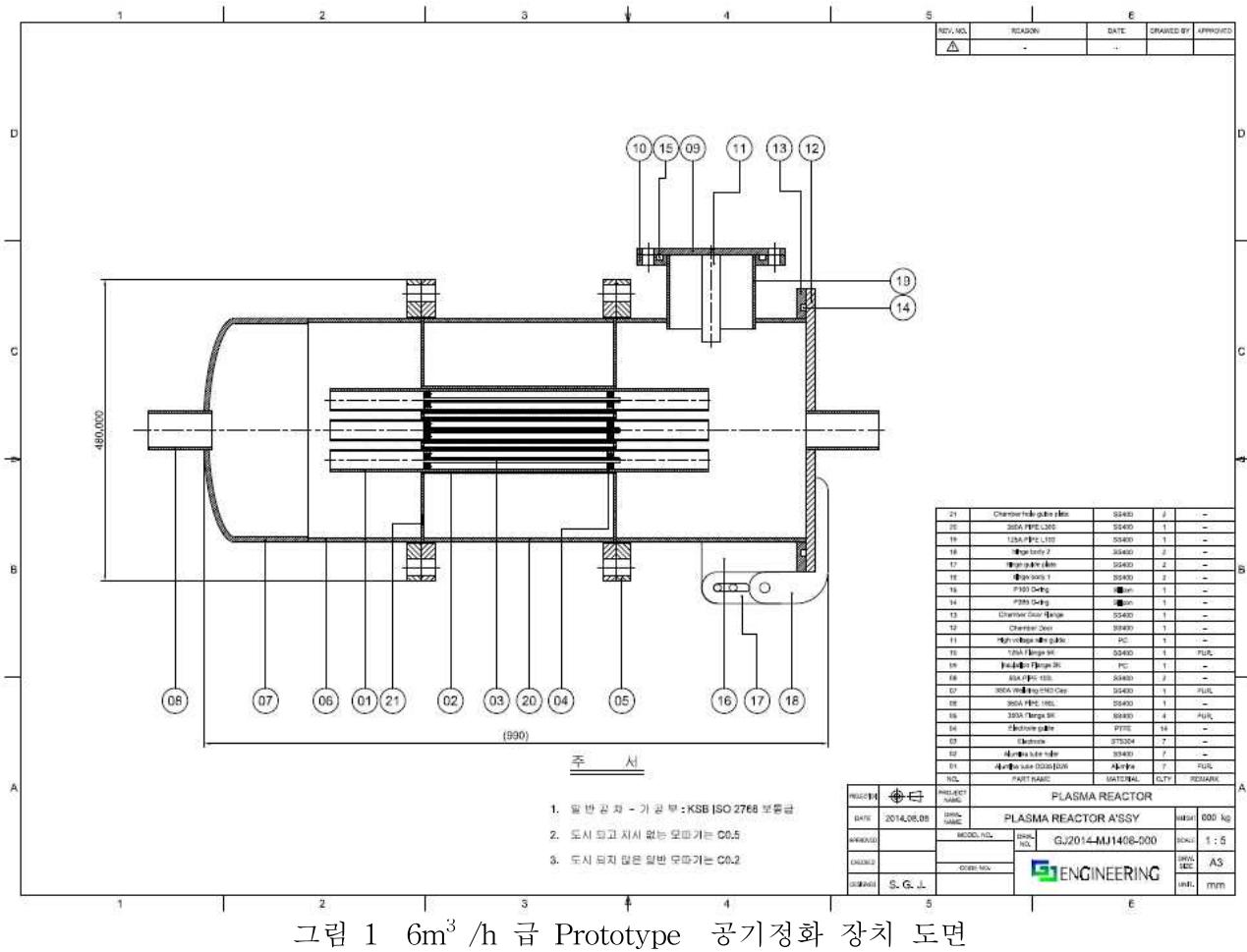


그림 1 6m³/h 급 Prototype 공기정화 장치 도면

그림 2 6m³ /h 급 Prototype 공기정화 장치

공기정화 장치 내부

구분	유량 변화에 따른 전력 및 전압	유량 변화에 따른 분해 효율																																																	
그래프	<table border="1"> <caption>Data points estimated from Graph 3(a)</caption> <thead> <tr> <th>Discharge power (W)</th> <th>Voltage (kV) - 113 L/min (▲)</th> <th>Voltage (kV) - 280 L/min (●)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>11.5</td><td>10.5</td></tr> <tr><td>10</td><td>14.5</td><td>12.5</td></tr> <tr><td>15</td><td>16.0</td><td>14.0</td></tr> <tr><td>20</td><td>-</td><td>15.5</td></tr> <tr><td>25</td><td>-</td><td>17.0</td></tr> </tbody> </table>	Discharge power (W)	Voltage (kV) - 113 L/min (▲)	Voltage (kV) - 280 L/min (●)	0	0	0	5	11.5	10.5	10	14.5	12.5	15	16.0	14.0	20	-	15.5	25	-	17.0	<table border="1"> <caption>Data points estimated from Graph 3(b)</caption> <thead> <tr> <th>Discharge power (W)</th> <th>Decomposition efficiency (%) - 113 L/min (●)</th> <th>Decomposition efficiency (%) - 280 L/min (△)</th> <th>Decomposition efficiency (%) - 113 L/min, 3.5 ppm (●)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>65</td><td>20</td><td>65</td></tr> <tr><td>10</td><td>70</td><td>45</td><td>75</td></tr> <tr><td>15</td><td>75</td><td>65</td><td>75</td></tr> <tr><td>20</td><td>70</td><td>68</td><td>-</td></tr> <tr><td>25</td><td>70</td><td>70</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	Discharge power (W)	Decomposition efficiency (%) - 113 L/min (●)	Decomposition efficiency (%) - 280 L/min (△)	Decomposition efficiency (%) - 113 L/min, 3.5 ppm (●)	0	0	0	0	5	65	20	65	10	70	45	75	15	75	65	75	20	70	68	-	25	70	70	-
Discharge power (W)	Voltage (kV) - 113 L/min (▲)	Voltage (kV) - 280 L/min (●)																																																	
0	0	0																																																	
5	11.5	10.5																																																	
10	14.5	12.5																																																	
15	16.0	14.0																																																	
20	-	15.5																																																	
25	-	17.0																																																	
Discharge power (W)	Decomposition efficiency (%) - 113 L/min (●)	Decomposition efficiency (%) - 280 L/min (△)	Decomposition efficiency (%) - 113 L/min, 3.5 ppm (●)																																																
0	0	0	0																																																
5	65	20	65																																																
10	70	45	75																																																
15	75	65	75																																																
20	70	68	-																																																
25	70	70	-																																																
기간	2014.10.01.~2014.11.16.	2014.10.01.~2014.11.16.																																																	
내용	유량을 변화시키며 전압과 전력 관계 측정 (▲: 113 L/min, 9 ppm; ●: 280 L/min, 3.5 ppm)	유량을 변화시키며 유기화합물 (C_2H_4) 제거효율 측정 (●: 113 L/min, 9 ppm; △: 280 L/min, 3.5 ppm)																																																	

그림 3 6m³ /h 급 Prototype 공기정화 장치 성능 평가

2. 무창돈사 내부구조에 따른 효율적인 환기시스템 적용 자동화 기술 현장설치 및 운전전후의 악취저감효과 검증

(1) 현장 실증 장치 제작 및 현장설치

실증현장으로 경남 김해시 주촌면 선자리 214에 위치한 성만선지축산으로 협의 선정 하였다. 실증 대상 축사는 비육돈사로서 220두를 사육하고 있었으며 사육동의 바닥면적은 $145m^3$ 이다. 환기시설은 무창축사 벽체에 배기휀 Ø400, Ø500 각각 쌍으로 3개소 설치되어 있었으며 하절 기에는 배기휀 2조가 동시에 운전하여 최대 풍량으로 배출하며 동절기의 최소 풍량 배출 시에는 Ø400 작은휀이 온도비례 제어로 운전되고 있다. 저온플라즈마 공기정화시스템의 구성은 축사 배기휀 운전으로 배출되는 악취물질은 습식세척장치 및 저온플라즈마 활성화장치를 통과하여 외부로 배출된다. 개별식 악취저감장치는 배출 풍량 최소최대 환기량 처리가 가능하다는 장점이 있다.

(2) 주요 연구 결과

축사의 배출 풍량 변화에 처리가 가능한 개별식 공기정화시스템 처리장치를 그림 1 과 같이 최소 최대 배기량 처리에 적합한 장치를 설계 및 제작, 현장 설치는 자체의 기술력으로 하였다. 축사에서 배출되는 기체에는 각종 사료먼지 및 기타의 이물질이 많이 포함되어 있으므로 주기적으로 장치 내부를 세척할 수 있는 세척분무장치를 상부에 그림 2 와 같이 설치하였다. 세척수 살균처리장치의 용량은 160Lp으로 악취저감장치 먼지 세척수 처리에는 충분하도록 선정하였다. 세척수 살균처리장치용 저장조에 저장된 세척수를 연속 순환하여 살균처리하므로 운전시간에 따라 처리결과가 나타내었다.

구분	설계	제작	현장설치
사진			
기간	2014.01.01.~2014.03.31.	2014.04.01.~2014.05.15.	2014.05.16.
내용	배기휀 직결형 시스템	저온플라즈마 장치	3개소설치(성만선지축산)

그림 1 저온플라즈마공기정화시스템 설계, 제작, 현장설치

구분	설계	제작	현장설치
사진			
기간	2014.02.01.~2014.03.31.	2014.04.01.~2014.05.16.	2014.05.17.
내용	세척수살균장치	저온플라즈마 살균장치	장치설치(성만선지축산)

그림 2 습식세척설비 세척수살균장치 설계, 제작, 현장설치

무창축사 벽체 배기氚의 최대 처리 풍량은 50CMM으로 측정되었다. (측정기기 TSI 9565-P, 9565P1230021, TSI Incorporated Made in USA) 그림 3 과 같이 현장 악취물질을 분석하였으며 악취물질 분석은 부산카톨릭대학교에 의뢰하였다.

구분	현장 운전	악취저감 효과 측정
사진		
기간	2014.05.16.~2014.10.29.(연속운전)	2014.10.29
내용	저온플라즈마 복합악취저감시스템	NH ₃ , H ₂ S, DUST

그림 3 악취저감시스템 현장 운전 및 효과측정

세척수 살균장치 운전은 그림 4 와 같이 세척수 저장조, 순환펌프, 플라즈마살균장치, 전원장치 등으로 구성되었으며 습식세척수 저장조 용량 1,000Liter, 순환배관 50A, 순환펌프 160Lpm*6M으로 수질 분석기관으로 ㈜동진생명연구원, 대구 보건환경연구원에 수질 분석을 의뢰하였다.

구분	현장 운전	악취저감 효과 측정
사진		
기간	2014.05.17.~2014.10.29.(연속운전)	2014.07.01
내용	세척수 살균장치	COD, TN, TP, 총대장균수

그림 4 습식세척설비 세척수 살균장치 현장운전 및 효과측정

악취저감시스템 성능평가는 가스상 물질(NH_3 , H_2S)을 측정하였다.

농도단위(암모니아-ppm, 황화수소-ppb)

구 분	1(무처리)			2(습식 세척-원수)			3(습식 세척-살균)			4(플라즈마처리)		
암모니아 (NH_3)	Mean	S.D	효율 %	Mean	S.D	효율 %	Mean	S.D	효율 %	Mean	S.D	효율 %
	18.4	2.22	-	12.3	0.95	33.1	10.8	0.28	41.3	9.6	0.26	47.8
황화수소(H_2S)	Mean	S.D	효율 %	Mean	S.D	효율 %	Mean	S.D	효율 %	Mean	S.D	효율 %
	58.5	30.48	-	59.07	2.68	-	58.55	1.62	-	53.66	1.46	-

분석결과 암모니아 물질변화는 각각 33.1%, 41.3%, 47.8% 저감효과를 나타났으며 황화수소 물질변화는 변동사항이 없는 것으로 분석되었다. (측정일시 : 2014.10.29./부산카톨릭대학교)
 악취물질 분석 중 3(습식 세척-살균)운전에서 플라즈마살균장치 고장으로 세척수 살균이 이루어지지 않은 상태이다.

악취저감장치 내부에 부착된 먼지를 세척하기 위한 용도로 사용되는 세척수 살균장치 성능평가 시간별로 처리결과를 확인할 수 있었다.

검체명	COD (mg/L)	부유물질 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)	총대장균수 (개/mL)	운전시간
세척원수	379.6	770.0	65.28	5.376	17,000	세척수
처리수-1	262.4	430.0	63.84	5.050	1,200	30분 살균처리
처리수-2	201.3	285.0	62.40	6.019	790	60분 살균처리
처리수-3	179.8	230.0	54.24	5.174	360	150분 살균처리
처리수-4	174.9	235.0	57.60	5.126	320	180분 살균처리
처리효율(%)	53.9	69.5	11.8	4.7	98.1	

저온플라즈마 세척수 살균장치는 COD, 부유물질, 총대장균 처리효율이 각각 53.9%, 69.5%, 98.1%로 탁월하며, 악취물질 세척수 살균에 적용하여 세척수를 연속적으로 활용할 수 있음을 확인할 수 있었다.(측정일시 : 2014.07.01./ (주)동진생명연구원, 대구 보건환경연구원)

<4차년도> 냄새 및 미생물 등 무창축사(계사) 내 오염물질 제거 공기정화 시스템 설계 및 제작(시험농가 설치)(2015년)

1. 현장 실증 장치 제작 및 현장설치

개별식 악취저감장치 실증현장으로 제주특별자치도 제주시 애월읍 고성리 164번지 위치한 제주양돈으로 협의 선정하였다. 설치현장 농장현황으로 무창축사 비육돈사로서 바닥면적 350m², 사육두수 500두, 배기량 0~5,800CMH으로 시내와 인접하여 축사 청소는 비교적 잘 되도 있는 축사이다. 공기정화시스템 시스템구성은 무창축사 벽체에 설치된 배기휀에서 배출되는 악취물질은 개별식 저온플라즈마활성화장치 통하여 습식보조분무설비 병렬 처리 후 외부로 배출된다. 당 현장에서는 공기정화시스템 운전별 측정은 NH₃, O₃, 전자파 및 자기장, 플라즈마장치 내부 온도를 분석하였다. 축사 현장에 그림 1 과 같이 설치되는 공기정화시스템 설계 및 제작, 현장 설치는 자체의 기술력으로 하였다.

구분	설 계	제 작	현장설치 및 운전
사진			
기간	2015.01.01. ~ 2015.03.31	2015.01.01. ~ 2015.03.31	2015.04.01. ~ 2015.12.31.
내용	공기정화시스템 설계	공기정화시스템 제작	5개소설치 (제주양돈) 운전

그림 1 설계 및 제작, 현장 설치, 운전

2. 연구수행 주요 결과

축사에 설치된 개별식 악취저감장치의 공정별 운전 및 악취물질은 그림2, 그림3과 같이 측정되었다.

구분	플라즈마 운전	습식보조분무설비운전	화산 현상 측정
사진			
내용	악취물질 측정(검지관) NH ₃ , H ₂ S, Mercaptans, Methy-Ethyletonne 거리별 측정		

그림 2 공기정화시스템 공정별 운전

구 분	플라즈마처리		비 고
	NH ₃ (ppm)	O ₃ (ppm)	
처리 전	24, 20, 24, 25, 24	0	24, 24, 26, 25, 26
처리 후	18, 16, 18, 17, 16	25	16, 18, 18, 15, 16
제거효율	27.3%	출구측정	33.5%

그림 3 공기정화시스템 운전별 악취물질 농도 측정

악취물질 농도변화를 종합적으로 분석 비교하였다. 악취저감시설 측정지점 점검은 배기囱 출구 후렉시블 덕트 직경 $\phi 500$ 0M, 1M, 2M, 3M, 4M, 5M 거리기준으로 평균풍속 1.6418m/s 측정되었다.(측정값 1.45, 1.42, 1.56, 1.57, 1.87, 1.84, 1.56, 1.61, 1.79, 1.68, 1.71m/s, 풍속측정기

기 TSI 9565-P, 9565P1230021) 후렉시블 덕트 내의 통과 풍량은 19.34CMM이다.

개별식 처리시스템에서 NH₃ 제거효율은 플라즈마처리 약 27.3%, 습식분무처리 약 33.5% 저감효과를 나타냈다. 중앙처리시스템(중앙처리시스템, 플라즈마+습식분무처리)에서는 NH₃ 52.87%, H₂S 57.93% 제거효율과 비교하면 처리효율이 낮은 것을 알 수 있다.

공기정화시스템은 저온플라즈마방전 고전압(DC + 20KV) 운전전력 DC 20KV, 200Wh 이므로 운전에 따른 주변의 전기적 영향력을 측정하였다. 전자파E(50cm) 515, 613, 464, 572V/m, 자기장M(50cm) 151, 132nT으로 측정되었다. 플라즈마장치 운전 중 내부 온도변화는 각각 22.2°C, 21.6°C, 22.1°C, 20.9°C, 76.5%RH로 저온플라즈마 운전에 온도변화의 물질적 특성 변화는 없는 것으로 측정되었다. 플라즈마 전자파 국제기준이 10V/n 이므로 전자파의 위험성 영향은 있는 것으로 판단된다.

무창계사에 적용 가능한 개별식 공기정화시스템으로 돈사에 적용된 장치를 응용하여 계사에 그림 4 와 같이 설계 제작하였다. 시스템구성은 저온플라즈마장치, 습식보조분무설비, 배출 단계로 구성하였다. 현장 확인 계사는 제주특별자치도 제주시 한림읍 명상로 106-7번지 위치한 신일농장으로 바닥면적 약 200m²의 계분처리장 및 계분건조장으로 선정 확인하였다.

구분	설 계	제 작	현장확인
사진			
기간	2015.05.01. ~ 2015.05.31.	~ 2015.06.01. ~ 2015.06.30.	2015.07.01.
내용	공기정화시스템 설계	공기정화시스템 제작	산란사/계분처리 건조장

그림 4 무창계사 공기정화시스템 장치 설계 및 제작

<5차년도> 무창계사 시험 농가 공기정화 시스템 성능시험 및 운전조건 최적화 / 장치 표준화 설계(2016년)

실증현장으로 전라남도 농업기술원 축산연구소 무창계사로 협의 선정 하였다. 실증 대상 축사는 무창계사 실별 육계 300수를 사육하며 사육기간 약 32일 생육 주기로 하였다. 무창 계사 규격은 가로 4,800mm 세로 3,200mm 높이 3,500mm(경사지붕)이며 바닥면적은 15.36m³ 이다. 환기시설은 중간 복도의 자연급기와 벽체 상부의 배기휀 Ø300 1개소 설치되어 강제 배기시설로 환기되고 있다. 설치된 배기휀 운전은 계사 내부의 온도에 비례하여 배기휀 회전수가 연동하여 적정 풍량이 배출된다. 현장 실증 사업으로 무창계사 공기정화시스템 종합효율 성능시험, 저온플라즈마시스템 고전압발생장치의 물리적 특성 비교분석, 개방식 원치돈사 현장 분석, 플라즈마 방전의 기술적 이론, 적용된 장치 표준화 설계도면 작성으로 마무리 된다.

1. 현장 실증 장치 제작 및 현장설치

공기정화시스템 시스템구성은 무창계사 벽체에 설치된 배기휀에서 배출되는 악취물질은 개별식 저온플라즈마활성화장치, 습식보조분무설비 각각 처리 후 외부로 배출된다. 계사 현장에 그림 1 과 같이 설치되는 공기정화시스템 설계 및 제작, 현장 설치는 자체의 기술력으로 하였다.

구분	현장	설계 / 제작	현장설치 / 운전
사진			
기간	2016.03.24	2016.03.24.~2016.05.18.	2016.05.19.~2016.07.17.
내용	전남 농업기술원 축산연구소	공기정화시스템 제작	저온플라즈마장치 / 습식 분사설비

그림 1 무창계사 시험농가 공기정화시스템 설계 및 제작 / 시험농가설치 / 운전

2. 주요 연구 결과

무창계사 측정은 배출풍량, 온습도, 악취물질 기준으로 측정하였으며 전식처리방식인 플라즈마 단독처리 운전상황은 플라즈마 운전전류 DC(+20.1KV, 6mA(평균 값) 소비전력 120.6Wh, 무창계사 배기휀 배출량은 24회 측정하여 평균 배출 풍량 2.52CMM이다. 이때 덕트 내부의 평균 풍속은: 0.59m/s, 배출덕트 직경 ϕ 300MM, 후렉시블 덕트로 배출된다. 배출휀 배출구 온습도 평균값은 27.3°C, 85.9%RH이다. 풍량 측정기기는 TSI 9565-P, 966 Probe, 일련번호 9565P1230021, July 2012. 악취물질 측정기구 검지관식 기체측정기, GV=100S을 그림 2 와같이 사용하였다.

구분	육계 입식	현장 측정-1	현장 측정-2
사진			
기간	2016.06.08	2016.07.02.	2016.07.06.~07.
내용	300수/실, 무창계사	풍량계, 검지관 측정	풍량계, 검지관, NH ₃ 측정

그림 2 무창계사 시험농가 공기정화시스템 종합효율 성능시험

육계 사육 수령 25일 경과 악취물질 측정에는 장마 기간으로 비가 내리는 외부 환경 배출 덕트에서 측정하였다.

구분	NH ₃ (ppm)	H ₂ S(ppm)	CH ₃ COC ₂ H ₅ (%)	R.SH(ppm) (Total Mercaptans)	비고
배출구 1회	5	0	0	0	
배출구 2회	-	0	0	0	
처리구 1회	4	-	-	-	
- 배출구 : 무창계사 배기휀 출구 약 500MM 측정점					
- 처리구 : 무창계사 플라즈마장치 운전 후 후렉시블덕트 약 3.0M 측정점					

배출구에서 악취물질 H₂S, CH₃COC₂H₅, R.SH(Total Mercaptans) 측정은 검지관으로 측정이 불가능하였으며 암모니아(NH₃) 측정은 배출구 및 처리구 측정값이 각각 5ppm, 4ppm으로 측정값이 작게 측정되어 연속측정이 가능한 NH₃ 센서 방식 측정이 필요하였다.

2.1 플라즈마처리 / 습식분사설비 각각 전후 처리

처리방법	배출풍량 (CMM)	암모니아(NH ₃ , ppm))		처리효율 (%)	비고
		처리전 (배기휀 출구)	처리후 (배출 덕트)		
플라즈마 처리	2.93	11.37	7.20	36.67	
습식보조설비		11.37	7.83	31.13	
<ul style="list-style-type: none"> - 측정일시 : 2016년07월06일 14:20~16:45 - 플라즈마 운전조건 : DC(+) 20.1KV, 6mA - 120.6Wh, 외형치수 W500*H500*L500-SUS304 - 암모니아 측정 : GasAlertMicro5, SE315-001596, by Honeywell Analytics - 풍량 측정기기 : TSI 9565-P, 966 Probe, 일련번호 9565P1230021, July 2012. - 습식설비 운전조건 : 분사노즐 1.71LPM / 2kg/cm² - 육계 사육 수령 30일 경과 					

육계 사육 수령 30일 경과에서 처리 풍량 2.93CMM에서 운전 전후의 암모니아(NH₃) 처리효율은 플라즈마장치 단독 운전에서 36.67%, 습식보조설비 단독 운전에서 31.13% 저감 효과를 나타냈다. 운전상태는 플라즈마장치 운전에 소비되는 전력량은 120.6Wh 였으며 습식살수장치의 노즐 살수분사량은 1.71LPM / 2kg/cm² 이다.

2.2 습식분사설비 전후 처리

처리방법	배출풍량 (CMM)	암모니아(NH ₃ , ppm))		처리효율 (%)	비고
		처리전 (배기 훈 출구)	처리후 (배출 덕트)		
습식보조설비	2.69	12.11	9.05	25.2	

- 측정일시 : 2016년07월07일 09:31~10:55
- 플라즈마 운전조건 : DC(+) 20.1KV, 6mA - 120.6Wh,
외형치수 W500*H500*L500-SUS304
- 암모니아 측정 : GasAlertMicro5, SE315-001596, by Honeywell Analytics
- 풍량 측정기기 : TSI 9565-P, 966 Probe, 일련번호 9565P1230021, July 2012.
- 습식설비 운전조건 : 분사노즐 1.71LPM / 2kg/cm²
- 육계 사육 수령 31일 경과

육계 사육 수령 31일 경과에서 처리 풍량 2.69CMM에서 운전 전후의 암모니아(NH₃) 처리효율은 습식보조설비 단독 운전에서 25.5% 저감 효과를 나타냈다. 습식살수장치 운전 조건은 노즐 살수분사량은 1.71LPM / 2kg/cm² 이다.

2.3 UV 광촉매필터 / 카본필터 전후 처리

처리방법	배출풍량 (CMM)	암모니아(NH ₃ , ppm))		처리효율 (%)	비고
		처리전 (배기 훈 출구)	처리후 (배출 덕트)		
UV/카본필터	2.93	11.37	10.50	7.00	2016.07.06
UV/카본필터	2.69	12.11	12.21	-	2016.07.07

- 측정일시 : 2016년07월06일 14:20~16:45, 2016년07월07일 09:31~10:55
- 플라즈마 운전조건 : DC(+) 20.1KV, 6mA - 120.6Wh,
외형치수 W500*H500*L500-SUS304
- 암모니아 측정 : GasAlertMicro5, SE315-001596, by Honeywell Analytics
- 풍량 측정기기 : TSI 9565-P, 966 Probe, 일련번호 9565P1230021, July 2012.
- 육계 사육 수령 30일, 31일 경과

육계 사육 수령 30일 31일 경과에서 처리 풍량 2.93CMM 2.69CMM에서 운전 전후의 암모니아(NH₃) 처리효율은 UV광촉매필터/카본필터 복합사용에서 각각 7.0% 0% 으로 실질적인 저감효과는 없었다. 이는 필터 설치의 연속 사용에 저감 효과가 없는 것으로 판단된다.

2.4 오존(O₃) 농도 측정

플라즈마장치	배출덕트 길이별 측정값(ppm)				비고
	0.5M	0.5M	3.0M	3.0M	
배출덕트 내부	6	6	6	6	O ₃ 농도는 배출덕트 이후, 외부에서 측정 불가
장치외부(2M)	0				

- 측정일시 : 2016년07월06일 14:20~16:45
- 측정기기 : 검지관식 기체측정기, GV=100S
- 육계 사육 수령 30일 경과

육계 사육 수령 30일 경과에서 플라즈마장치 운전 상태에서 배출 덕트 거리별 오존(O₃) 농도를 측정하였다. 사용 덕트는 ⌀ 300MM 후렉시블 덕트를 사용하였으며 덕트 내부의 오존(O₃) 농도는 거리에 상관없이 6.0ppm이며, 덕트 출구의 외부에서는 0.0ppm이다. 덕트 내부에서는 연속적인 플라즈마발생장치 운전으로 일정농도를 유지하지만 덕트 출구 외부에는 순간적으로 외부 공기에 희석됨을 알 수 있다.

2.5 저온플라즈마시스템 고전압발생장치의 물리적 특성 비교 분석

구분	기계식 고전압전원장치 물질특성	전자식 고전압전원장치 물질특성
사진		
기간	2016.11.10.	2016.11.10.
내용	E(N/m), M(n/T), O ₃ , W(Wh) 측정	E(N/m), M(n/T), O ₃ , W(Wh) 측정

그림 3 고전압발생장치의 물리적 특성 분석

2.5.1 기계식 고전압전원장치의 물리적 특성

구분	시간(분)					
	0	5	10	15	20	30
E (V/m)	005, 004	47, 52, 51, 54, 52, 56	43, 41, 42	58, 58, 59	46, 46, 50	47, 48, 51, 50
M (nT)	308, 327, 307, 297, 278	367, 366, 317, 352	316, 305, 298	421, 376, 372, 358, 406	376, 386, 403, 380, 396	318, 324, 322, 316
W (Wh)	78.7, 78.6, 78.7	78.7, 78.6	78.6, 78.4, 78.45	79.3, 79.3	79.8, 80.0, 79.8, 79.2	80.4, 80.5, 80.94
O ₃ (ppm)	0	80	125	162	184	-(UP)

- E(N/m) 측정 : 플라즈마발생장치 외부 측면에서 측정
 전원장치 측면에서 측정은 무한대(UP) 값으로 측정 불가

- M(n/T) 측정 : 플라즈마발생장치 외부 측면에서 측정
 전원장치 측면에서 측정은 무한대(UP) 값으로 측정 불가

- M/E-ANALYSER : ME3030B S-NR. ME3XXX 013000051855(GERMANY)
 국제기준 E: 10V/m(기준초과), M: 200nT(기준초과)

- 전원장치 : 기계식 권선, 20KV DV(+)

2.5.2 전자식 고전압전원장치의 물리적 특성

구분	시간(분)					
	0	1(추가)	2	5	15	20
E (V/m)	-	-	005, 006, 007, 008	006, 006, 006	-	-
M (nT)	534, 519, 567, 608, 597	-	427, 447, 426, 459	446, 426, 475, 469	-	-
W (Wh)	V(KV)	0	20.1	20.1	-	-
	A(mm A)	0	5.1	5.0, 5.0, 5.1	5.0, 5.1, 5.1	-
	Wh	29.7, 29.7	128	128, 128, 127	128, 128, 127	-
O ₃ (ppm)	0	70	195	-(UP)	-	-
<ul style="list-style-type: none"> - E(N/m) 측정 : 플라즈마발생장치 외부 측면에서 측정 전원장치 측면에서 측정은 무한대(UP) 값으로 측정 불가 - M(n/T) 측정 : 플라즈마발생장치 외부 측면에서 측정 전원장치 측면에서 측정은 무한대(UP) 값으로 측정 불가 - M/E-ANALYSER : ME3030B S-NR. ME3XXX 013000051855(GERMANY) 국제기준 E: 10V/m(기준 이하), M: 200nT(기준초과) - 전원장치 : 전자식, 20KV DV(+) - 무부하 상태의 전력량 : 29.7Wh(환기 훈 운전) - 전원장치 소비전력 측정 POWER MANAGER(전자식스위치/디지털측정기), S/N:070925, DAWON DNS C0.,LTD. - 오존(O₃) 측정 검지관 QC NO. 41093 4-400PPM(JAPAN) GASTEC 검지관식 기체측정기 GV-100S(JAPAN) 						

그림 3 과 같이 고전압발생장치의 물리적 특성을 비교하기 위하여 소비전력 대비 오존(O₃) 발생량 비교 분석하였다.

기계식: 0.2033ppm/min.Wh(80ppm/5min.78.7Wh)

전자식: 0.9848ppm/min.Wh(195ppm/2min.(128.7-29.7)Wh)으로

소비전력 대비 O₃ 발생량은 전자식 고전압발생장치에서 4.8배 이상 상승하므로, 플라즈마 발생량이 비례 상승함을 유출할 수 있다. 그러므로 악취저감시스템의 전원장치로는 전자식 고압발생기 적용이 타당하지만 제작단가가 약 5배 이상 상승하므로 경제성을 판단하여 선택해야 한다.

2.6 개방식 원치돈사 현장 분석

개방식(원치식)축사의 현황파악으로 제주특별자치도 제주시 상명리 1865번지 위치한 제주흑돼지농장을 현장 조사하였다. 과수원 내부에 위치하여 사방이 개방되어 있는 축사시설로 육성돈사, 자돈사, 임신사 3개동으로 구성되어 있으며 사육두수 약 700두 사육되고 있었다. 환기방식으로는 개방식 축사시설로서 별도의 환기설은 없으며 내부 중앙에 정체된 공기를 외부로 배출하기 위한 환기휀이 축사 내부 중앙에 설치되어있다. 그림 4 와 같이 동절기에는 벽체에 설치된 천막을 내리는 원치시설로 천막을 바닥까지 내려 닫으므로 축사 내부의 온도를 유지하며 그 외의 기간에는 천막을 적당히 올려서 환기시키고 있다. 그림 5 와 같이 하부에는 자연 분뇨배출구가 형성되어 바닥으로 돈분이 배출되며 주변에는 수집된 돈분을 건조하기 위한 비닐하우스시설에서 돈분을 자연 건조 처리하고 있었다.

구분	개방식 원치돈사 외부	개방식 원치돈사 내부
사진		
기간	2016.11.12~18	2016.11.12~18
내용	원치커튼 개방 자연환기방식	축사내부 돈 분비물 외부 배출

그림 4 원치커튼 개방식 돈사의 환기방식

구분	돈분 처리장	돈분 배출구
사진		
내용	비닐하우스 내부 돈분 자연건조	돈분 외부 배출 처리 수집장

그림 5 개방식 돈사의 부대시설

개방식 돈사의 악취물질(NH_3) 측정은 그림 6 과 같이 외부의 천막을 모두 내리고 출입문을 닫은 상태에서 측정하였다. 개방식 축사는 하부 돈분 배출구가 개방되어 있으므로 완벽하게 외부와 격리된 상태를 유지하는 것은 어렵다. 개방식 축사 악취물질(NH_3) 측정위치 육성돈사 내부의 수평거리 외벽에서 약 3.0M, 수직 높이 약 1.5M에서 측정하였다.

구분	축사내부의 악취물질 측정	축사내부의 악취물질 측정
사진		
기간	2016.11.12~18	2016.11.12~18
내용	온·습도, NH ₃ , H ₂ S, Total Mercaptans	온·습도, NH ₃ , H ₂ S, Total Mercaptans

그림 6 축사내부의 악취물질 측정

구분	측정일시		비고
	2016.11.12	2016.11.17	
온·습도	25.3°C, 63.1%RH	19.7°C, 92.1%RH	
내부기류	0.14m/s	0.052m/s	
암모니아(NH ₃)	4~5ppm	8~10ppm	제주흑돼지농장 개방식축사 내부

측정기기

풍량측정 : TSI 9565-P, 966 Probe, 일련번호 9565P1230021, July 2012.

NH₃, H₂S, Total Mercaptans 측정 :

검지관 QC NO. 41093 4~400PPM(JAPAN),
GASTEC 검지관식 기체측정기 GV-100S(JAPAN)
GasAlertMicro5, SE315-001596, by Honeywell Analytics

개방식 축사시설 악취물질 측정으로 외부의 환경요소에 좌우되며 외부기온이 높고 풍량이 있을 경우 가림막을 개방하여 환기를 시행하므로 축사내부의 악취농도가 낮으나, 외부 기온 낮고 풍량이 없을 경우에는 가림막을 내려 축사내부를 밀폐하므로 축사내부의 악취농도가 높게 나타났다. 특히 외부의 돈분 건조 처리장 및 외부와 연결된 돈분 수집장에서 악취농도는 높음 측정되었다.

2.7 플라즈마 방전의 기술적 이론

플라즈마(코로나) 방전 시 생성되는 화학적 활성종(O, OH, H₂O₂, O₃)과 광촉매제를 복합 설치하여, 방전 시 생성되는 화학적 활성종에 의한 다성분계 유·무기성 악취유발물질 산화공정 및 미생물 살균공정이 동시에 진행되며, 방전 시 발생되는 자외선을 악취제거 광촉매제에 직접 조사하는 복합구성의 장치로 유기성 및 무기성 악취를 처리할 수 있도록 개발된 기술이다.

- 플라즈마(코로나) 방전 화학적 활성화 처리단계



<제 1 단계 : 플라즈마(코로나) 방전에 의한 화학적 활성종 산화 단계>

플라즈마(코로나) 방전 시 생성되는 각종 화학적 활성종(O, OH, H₂O₂, O₃)인 산화성 물질을 이용하여 다성분계의 유·무기성 악취원인물질을 CO₂와 H₂O로 변화시키며 후속공정인 악취제거광촉매제의 분해성능을 촉진시키는 단계

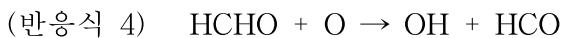
양성(+)코로나 전기방전에 의해 발생되는 각종 산화성 활성종, 고에너지, 전자 및 광자에 의해 냄새가 처리되는 과정은 다음과 같다.(예, HCHO)

[양성 코로나 전기 방전에 의한 활성종의 생성]



여기서 e는 전자를 나타낸다.

[활성종에 의한 제거반응]



반응식 (4)-(6)과 같이 포름알데히드는 각종 활성종들에 의해 궁극적으로 이산화탄소로 산화된다.

각종 산화성 활성종과 충분한 시간동안 반응된 유기성 악취물질 및 무기성 악취물질은 최종적으로 CO₂와 H₂O 가스로 전환되는 단계를 <그림 1-1> <그림 1-2>에 나타내었으며, 물질별 대표적인 산화 반응 메커니즘을 <표 1-1>에 나타내었다.

◆ 양성 코도나 전기 방전에 의한 활성종 생성

- ① $e + O_2 \rightarrow e + O + O$
- ② $e + H_2O \rightarrow e + O + OH$
- ③ $O + O_2 \rightarrow O_3$

[e:Electron Avalanche]

◆ 활성종에 의한 약취물질 제거 반응[예. formaldehyde]

- ① $HCHO + O \rightarrow OH + HCO$
- ② $HCHO + OH \rightarrow H_2O + HCO$
- ③ $HCO + O_3 \rightarrow H + O_2 + CO_2$



<그림 1-1> 플라즈마(코로나)방전 시 활성종에 의한 약취물질 산화반응



<그림 1-2> 플라즈마(코로나)방전 시 각종 화학적 활성종 생성

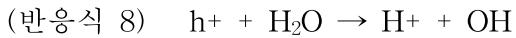
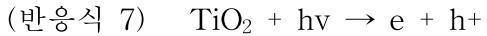
<표 1-1> 대표적인 지정약취물질과 산화성 활성종 반응 메커니즘

약취 물질	반응식
황화수소	$3H_2S + O_3 \rightarrow 3H_2O + 3S$ $3S + 6O_3 \rightarrow 3SO_2 + 6O_2$ $3SO_2 + 3O_3 \rightarrow 3SO_3 + 3O_2$ $3SO_3 + 2H_2O \rightarrow 3H_2SO_4$
메틸메르캅탄	$2CH_3SH + O_3 \rightarrow (CH_3)_2S_2 + H_2O + O_2$ $(CH_3)_2S_2 + 5O_3 \rightarrow (CH_3SO_2)_2O + 5O_2$
다이메틸설플파이드	$(CH_3)_2S + 2O_3 \rightarrow (CH_3)_2SO_2 + 2O_2$
트라이메틸아민	$(CH_3)_3N + 3O_3 \rightarrow CH_3NO_2 + 2CO_2 + 3H_2O$
다이메틸다이설플파이드	$2(CH_3)_2S_2 + H_2O + O_3 \rightarrow 2CH_3SO_3H$
암모니아	$2NH_3 + O_3 \rightarrow N_2 + 3H_2O$
스타이렌	$C_6H_5CHCH_2 + 20O_3 \rightarrow 8CO_2 + 4H_2O + 20O_2$
톨루엔	$C_6H_5CH_3 + 6O_3 \rightarrow 7CO_2 + 4H_2O$
자일렌	$C_6H_4(CH_3)_2 + 21O_3 \rightarrow 8CO_2 + 5H_2O + 21O_2$

<제 2 단계 : 고에너지, 전자, 광자에 의한 악취제거광촉매제 활성화 분해 단계 >

플라즈마(코로나) 방전 시 발생되는 자외선 파장은 300~400nm 범위의 고에너지 전자 및 광자로 광촉매제인 이산화티타늄(TiO_2)을 활성화시켜 강산화제인 수산화라디칼 상태로 변화 시켜 악취원인물질을 강력하게 산화시키는 단계

플라즈마(코로나)방전에 의해 발생되는 자외선의 파장은 300~400 nm 범위로서 이를 광자에너지로 환산하면 3~4 eV이다. 또한 고에너지 전자의 평균에너지는 5 eV에 이른다. 이산화티타늄의 띠간격(band gap) 에너지는 약 3.2 eV이므로 고에너지 전자 및 광자에 의해 활성화될 수 있다. 광자 및 고에너지 전자에 의한 냄새제거 과정을 포름알데히드를 예로 설명하면 다음과 같다:



반응식 (7)에서 $h\nu$ 는 각각 플랑크 상수와 광자의 진동수를 나타낸다. 반응식 (8)에 의해 발생된 수산화라디칼은 반응식 (5)와 같이 포름알데히드를 제거시킨다. 수산화라디칼의 산화페텐셜(oxidation potential)은 2.8 V로서 강력한 산화제이므로 냄새원인 물질을 쉽게 산화시킬 수 있다.

<제 3 단계 : 처리 공기 중에 포함된 배오존 처리 단계>

플라즈마(코로나) 방전 시 미 반응 오존을 최종단계에서 오존분해촉매제인 탄소, 이산화망간, 산화구리 등을 필터 형태로 구성하여 배출되는 오존을 흡착 제거함으로써 안전성을 향상시키는 단계

3-1 흡착의 정의

일반적으로 흡착(Adsorption)은 고-액, 기-액, 액-액 계면에서 기체 혹은 액체중의 특정 성분이 농축(Concentration)되는 현상을 말한다.

3-2 물리·화학적 흡착

흡착제의 흡착은 형태에 따라 물리흡착(Physical Adsorption)과 화학흡착(Chemical Adsorption)으로 분류한다. 물리흡착을 지배하는 힘은 Van der waals 힘이고 화학흡착을 지배하는 것은 이온결합 또는 공유결합 등의 화학 결합력이다.

3-3 활성탄의 기능

(1) 유기성 악취물질의 흡착에 의한 제거

흡수에 의해 제거하기 어렵고 오존 산화에 의해 제거되지 않은 알데하이드류, 메틸에틸케톤, 프로피온산, 아세트산에틸, 이소부탄올 등을 제거한다.

(2) 배오존의 흡착과 산화에 의한 제거

(3) 기액분리기에서 제거하지 못한 5 μm 이하의 입자를 여과에 의한 제거

3-4 배오존 촉매 분해 기능¹⁾

플라즈마(코로나) 방전 시 발생될 수 있는 오존을 처리하기 위하여 최종단계의 오존분해촉매

1) 배오존 분해장치 요소기술 개발 및 설계사양 도출, 제주대학교, 2008년

제는 방전에 의해 생기는 오존을 제거하기 위한 것이다. 양성 코로나 방전에 의해 발생되는 오존의 양은 교류 코로나 혹은 음성 코로나에 비해 적기는 하나, 오존은 인체에 유해하므로 제거 시켜야 한다. 최종단계의 오존분해촉매제인 탄소필터(Charcoal filter), 이산화망간(MnO_2), 산화구리 등을 필터 형태로 구성하여 배출되는 오존을 처리한다.

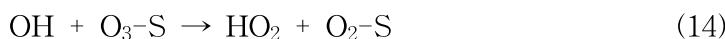
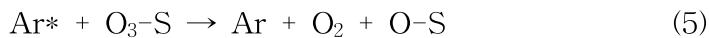
(1) 오존 분해 이론

오존 분해 처리 과정은 2단계로 구성된다. 첫째 오존이 함유된 배기가스를 저온 코로나 방전기에 통과시켜 기상의 오존 및 수분을 흡착성유전체에 흡착시킨다. 이때 일어나는 흡착 반응은 다음과 같다.



반응식 (1)-(2)에서 S는 흡착성 유전체를 나타내고, O_3-S 와 H_2O-S 는 각각 흡착된 오존과 흡착된 수분을 나타낸다.

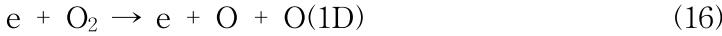
둘째 단계에서는 오존이 함유된 배기가스가 반응기로 유입되지 못하도록 차단하고, 대신 저온 코로나 방전기에 비활성기체 (아르곤 등)를 소량 흘려주며 반응기에 잔류하고 있는 산소를 완전히 불어낸 다음 고전압을 인가하여 코로나 방전을 발생시킨다. 산소를 완전히 불어내지 않으면 코로나 방전 발생 시 산소로부터 오존이 생성될 수 있다. 무산소 상태에서 반응기에 코로나 방전이 발생되면 비활성기체로부터 각종 활성 성분들이 생성되고, 활성성분들이 흡착되어 있던 오존을 빠르게 산소로 분해시킨다. 분해되지 않고 탈착된 오존은 비흡착성 유전체가 충진된 부분에서 기상 코로나 방전 반응을 통해 분해된다.



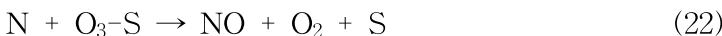
반응식 (3)-(15)에서 e^- 는 전자를 나타내고, Ar^* 은 여기 상태 (excited state)의 아르곤을 나타내며, $O-S$ 는 흡착상태의 산소원자를 나타낸다. 반응식 (3)에 의해 생성된 여기상태의 아르곤은 반응식 (5)와 같이 흡착된 오존과 충돌하여 오존을 분해시킬 수 있다. 본 연구의 코로나 방전 기에는 니켈-크롬 (nickel-chrome) 전극이 사용되어 반응기에 열을 공급할 수 있는데, 열이 공급되면 흡착되었던 오존과 수분이 반응식 (6)-(7)과 같이 탈착되기도 한다. 반응식 (5)에 의해 생성된 흡착상태의 산소원자는 탈착된 오존을 반응식 (8)과 같이 분해시킬 수 있으며, 여기상태의 아르곤은 반응식 (9)와 같이 탈착된 오존을 분해시킬 수 있다. 반응식 (9)에 의해 생성된 기상의 산소원자는 오존과 반응하여 반응식 (10)과 같이 산소를 생성한다. 반응식 (12)에 의해 수분과 전자의 충돌로 생성되는 수산화라디칼은 오존과 반응성이 매우 높아 반응식 (13)과 반

응식 (14)처럼 오존을 분해시킨다. 반응식 (14)에 의해 나타나는 흡착상태의 산소분자는 반응식 (15)와 같이 쉽게 탈착된다. 이밖에도 코로나 방전 상태에서는 수많은 반응들이 동시에 일어날 수 있다.

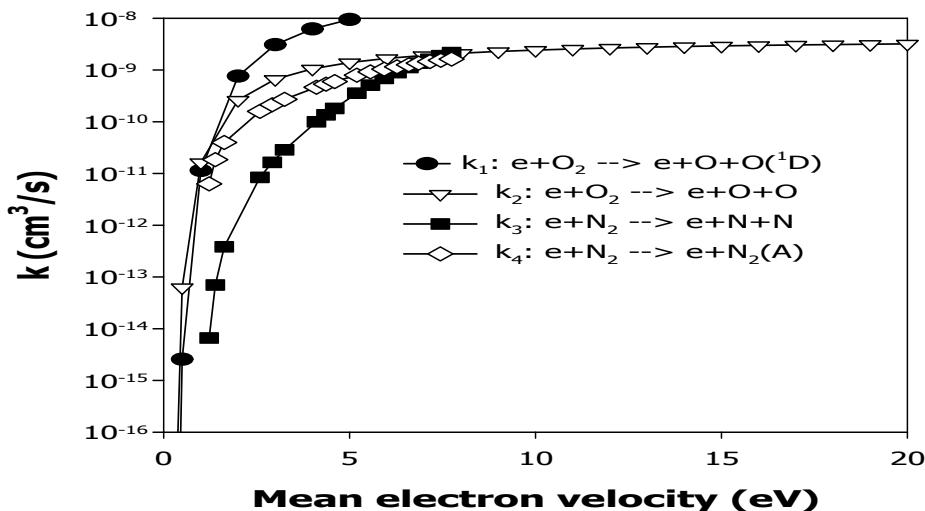
<그림 1-1>은 질소와 산소가 전자와 충돌할 때 평균 전자에너지의 함수로 주요 전자 충돌 반응의 속도상수 k 를 보여주는 그래프이다.



반응식 (16)–(19)에서 e 는 전자를 나타내고, $O(1D)$ 는 들뜬 상태의 산소원자, $N_2(A)$ 는 들뜬 상태의 질소분자를 나타낸다. <그림 3-6>와 같이 반응식 (16)–(19)의 속도상수는 평균 전자에너지의 증가에 따라 급격히 증가하는데, 질소를 오존 분해용 기체로 사용할 때 N , $N_2(A)$ 와 같은 화학활성성분들이 많이 생성될수록 오존의 분해가 잘 일어나므로, 강한 전기장을 형성하여 매우 높은 에너지를 가진 전자들을 다량 발생시키게 되면 오존의 분해에 매우 효과적이다. 질소를 오존 분해용 기체로 사용할 때 오존의 분해 반응은 다음과 같다:



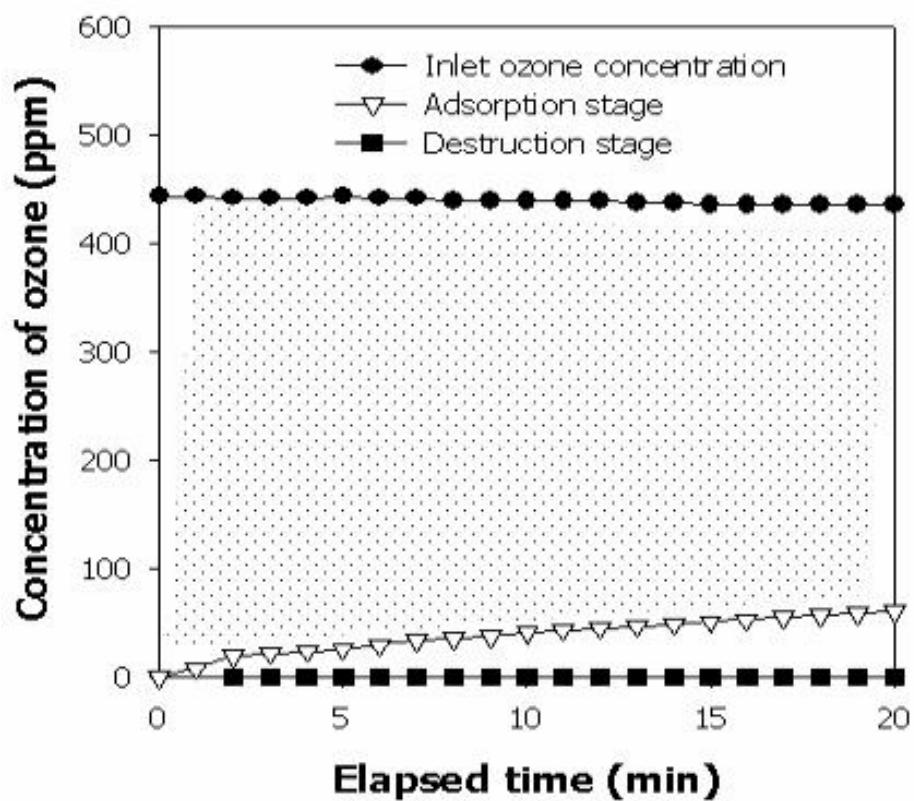
반응식 (20)–(27)과 같이 질소를 오존 분해 기체로 사용하게 되면, 오존이 분해되기도 하지만 NO 와 NO_2 등이 생성되기도 한다.



<그림 1-1> Dissociation rate constants for oxygen and nitrogen.

(2) 흡착 및 분해 과정의 오존 농도

오존 분해 과정은 2단계로 구성된다. 배기가스의 오존을 흡착시키는 1단계에서, 오존과 산소로 이루어진 모사 배기가스의 유량은 2 L/min이었고, 모사 배기가스의 오존 농도는 약 440 ppm이었다. <그림 1-2>은 저온 코로나 방전기 입구의 오존 농도, 오존 흡착 단계에서 저온 코로나 방전기 출구의 오존 농도, 오존 분해 단계에서의 저온 코로나 방전기 출구의 오존 농도를 나타낸다. 측정에서는 배기가스의 오존을 20min 동안 흡착시켰는데, 오존이 흡착성 유전체에 대부분 흡착되어 저온 코로나 방전기 출구에서는 낮은 농도의 오존이 검출되었다. 2단계인 오존 분해단계에서는 아르곤을 1.83 L/min으로 흘려주며 저온 코로나 방전기에 10.7 kV (1 kHz)의 전압을 공급하였으며, 이때 방전전력은 24 W였다. 오존 분해단계에서 교류 고전압을 저온 코로나 방전기에 공급하기에 앞서 아르곤으로 반응기에 잔류하는 산소를 완전히 불어내었다. 2번째 단계인 오존 분해 단계에서 저온 코로나 방전기 출구에서는 오존이 전혀 검출되지 않았는데, 이 결과는 흡착되었던 오존이 완전히 분해되어 산소로 전환되었음을 나타낸다. 저온 코로나 방전 오존분해 장치에서는 니켈-크롬선이 방전극으로 사용되었으므로, 니켈-크롬선에서 발생하는 열에 의해서도 상당량의 오존이 분해된다. 일부의 오존은 탈착되어 배출될 수도 있는데, 분해되지 않고 탈착된 오존은 비흡착성 유전체 (유리구슬)가 충진된 부분에서 코로나 방전에 의해 분해가 되므로 오존이 완벽히 처리될 수 있었다. 오존 분해효율을 더욱 높이기 위한 방법으로는 수분과 오존을 흡착성유전체에 동시에 흡착시키는 것이다. 수분이 존재하는 경우는 반응식 (12)-(15)와 같이 오존의 분해 속도를 더욱 증가시킬 수 있다. 한편, 수분은 실리카겔에 매우 높은 흡착량을 보이므로 실리카겔을 빠르게 포화시킬 수 있으나, 배오존의 흡착시간을 짧게 하면 오존의 흡착에 문제가 없다. <그림 1-6>에서는 440 ppm의 오존을 20 min 동안 흡착시켰는데, 실제 배오존의 농도는 10 ppm 이내로 매우 낮으므로, 실제 공정에서는 훨씬 긴 시간동안 흡착시킬 수 있다. 예를 들어, 배오존의 농도가 10 ppm 이라면, 871.4 min 동안 흡착시킨 양과 동일하다. <그림 1-6>에서 그림자로 표시된 부분의 면적은 실리카겔에 흡착된 오존의 양을 나타내며, 흡착된 오존의 양은 0.032 g (6.665×10^{-4} mol)으로 계산되었다.

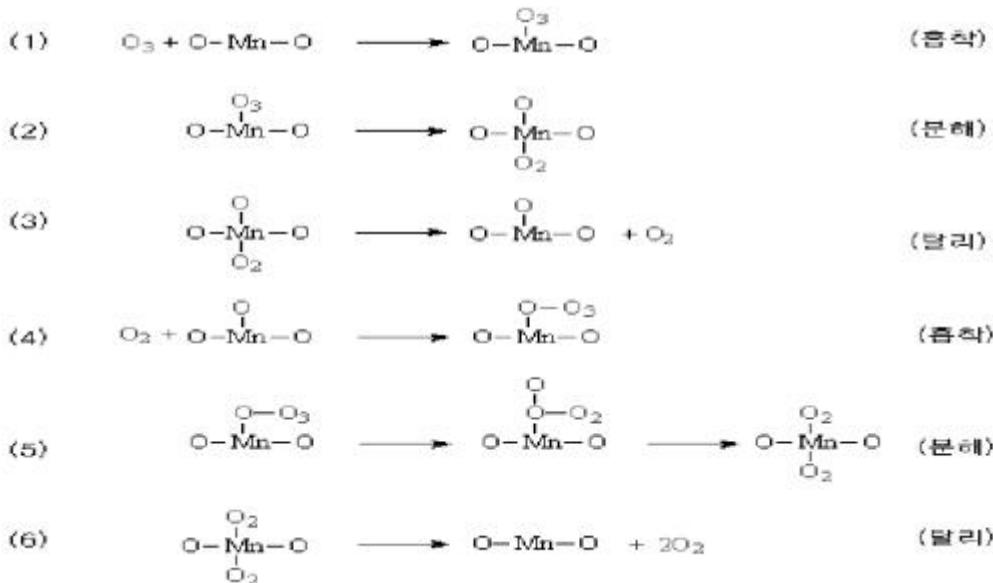


<그림 1-2> Concentrations of ozone at the inlet of the plasma reactor during adsorption stage, at the outlet of the plasma reactor during adsorption stage, and at the outlet of the plasma reactor during destruction stage (working gas: argon 1.83 L/min).

(3) 배오존의 촉매 분해 기술 평가

종래의 오존의 분해 촉매제로 사용된 활성탄 경우 활성탄을 빈번하게 교체시켜 주어야 하는 번거로움이 있고, 주기적인 교체에 따라 운전비용이 상승하며, 반응열 축적으로 인한 화재의 위험성이 큰 문제점들이 있는데, 이산화망간 촉매는 상온에서도 오존을 빠르게 분해하며 습도가 높은 조건에서도 사용될 수 있다. 이산화망간 촉매는 약 0.3초의 체류시간을 필요로 하는데, 이는 촉매 부피가 귀금속의 경우와 비교하여 매우 작아짐을 의미하며, 또한 비용 측면에서도 매우 효과적임을 의미한다.

이산화망간에 의한 오존 분해는 다음 반응식으로 표현될 수 있다.



<기 타 : 처리 공기 중의 미생물 사멸 단계>

유동상의 처리 공기 중에 부유하는 각종 미생물들이 플라즈마(코로나) 방전부를 통과할 시 고전압 및 각종 화학적 활성종에 의해 복합 살균시키는 단계

플라즈마(코로나) 방전에 의해 생성되는 각종 화학적 활성종 및 고전압, 고에너지 전자 및 광자, 에 의해 공기 중에 부유하는 각종 대장균, 박테리아 등 미생물들이 방전부를 통과할 시에 미생물의 세포벽 및 DNA를 파괴하는 살균 효과 단계로, 악취제거장치에 의한 미생물 수의 변화를 <표 1-2>에 나타내었다.

<표 1-2> 악취제거장치 처리 전후의 미생물 수 변화

미생물군	무처리군 (CFU/mL)	처리군 (CFU/mL)
E. coli	10^8	1
S. aureus	10^8	1
B. cereus	10^8	8
S. typhi	10^8	0
공중낙하균	세균 및 곰팡이 발생	미생물 발생 안함

* 악취제거 장치 처리 전 미생물은 108 CFU/mL 전배양한 배양액을 페트리디ッシュ에 도말하였으며, 48hr, 35°C에서 배양한 결과이다.

2.8 장치 표준화 설계도면 작성

- 첨부 1.

<1 협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

제 1 절 이산화염소 가스 분무장치를 적용한 필터링 기술 제시(양돈)

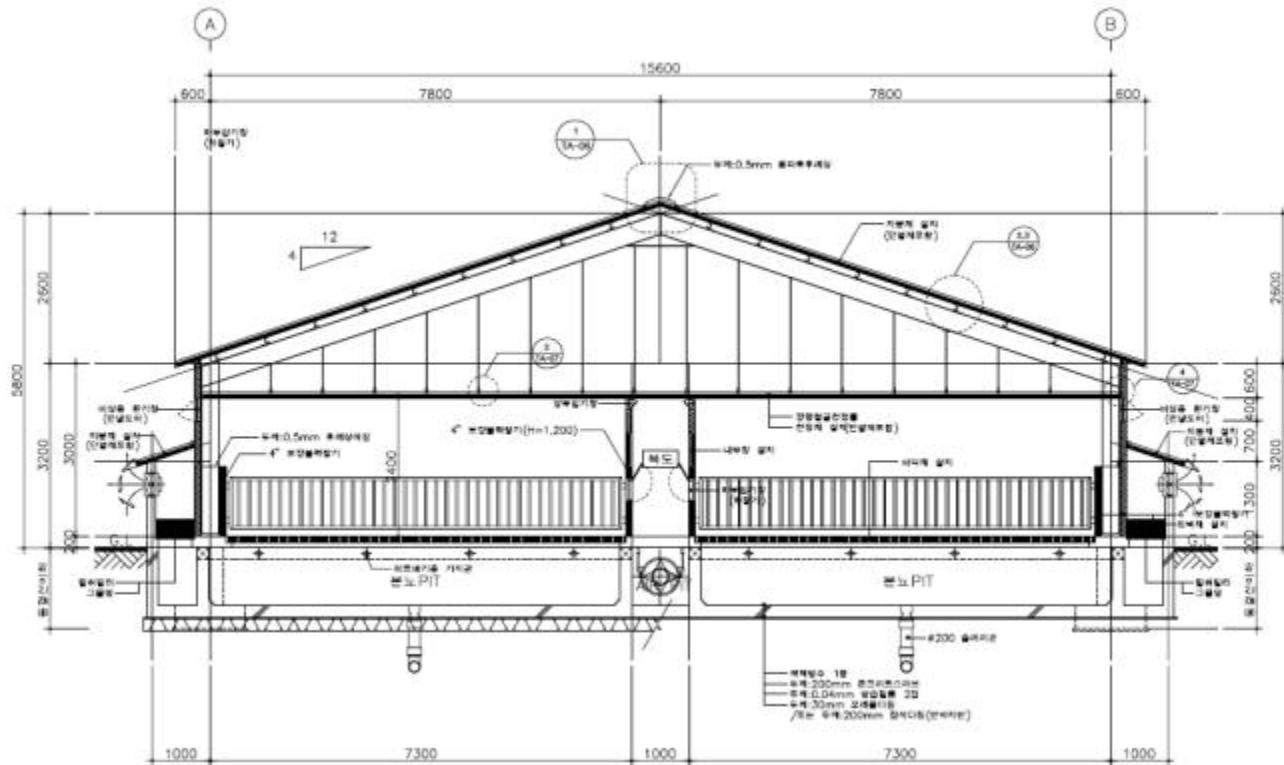
1. 시험방법

이산화염소 가스 분무장치를 무창돈사의 냄새저감을 위한 필터링 기술로 적용하기 위하여 양돈장 및 2008년 축사표준설계도(농림축산식품부, 2008)의 환기시설을 조사하여 무창 비육돈사 및 번식돈사의 환기시스템을 분석하였다.

2. 시험결과

가. 축사표준설계도(비육돈사)

2008년 축사표준설계도의 비육돈사는 이유 후 비육을 위한 축사 형태로서 초기 육성돈과 후기 출하단계까지 사육할 수 있는 사육환경을 조성할 수 있는 축사로 설계하였다(그림 2). 비육돈사 크기는 최대 폭 15.6m × 길이 108.0m × 높이 3m로 설계할 수 있다. 돈사 바닥은 슬랫 형태로 설계하였고 분뇨 저장방법은 슬러리 방식으로 하였다. 또한 환기시설, 보온시설 및 비상 시 환기를 위한 비상창을 설치하여 비상 시 자연환기가 가능하도록 하였다. 돈방 크기는 3m로 하여 사육밀도에 따라 마리수를 조정하는 것으로 설계하였고 중앙 통로를 기준으로 2열 배치하였다.



<그림 2> 축사표준설계도(비육돈사) 주단면도

비육돈(68~100kg)의 필수 환기율은 저온기 10CFM(1분간 1입방피트, 1CFM=0.0283CMM), 적온기 35CFM, 고온기 120CFM이다. 환기량은 돈사 1m 당 사육 두수 6.2두, 두 당 환기량 3.396CMM 일 때 산간형 $43.58 \leq 45\text{mm}$, 표준형 $57.19 \leq 60\text{mm}$, 해안형 $40.16 \leq 40\text{mm}$ 으로 지역별로 차이가 있다(그림 3).

$$A. 1\text{M} \text{당 사육수 } 2\text{열} \times 7.5\text{두}/\text{열} \div (2.2\text{M} \times 1.1) = 6.2 \text{ 두/M}$$

$$B. \text{두 당 환기량} \rightarrow 3.396 \text{ CMM/두}$$

$$C. \text{따라서 } 3.396\text{CMM/두} \times 6.2\text{두/M} = 21.1 \text{ CMM/M}$$

D. W 계산 : 식 ④로부터

$$W = \frac{Q}{6 \times C_x \sqrt{h(p_0 - p_i)}}$$

$$(1) \text{산간형}(W) = \frac{21.1}{6 \times 0.71 \times \sqrt{0.0186}} = 36.32\text{mm} \times 1.2 = 43.58 \leq 45 \text{ mm}$$

$$(2) \text{표준형}(W) = \frac{21.1}{6 \times 0.71 \times \sqrt{0.0108}} = 47.66\text{mm} \times 1.2 = 57.19 \leq 60 \text{ mm}$$

$$(3) \text{해안형}(W) = \frac{21.1}{6 \times 0.71 \times \sqrt{0.0219}} = 33.47\text{mm} \times 1.2 = 40.16 \leq 40 \text{ mm}$$

(4) 선정(축사단위길이당) - 산간형 길이 450MM x 폭 100MM,

- 표준형 길이 450MM x 폭 150MM,

- 해안형 길이 450MM x 폭 100MM

<그림 3> 비육돈사의 환기량 계산식

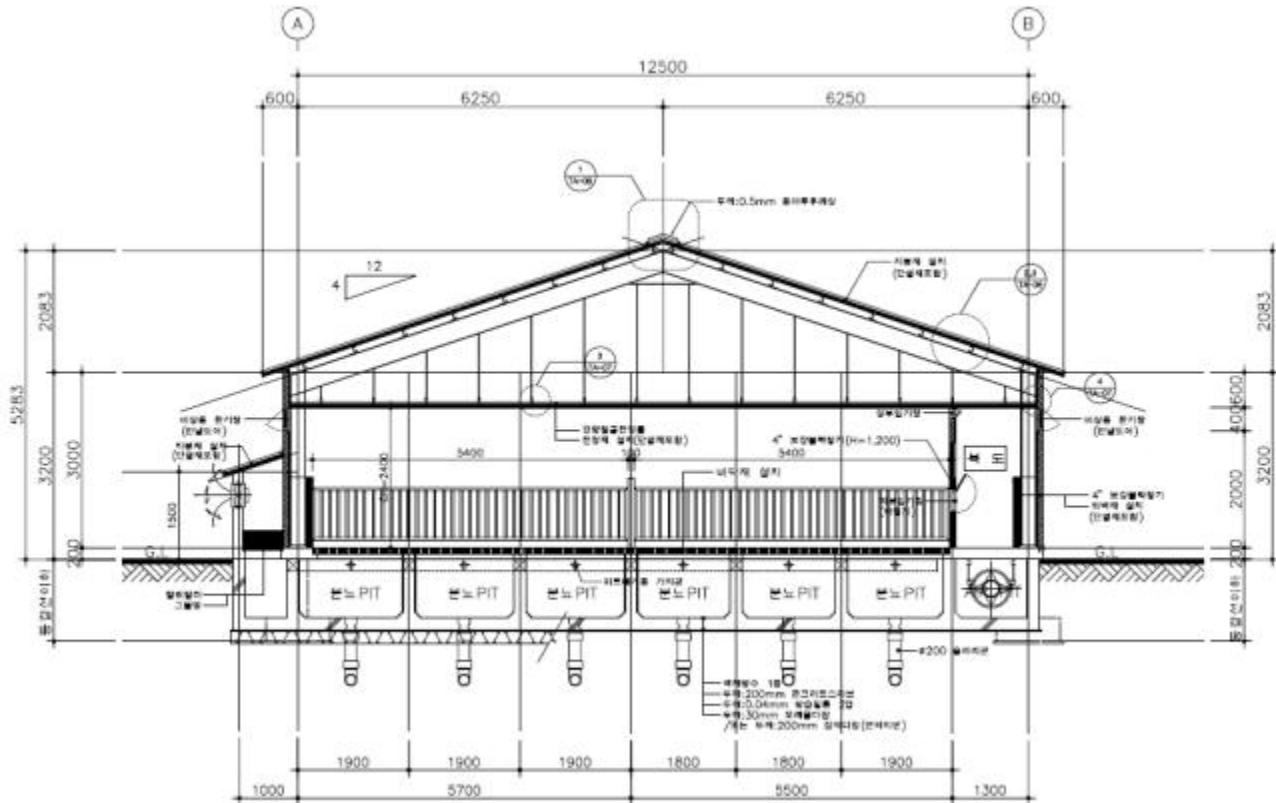
돈사의 최소환기는 유해가스 기준치를 초과하지 않도록 하며(표 1), 최소환기량은 저온기 시의 환기량을 적용한다. 환기팬의 수는 사육 두수에 따라 설정하며, 풍량은 실내온도/습도 및 유해가스 농도를 조절하고 온도 센서에 의해 작동하는 경보체계와 연동하여 자동 또는 수동으로 운전할 수 있도록 한다. 환기팬에 의한 기계적 환기가 불가능할 시를 대비하여 환기창을 설치하고 창틀을 통한 공기 유입이 없도록 한다.

<표 1> 비육돈사의 유해가스 농도 기준치

유해가스 종류	농도
암모니아 가스(NH ₃)	0.002%(20ppm) 이하
탄산가스(CO ₂)	0.5%(5,000ppm) 이하
메탄가스(CH ₄)	5.0%(50,000ppm) 이하
유화수소(H ₂ S)	0.0005%(5ppm) 이하

나. 축사표준설계도(번식돈사)

2008년 축사표준설계도의 번식돈사는 임신돈 및 분만돈을 위한 축사 형태로서 모돈이 분만 후 자돈과 함께 이유 시까지 사육되며 이유 후 각각 모돈사와 자돈사로 이동되는 순환방식으로 되어있다(그림 4). 번식돈사 크기는 최대 폭 12.5m × 길이 132.0m × 높이 3m로 설계할 수 있다. 분만사로 이용할 경우 분만 칸은 12개를 설치할 수 있도록 하고 임신사로 이용할 경우 자동급이장치를 설치할 수 있는 공간을 확보한 후 임신돈 42두를 1군으로하여 군사사육할 수 있는 공간을 배치한다.



<그림 4> 축사표준설계도(변식돈사) 주단면도

임신돈(147kg)의 필수 환기율은 저온기 12CFM(1분간 1입방피트, 1CFM=0.0283CMM), 적온기 40CFM, 고온기 150CFM이다. 환기량은 돈사 1m 당 사육 두수 6두(자돈 9두), 두 당 환기량 14.15CMM 일 때 산간형 59.9≤60mm, 표준형 78.61≤80mm, 해안형 55.2≤55mm으로 지역별로 차이가 있다(그림 5).

$$A. \text{ 돈사 } 1\text{M} \text{당 사육수 } 6\text{열} \times 1\text{두} (\text{자돈} 9\text{두}) / \text{열} \div (2.2\text{M} \times 1.1) = 1.82 \text{ 두/M}$$

$$B. \text{ 수당 환기량 } \rightarrow 14.15 \text{ CMM/두}$$

$$C. \text{ 돈사 } 1\text{M} \text{당 환기량} : 14.5 \text{CMM/두} \times 1.82 \text{두/M} = 26.39 \times 1.1 = 29 \text{ CMM/M}$$

D. W 계산 : 식 ⑤로부터

$$W = \frac{Q}{6 \times C_x \sqrt{h(p_0 - p_i)}}$$

$$(1) \text{ 산간형 (W)} = \frac{29}{6 \times 0.71 \times \sqrt{0.0186}} = 49.92 \text{mm} \times 1.2 = 59.9 \text{ mm} \leq 60 \text{ mm}$$

$$(2) \text{ 표준형 (W)} = \frac{29.0}{6 \times 0.71 \times \sqrt{0.0108}} = 65.51 \text{mm} \times 1.2 = 78.61 \leq 80 \text{ mm}$$

$$(3) \text{ 해안형 (W)} = \frac{29.0}{6 \times 0.71 \times \sqrt{0.0219}} = 46.0 \text{mm} \times 1.2 = 55.2 \leq 55 \text{ mm}$$

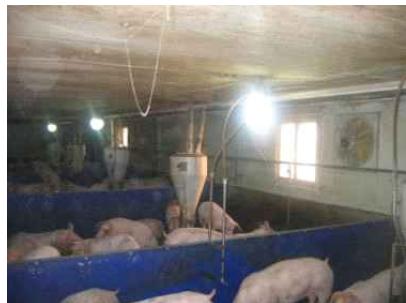
<그림 5> 변식돈사의 환기량 계산식

환기량은 돈사 총 사육두수에 두 당 환기량 14.16CMM을 곱하여 계산한다. 크로스식 돈사에는 200CMM의 송풍능력을 갖는 환기팬을 6m마다 1대씩 설치하여야 한다. 환기팬 작동은

온도 센서에 의해 작동하는 경보체계와 연동하여 자동 또는 수동으로 운전할 수 있도록 한다. 환기팬에 의한 기계적 환기가 불가능할 시를 대비하여 환기창을 설치하고 창틈을 통한 공기 유입이 없도록 한다.

다. 무창 육성·비육돈사의 환기시스템

무창 육성·비육돈사의 환기시스템에서 공기 입기 방식은 측벽 상부입기, 측벽 쿨링입기 및 복도 측벽 창문입기가 있고(그림 6), 배기 방식은 측벽배기, 터널배기 및 지붕배기가 있다(그림 7). 양돈장의 환기시스템은 농장의 사육 환경 및 주변 상황을 고려하여 이용하고 있으며 주로 다음의 세 가지로 구성된다. 첫째, 측벽 상부 입기 후 측벽배기, 둘째, 복도 측벽 창문 입기 후 측벽배기, 셋째, 측벽 상부 입기 후 터널배기이다. 이때 측벽 배기팬의 높이는 바닥으로부터 1.2m~1.5m이며 배기팬의 크기는 500~600mm이다.



측벽 상부입기



측벽 쿨링입기



복도 측벽 창문입기

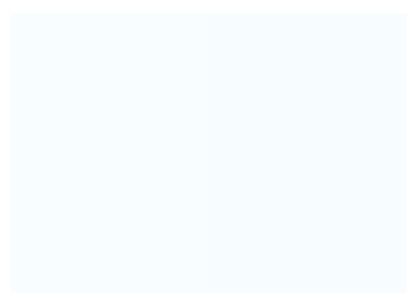
<그림 6> 무창 육성·비육돈사 공기 입기 방식



측벽배기



터널배기



지붕배기

<그림 7> 무창 육성·비육돈사 공기 배기 방식

국내의 무창 육성·비육돈사 중 측벽입기 후 측벽배기 돈사(돈사 크기 12m × 20m, 돈방 18개)에서 돈방 중간 통로의 돼지 코 높이에서 공기유속을 측정하였을 때, 겨울철 최소 환기(5%) 시 평균 0~0.87m/s이었고 여름철 최대 환기(95%) 시 평균 0.1~2.73m/s 수준이었다(송, 2004).

라. 무창 분만돈사의 환기시스템

무창 분만돈사의 환기시스템에서 공기 입기 방식은 측벽(상부 또는 하부) 입기, 천장 비닐입기 및 덕트(상부 또는 하부) 입기가 있고(그림 8), 배기 방식은 측벽배기와 지붕배기가 있다. 양돈장에서는 주로 다음 세 가지의 환기시스템을 이용하고 있다. 첫째, 측벽 상부입기 후

측벽배기, 둘째, 천장 비닐입기 후 측벽배기, 셋째, 덕트 상부 입기 후 지붕 또는 측벽배기이다.



<그림 8> 무창 분만돈사 공기 입기 방식

입기 방식별로 계절에 따른 적합성을 조사하여 <표 2>에 정리하였다. 측벽 상부입기는 외부 기온이 15~25°C 전후인 봄·가을철에 적합하고 측벽 하부입기는 외부 기온이 25°C 이상인 여름철에 적합하다. 천장 비닐입기는 복도를 통과한 공기가 돈방 상부를 통해 입기되는 방식으로 외부 기온이 -5~10°C 전후인 겨울철에 적합하다. 상부 덕트 입기는 외부 기온이 5~15°C 전후인 봄·가을철, 하부 덕트 입기는 외부 기온이 25°C 이상인 여름철에 적합하다. 덕트 입기는 덕트 길이가 최대 35m일 때 효과적인 환기가 가능하며 그 이상에서는 효과가 떨어진다. 또한 덕트 천공의 방향도 환기 효과에 영향을 준다. 양돈장에서 상부 덕트 입기는 자돈사에 적용하고 있고 하부 덕트 입기는 분만사에 적용하고 있다.

<표 2> 무창 분만돈사 공기 입기 방식별 계절에 따른 적합성

구분	측벽 슬롯입기		천장 비닐입기	덕트 입기	
	상부	하부		상부	하부
봄·가을	○			○	
여름		○			○
겨울			○		

마. 이산화염소 가스 분무장치를 무창돈사의 필터링 기술로 적용하기 위한 방안 조사

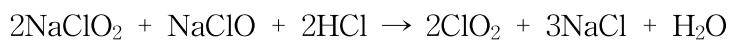
이산화염소 가스는 잔류성이 없는 환경 친화적인 물질로 산화력, 살균력 및 탈취력을 가지고 있다. 미국은 음용수, 공장폐기물 처리 및 환경 정화용으로 사용하고 있으며(표 3) 유럽은 음용수 및 식품용기 살균 소독용으로 이용하고 있다(송 등, 2011).

<표 3> 미국의 이산화염소 처리 기준

관리 청	적용	기준
미국환경보호청 US EPA	음용수	0.8mg/L 이하
미국연방직업안전보건국 (OSHA)	작업장 공기	0.1ppm(0.3mg/m ³) 농도에서 8시간 가중평균

이산화염소 가스는 알칼리 금속계 아염소산 용액, 차아염소산 용액 및 산용액이 혼합된 액상물에 공기를 주입하면 생성되고, 반응식은 다음과 같다.

<반응식>



이산화염소 가스는 2개의 반응기로 구성된 제조 장치를 이용하여 연속적으로 생산하였다. 무창돈사에 이산화염소 가스를 이용하기 위하여 이산화염소 가스 제조 장치가 내장된 분무 장치를 설계하였다. 기존의 이산화염소 가스 분무장치는 돈사 외부로 배출되는 공기 중에 살포하여 냄새 휘산을 방지하였으며(송 등 2011), 분뇨 퇴비화시설 내부에 설치하여 퇴비화 과정 시 휘산되는 냄새를 저감시켰다(송 등, 2012). 본 연구는 돈사 내부로 유입되는 공기 중에 이산화염소 가스를 살포하는 방법이며 직접 가축에 노출되기 때문에 살포 양을 줄이고 미세하게 분무될 수 있는 방법의 개선이 필요하였다.

제 2 절 이산화염소 가스를 활용한 냄새 및 먼지 감소효과 평가(양돈)

1. 시험방법

이산화염소 가스를 활용한 돈사 외부로 배출되는 냄새 및 먼지 감소효과를 평가하기 위하여 이산화염소 가스 분무장치를 설계 및 제작하였으며 시험시작 전에 이산화염소 가스의 냄새저감 효과를 평가하기 위해 선정한 시험돈사 내·외부의 부유미생물(부유진균, 부유세균), 엔도톡신 및 분진(TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁)²⁾ 농도를 측정하였다. 돈사 내부의 측정 위치는 돈사 내부 중간의 3 지점에서 돈사 바닥으로부터 30cm와 120cm 높이이며, 돈사 외부 측정 위치는 배기팬에서 배출되는 공기를 분석하였다(그림 9).



2) TSP(Total suspended particles, 총 먼지), PM(Particulate matter, 미세먼지), PM₁₀(지름 10μm보다 작은 미세먼지), PM_{2.5}(지름 2.5μm보다 작은 미세먼지), PM₁(지름 1μm보다 작은 미세먼지)

<그림 9> 돈사 내·외부 측정 위치

이산화염소 가스는 시험돈사 외부로 배출되는 공기 중에 살포하여 냄새 및 먼지 감소효과를 분석하였다. 이산화염소 가스의 살포 조건은 간헐적으로 분무하였으며 2분간 살포 후 30분간 무살포 되는 방식으로 실시하였다. 이때 돈사 내부의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도를 측정하고 돈사 외부에 이산화염소 가스 살포 전과 후에 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도를 측정하여 제거효율을 평가하였다.

2. 시험결과

가. 이산화염소 가스 분무장치 설계 및 제작

이산화염소 가스 분무장치는 고속교반기(High shear mixer) 원리를 이용하여 공기와 이산화염소 가스가 균질하게 혼합될 수 있도록 하였다(그림 10). 이 장치는 이산화염소 가스를 고체화시킨 젤이 보관된 카트리지, 이산화염소 가스를 발생시키기 위해 공기를 주입하는 블로워, 이산화염소 가스를 배출하는 가스 배출구로 구성되었다.



<그림 10> 이산화염소 가스 분무장치

나. 시험돈사 내·외부 공기 중의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도 측정

시험돈사는 120m²의 면적에 자돈 350두가 사육되었으며, 환기는 복도 측벽 창문입기 후 측벽 배기 방식으로 배기팬의 크기는 D500이었다. 시험돈사 내·외부의 부유미생물(부유진균, 부유세균), 엔도톡신 및 분진(TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) 농도는 3반복으로 측정하였다. 돈사 내부의 측정 위치는 돈사 내부 중간의 3 지점에서 돈사 바닥으로부터 30cm와 120cm 높이이며, 돈사 외부 측정 위치는 배기팬에서 배출되는 공기를 분석하였다. 시험돈사 내부의 3 지점에서 돈사 바닥으로부터 30cm와 120cm 높이의 공기 중 부유미생물(부유진균, 부유세균), 엔도톡신 및 분진(TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) 농도 측정결과를 <표 4~7>에 정리하였다. 또한 시험돈사 외부로 배출되는 공기 중의 세 가지 물질에 대한 농도 측정결과는 <표 8>에 정리하였다.

내부 지점 1의 높이 30cm에서는 부유진균 141,619 CFU/m³, 부유세균 177,024 CFU/m³, 엔도톡신 315.26 EU/m³, TSP 605.52 µg/m³, PM₁₀ 232.90 µg/m³, PM_{2.5} 17.13 µg/m³, PM₁ 7.31 µg/m³ 이었으며, 높이 120cm에서는 부유진균 143,879 CFU/m³, 부유세균 167,231 CFU/m³, 엔도톡신 272.18 EU/m³, TSP 524.83 µg/m³, PM₁₀ 195.70 µg/m³, PM_{2.5} 24.78 µg/m³, PM₁ 10.64 µg/m³ 이었다. 내부 지점 1에서 부유미생물과 엔도톡신은 시료채취 높이 간에 차이가 없었지만, TSP와 PM₁₀은 높이 30cm에서 PM_{2.5}와 PM₁은 높이 120cm에서 높은 경향을 보였다. PM_{2.5}와 PM₁은 TSP와 PM₁₀에 비해 더 미세한 분진을 나타내는 지표로서 PM_{2.5}와 PM₁ 농도가 높이

30cm에 비해 120cm에서 높은 것은 더 미세한 분진이 더 높은 곳으로 휘산되기 때문이다.

<표 4> 지점 1(높이 30cm, 120cm) 공기 중의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도 비교

<시험돈사 내부 지점 1. 높이 30cm>						
구분		1회	2회	3회	평균	표준편차
부유진균(CFU/m ³)		140,112	164,971	119,774	141,619	22,636
부유세균(CFU/m ³)		188,700	175,141	167,231	177,024	10,858
엔도톡신(EU/m ³)		315.26	-	-	-	-
분진($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP	699.43	580.42	536.71	605.52	84.21
	PM ₁₀	190.14	224.36	284.19	232.90	47.60
	PM _{2.5}	15.36	16.42	19.60	17.13	2.21
	PM ₁	4.90	6.37	10.66	7.31	2.99

<시험돈사 내부 지점 1. 높이 120cm>						
구분		1회	2회	3회	평균	표준편차
부유진균(CFU/m ³)		153,672	154,802	123,163	143,879	17,949
부유세균(CFU/m ³)		166,101	187,570	148,022	167,231	19,798
엔도톡신(EU/m ³)		272.18	-	-	-	-
분진($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP	606.30	505.10	463.10	524.83	73.61
	PM ₁₀	155.08	195.86	236.16	195.70	40.54
	PM _{2.5}	21.91	23.84	28.58	24.78	3.43
	PM ₁	7.52	9.10	15.31	10.64	4.12

※ CFU(Colony forming unit, 접락형성단위), EU(Endotoxin uint, 엔도톡신 접락단위)

※ TSP(Total suspended particles, 총 먼지), PM(Particulate matter, 미세먼지), PM₁₀(지름 10 μm 보다 작은 미세먼지), PM_{2.5}(지름 2.5 μm 보다 작은 미세먼지), PM₁(지름 1 μm 보다 작은 미세먼지)

내부 지점 2의 높이 30cm에서는 부유진균 141,996 CFU/m³, 부유세균 138,606 CFU/m³, 엔도톡신 214.01 EU/m³, TSP 521.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ 200.84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 11.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁ 4.89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 높이 120cm에서는 부유진균 147,646 CFU/m³, 부유세균 140,301 CFU/m³, 엔도톡신 223.41 EU/m³, TSP 452.23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ 167.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 15.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁ 7.22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 내부 지점 2에서도 지점 1과 동일한 경향으로 분석되었다.

<표 5> 지점 2(높이 30cm, 120cm) 공기 중의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도 비교

<시험돈사 내부 지점 2. 높이 30cm>					
구분	1회	2회	3회	평균	표준편차
부유진균(CFU/m ³)	114,124	166,101	145,762	141,996	26,192
부유세균(CFU/m ³)	162,711	85,875	167,231	138,606	45,722
엔도톡신(EU/m ³)	214.01	-	-	-	-
분진($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP	615.13	496.12	452.41	521.22
	PM ₁₀	158.08	192.30	252.13	200.84
	PM _{2.5}	10.18	11.24	14.42	11.95
	PM ₁	2.48	3.95	8.24	4.89

<시험돈사 내부 지점 2. 높이 120cm>					
구분	1회	2회	3회	평균	표준편차
부유진균(CFU/m ³)	74,576	195,480	172,881	147,646	64,281
부유세균(CFU/m ³)	94,350	175,141	151,412	140,301	41,526
엔도톡신(EU/m ³)	223.41	-	-	-	-
분진($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP	534.00	432.80	390.80	452.53
	PM ₁₀	127.02	167.80	208.10	167.64
	PM _{2.5}	12.73	14.66	19.40	15.60
	PM ₁	4.10	5.68	11.89	7.22

※ CFU(Colony forming unit, 접락형성단위), EU(Endotoxin uint, 엔도톡신 접락단위)

※ TSP(Total suspended particles, 총 먼지), PM(Particulate matter, 미세먼지), PM₁₀(지름 10 μm 보다 작은 미세먼지), PM_{2.5}(지름 2.5 μm 보다 작은 미세먼지), PM₁(지름 1 μm 보다 작은 미세먼지)

내부 지점 3의 높이 30cm에서는 부유진균 127,495 CFU/m³, 부유세균 127,871 CFU/m³, 엔도톡신 192.44 EU/m³, TSP 689.82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ 317.20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 101.43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁ 7.94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, 높이 120cm에서는 부유진균 132,558 CFU/m³, 부유세균 169,404 CFU/m³, 엔도톡신 279.28 EU/m³, TSP 609.13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ 280.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 109.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁ 11.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 내부 지점 3에서는 엔도톡신 농도가 높이 30cm에 비해 120cm에서 높은 것을 제외하면 다른 두 지점의 결과와 동일한 경향으로 분석되었다.

<표 6> 지점 3(높이 30cm, 120cm) 공기 중의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도 비교

<시험돈사 내부 지점 3. 높이 30cm>						
구분	1회	2회	3회	평균	표준편차	
부유진균(CFU/m ³)	48,022	190,960	143,502	127,495	72,801	
부유세균(CFU/m ³)	107,909	161,581	114,124	127,871	29,358	
엔도톡신(EU/m ³)	192.44	-	-	-	-	
분진($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP	783.73	664.72	621.01	689.82	84.21
	PM ₁₀	274.44	308.66	368.49	317.20	47.60
	PM _{2.5}	99.66	100.72	103.90	101.43	2.21
	PM ₁	9.20	9.67	4.96	7.94	2.59

<시험돈사 내부 지점 3. 높이 120cm>						
구분	1회	2회	3회	평균	표준편차	
부유진균(CFU/m ³)	131,008	134,463	132,203	132,558	1,755	
부유세균(CFU/m ³)	145,502	200,000	162,711	169,404	278,59	
엔도톡신(EU/m ³)	279.28	-	-	-	-	
분진($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TSP	690.60	589.40	547.40	609.13	73.61
	PM ₁₀	239.38	280.16	320.46	280.00	40.54
	PM _{2.5}	106.21	108.14	112.88	109.08	3.43
	PM ₁	11.82	12.07	9.61	11.17	1.35

※ CFU(Colony forming unit, 접락형성단위), EU(Endotoxin uint, 엔도톡신 접락단위)

※ TSP(Total suspended particles, 총 먼지), PM(Particulate matter, 미세먼지), PM₁₀(지름 10 μm 보다 작은 미세먼지), PM_{2.5}(지름 2.5 μm 보다 작은 미세먼지), PM₁(지름 1 μm 보다 작은 미세먼지)

내부 지점별로 두 가지 높이에서 분석된 결과를 평균하여 부유진균, 부유세균, 엔도톡신 및 분진 농도를 지점 간에 비교하였다(표 7). 부유진균의 농도는 지점 간에 차이가 없었지만 부유세균과 엔도톡신 농도는 지점 1에서 높았다. 분진 농도의 4 가지 지표 모두 지점 3에서 높았다. 부유미생물, 엔도톡신 및 분진의 농도는 돈사 내부에 분뇨가 적 채된 위치, 돼지의 움직임, 환기, 온도 및 습도에 따라 영향을 받는다. 이산화염소 가스 분무에 의한 효과를 평가하기 위해서는 매번 동일한 지점에서 시료를 채취하는 것이 중요하다고 판단된다.

<표 7> 시험돈사 내부 지점 간의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도 비교

구분	지점 1	지점 2	지점 3
부유진균(CFU/m ³)	142,749	144,821	130,027
부유세균(CFU/m ³)	172,128	139,453	148,638
엔도톡신(EU/m ³)	293.72	218.71	235.86
분진(µg/m ³)	TSP	565.18	486.88
	PM ₁₀	214.30	184.24
	PM _{2.5}	20.96	13.78
	PM ₁	8.98	6.06

※ CFU(Colony forming unit, 접락형성단위), EU(Endotoxin uint, 엔도톡신 접락단위)

※ TSP(Total suspended particles, 총 먼지), PM(Particulate matter, 미세먼지), PM₁₀(지름 10µm보다 작은 미세먼지), PM_{2.5}(지름 2.5µm보다 작은 미세먼지), PM₁(지름 1µm보다 작은 미세먼지)

돈사 외부로 배출되는 공기 중에는 부유진균 3,483 CFU/m³, 부유세균 6,544 CFU/m³, 엔도톡신 34.28 EU/m³, TSP 241.47 µg/m³, PM₁₀ 80.30 µg/m³, PM_{2.5} 36.02 µg/m³, PM₁ 7.96 µg/m³ 이었다. 돈사 내부 공기보다 외부로 배출되는 공기 중의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진의 농도가 낮았다. 내부 공기에 포함된 물질들이 외부로 배출되면서 돈사 내부 벽면 및 배기팬 등에 부착되어 농도가 감소되었을 것으로 추측된다.

<표 8> 시험돈사 외부 배출 공기 중의 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도

구분	1회	2회	3회	평균	표준편차
부유진균(CFU/m ³)	5,508	2,683	2,259	3,483	1,766
부유세균(CFU/m ³)	12,853	4,802	1,977	6,544	5,643
엔도톡신(EU/m ³)	34.28	-	-	-	-
분진(µg/m ³)	TSP	52.10	214.30	458.00	241.47
	PM ₁₀	29.90	41.80	169.20	80.30
	PM _{2.5}	8.49	8.27	91.30	36.02
	PM ₁	3.31	3.66	16.91	7.96

※ CFU(Colony forming unit, 접락형성단위), EU(Endotoxin uint, 엔도톡신 접락단위)

※ TSP(Total suspended particles, 총 먼지), PM(Particulate matter, 미세먼지), PM₁₀(지름 10µm보다 작은 미세먼지), PM_{2.5}(지름 2.5µm보다 작은 미세먼지), PM₁(지름 1µm보다 작은 미세먼지)

다. 돈사 외부로 배출되는 공기 중에 이산화염소 가스 분무에 의한 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 제거 효능평가

부유진균과 부유세균의 농도는 이산화염소 가스를 분무하기 전에 비해 이산화염소 가스를 분무한 후에 감소되었으며, 부유진균은 93%, 부유세균은 87% 감소되었다. 그러나 분진 농도는 이산화염소 가스 분무에 의한 저감 효과가 없었다(표 9). 분진 농도는 외부 환경변화(온도, 습도, 바람)에 쉽게 영향을 받을 수 있기 때문에 분진 측정 시 바람이 많이 불면 분진 농도가 낮아질 수 있다. 이산화염소 가스 분무에 의한 냄새물질 저감 효과를 평가하기 위해서 공

기 중의 황화합물 농도를 측정하였지만 분석 장비의 오류로 인해 정확한 측정이 불가능하였다. 그러나 이산화염소 가스 분무에 의해 부유진균 및 부유세균이 감소된 것을 보았을 때 공기 중의 냄새도 감소될 것이라 추측된다.

<표 9> 이산화염소 가스 분무에 의한 부유미생물, 엔도톡신 및 분진 농도의 저감 효과

구분	돈사 내부 공기	돈사 외부 공기	
		이산화염소 가스 분무 전	이산화염소 가스 분무 후
부유진균(CFU/m ³)	266,666	6,214	423
부유세균(CFU/m ³)	174,011	3,107	401
분진(µg/m ³)	TSP	753.40	38.00
	PM ₁₀	120.20	13.80
	PM _{2.5}	8.88	9.57
	PM ₁	2.95	2.64

※ CFU(Colony forming unit, 접락형성단위)

※ TSP(Total suspended particles, 총 먼지), PM(Particulate matter, 미세먼지), PM₁₀(지름 10µm보다 작은 미세먼지), PM_{2.5}(지름 2.5µm보다 작은 미세먼지), PM₁(지름 1µm보다 작은 미세먼지)

제 3 절 돈사 내 입기 및 배기시설에 공기 필터링 기술 적용 및 설치(양돈)

1. 시험방법

돈사 입기 및 배기시설에 공기 필터링을 위한 이산화염소 가스 분무장치를 설치하기 위하여 시험돈사의 입기 및 배기장치 설치현황을 조사하였으며 돈사 입기 및 배기되는 공기 중에 이산화염소 가스의 적용 가능성을 검토하였다.

2. 시험결과

가. 시험돈사의 입기 및 배기장치 설치현황

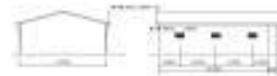
양돈장 내 시험돈사는 무창돈사이며 육성·비육돈 220두를 사육 중이었다. 돈사 크기는 가로 15m, 세로 12m, 높이 4.5m이며 환기는 복도 측벽에서 자연 입기되어 측벽 배기팬으로 강제 배기되는 방식이었다(그림 11). 시험돈사에 측벽 배기팬은 3개가 설치되어 있으며 최소 φ400에서 최대 φ500으로 운전이 가능하였으며, 상시에는 φ400으로 가동하였고 하절기에는 φ500으로 가동하였다. 배기팬의 최대 배기량은 하절기를 기준으로 약 39,803CMH(663.4CMM)이었으며 돈사 내부 온도에 따라 배기팬의 회전 수가 조절되었다.



돈사 내부



돈사 외부



돈사 평면도

<그림 11> 시험돈사 현황

나. 돈사 입기 및 배기되는 공기 중에 이산화염소 가스의 적용 가능성 검토

이산화염소 가스는 돈사 입기 및 배기시설에 분무하여 돈사 내부로 유입되는 공기와 외부로 배출되는 공기 중의 냄새 및 부유미생물을 줄여 깨끗한 공기로 필터링하기 위해 적용하고자 하였다. 이전의 연구에서 이산화염소 가스를 돈사 외부로 배출되는 공기 중에 살포하였을 때 암모니아 가스 및 먼지의 감소 효과가 있었다(송 등, 2011) 그러나 이산화염소 가스는 돈사 외부에 살포하였으며 돈사 내부로 입기되는 공기나 돈사 내부에는 살포하지 않았다. 돈사 내부로 입기되는 공기 중에 이산화염소 가스를 살포할 경우, 이산화염소 가스가 가축에게 노출될 수 있기 때문에 시험농장에서는 안전성을 우려하였다. 그리고 이산화염소 가스는 지속적으로 살포하여야 하기 때문에 가축에게 유해하지 않은 살포 농도를 설정하여야 하며 살포되는 농도를 일정하게 유지하기 어려운 문제점이 파악되었다. 이산화염소 가스는 돈사 외부로 배출되는 공기 중의 냄새를 저감하기 위해서는 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

제 4 절 무창계사 외부 냄새저감 장치 및 내부 살포용 냄새저감 물질 효능 평가(양계)

1. 시험방법

가. 시험 1. 양계 농가 일반현황 및 계사 실태조사

실태조사는 육계와 산란계로 나누어 육계농장 35곳과 산란계 농장 27곳을 대상으로 조사하였으며 조사방법은 농가를 방문하여 수행하였다. 실태조사표는 육계 사육농장과 산란계 사육농장으로 구분하여 작성하였다. 육계 사육농장의 실태조사 항목은 계사형태, 환기여부, 환기방식, 바닥재질, 깔짚 종류, 깔짚 교체시기, 냄새저감 시설, 냄새저감제 등으로 구성되었으며, 산란계 사육농장의 조사 항목은 계사형태, 환기여부, 환기방식, 바닥재질, 계분수거방법, 계분 수거주기, 냄새저감 시설, 냄새저감제 등으로 구성되었다.

나. 시험 2. 무창계사 냄새회산 방지를 위한 냄새저감 장치 설계 및 제작

무창계사용 외부 냄새저감 장치는 양계 농가의 실태조사 결과를 기초로 하여 무창계사의 내·외부 구조 및 사육환경을 고려하여 설계하였다. 냄새저감 장치는 무창계사 배기팬에서 배출되는 공기를 포집한 후 저온플라즈마 장치를 통하여 냄새물질이 감소된 공기가 배출될 수 있도록 구성하였다. 저온플라즈마를 이용한 냄새저감 장치는 제 1 세부과제와 협력하여 설계 및 제작하였다.

다. 시험 3. 무창계사 바닥 살포용 냄새저감 물질 선발 및 효능 평가

1) 처리내용

처리구는 무처리구와 냄새저감 물질 3종으로 하여 총 4 처리구로 구성하였다. 냄새저감 물질은 계사 깔짚 관리제로 사용되고 있는 것 중에서 산제 1종(황산알루미늄)과 흡착제 2종(활성탄, 규산염광물질)을 이용하였다. 살포 양은 비용을 최소화하고 냄새저감 효과를 확인할 수 있을 정도의 양으로 선택하였으며 동일한 조건에서 효과를 확인하기 위하여 동일한 양으로 선택하였다. 살포 양은 깔짚 면적(m^2) 당 1회에 0.5kg으로 하였고, 이 때 황산알루미늄 660원/회(1,320원/kg), 활성탄 1,000원/회(2,000원/kg), 규산염광물질 1,000원/회(2,000원/kg)의 비용이 소요되었다.

2) 육계사 깔짚에 냄새저감 물질 처리

50L 플라스틱 통에 깔짚을 20cm 높이로 깔고 냄새저감 물질을 깔짚 표면에 살포한 후 약 2cm 깊이로 혼합한 다음 뚜껑을 덮고 34°C에서 3주간 배양하였다. 냄새저감 물질은 매주 1회씩 총 3회 살포하였다. 시험에 이용된 깔짚은 터널식 환기시스템의 무창 육계사에서 4회 이용된 것을 채취하였다.

3) 냄새저감 물질 처리구별 공기 및 깔짚 분석

시험기간 동안 공기 중의 이산화탄소 가스와 암모니아 가스 농도를 측정하여 냄새저감 물질의 냄새저감 효능을 평가하였다. 그리고 깔짚은 냄새저감 물질을 살포하기 전과 매주 1회씩 채취하여 pH, 수분, 온도, 총세균수, 대장균 및 살모넬라를 분석하였다.

4) 냄새저감 물질의 특성(그림 12)

가) 황산알루미늄은 육계사 깔짚 관리를 위해 유통되고 있는 산화제이며, 깔짚 내 암모니움(NH_4-N)과 반응하여 황산암모니움($(NH_4)_2SO_4$)을 형성함으로써 암모니아(NH_3)의 휘산을 감소시킨다(DeLaune 등, 2004). 또한 황산알루미늄의 황산 성분은 깔짚의 pH를 낮추어 암모니아의 휘산을 감소시킨다(Moore 등, 1995).

나) 활성탄은 식물성의 가연성 물질을 약 500°C의 탄화와 약 900°C의 활성화 과정을 거쳐서 제조된 흑색 가루이다. 활성탄은 약 20Å 크기의 미세공이 존재하여 g 당 1,000m²이상의 표면적을 가지고 있어서 각종 유기물을 흡착할 수 있는 성질이 있다. 공기 중의 냄새물질을 흡착하여 제거하는 공기정화용, 폐수처리 시의 오염물질을 제거하기 위한 오염물질 흡착용, 용제의 탈색용 등으로 많이 쓰이고 있다. 양계장에서는 계사 깔짚에 살포하여 공기 중으로 암모니아 가스가 휘산되는 농도를 낮추기 위한 용도로 사용하고 있다.

다) 규산염광물질은 Na, Ca, K, Mg, Mn 등의 미네랄 성분과 이산화규소가 반응하여 생산된 규산염 계통의 물질이다. 규산염광물질은 가축의 생산성과 면역력 증진을 위하여 사료에 첨가하여 사용하고 있으며, 활성탄과 같이 냄새물질을 흡착할 수 있어서 계사 깔짚에 살포하여 공기 중으로 휘산되는 암모니아 가스 농도를 낮추기 위해서 사용하고 있다.



황산알루미늄

활성탄

규산염광물질

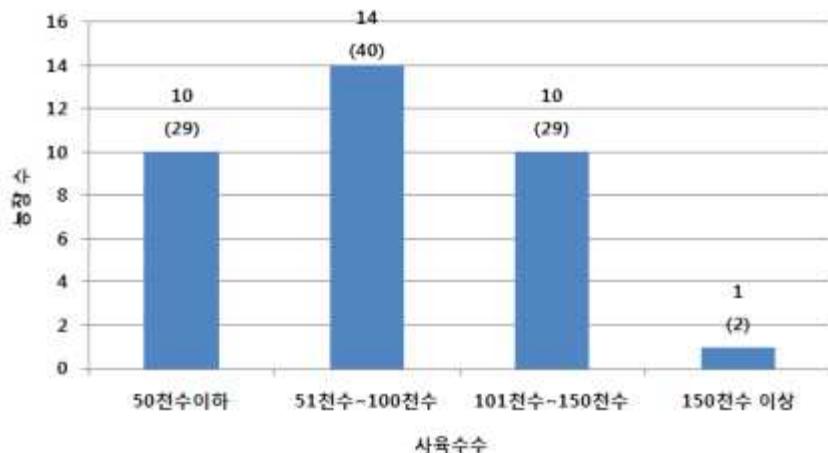
<그림 12> 시험에 사용된 냄새저감물질 3종

2. 시험결과

가. 시험 1. 양계 농가 일반현황 및 계사 실태조사 결과

1) 육계농장 사육현황 및 계사환경 조사 결과

육계농장의 사육수수는 평균 7만 9천수이었으며 5천수에서 1만수를 사육하고 있는 농장이 조사한 육계농장 중 40%를 차지하였다(그림 13).



<그림 13> 육계농장의 사육수수

육계농장의 계사형태는 조사한 농장의 60%가 무창계사로 되어있고, 이 중 전체가 무창으로 되어있는 계사가 40%를 차지하였다(표 10). 2008년 축사표준설계도(농림축산식품부, 2008)에서는 무창형태의 육계사에 대한 자료가 있으며 동물복지의 고려한 사육밀도를 고려하여 환기 및 탈취 설비를 적용하여 설계되었다.

<표 10> 육계농장의 계사형태

구분	무창계사		개방계사	
	전체 무창	반 무창	원치커튼	보온덮개
농가 수	14	7	12	2
(비율)	(40%)	(20%)	(34%)	(6%)

환기형태는 조사한 농장의 60%가 기계식 환기방식을 이용하고 있었고, 이 중 기계식 환기만을 사용하는 농장이 43%를 차지하였다(표 11). 환기방식은 터널식, 크로스식, 지붕배기식으로 되어있는 농장이 각각 23%, 3%, 11%를 차지하였다(표 12). 육계의 경우 14일령까지는 온도가 중요하기 때문에 환기를 적절히 조절하여야 한다. 무창 육계사의 경우, 혹서기에는 닭에게 직접 부딪히는 풍속은 초속 1m이하가 되도록 하여야 하며, 적온기에는 터널식 배기팬과 지붕배기식 배기팬을 적절히 혼합하여 사용하여야 한다. 혹한기에는 지붕배기식 배기팬을 이용하여 최소 환기를 적용하여야 한다(농림축산식품부, 2008).

<표 11> 육계농장의 환기형태

구분	기계식 환기		자연 환기
	기계식 환기	기계식+자연환기	
농가 수	15	6	14
(비율)	(43%)	(17%)	(40%)

<표 12> 육계농장의 환기방식

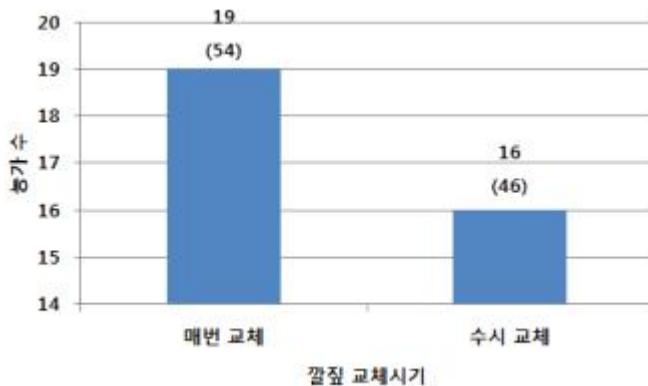
구분	터널식	크로스식	지붕배기식	터널식 +크로스식	터널식 +지붕배기식	양압식
농가 수	8	1	4	8	12	2
(비율)	(23%)	(3%)	(11%)	(23%)	(34%)	(6%)

터널식 환기방식은 무창 계사의 길이가 길 경우 실내 온도차와 오염도 분포가 불균일해 질 수 있기에 실내 공기 순환용 팬을 추가로 설치할 수 있으며, 최대 풍속은 2~3m/sec로 하여야 한다. 크로스식 환기방식은 실내 풍속이 미약하므로 혹서기에는 쿨링패드, 냉방기 및 실내 공기 순환용 팬 등의 냉각 설비가 필요하다고 한다. 무창 계사의 최소 환기는 유해가스 농도 기준치와 생체중에 따른 환경온도를 고려한 환기요구량에 맞게 조절하여야 한다(농림축산식품부, 2008).

계사바닥 재질은 흙바닥과 시멘트 바닥의 비율이 비슷하였으며, 모든 농가가 계사 바닥에 왕겨 깔짚을 이용하였다(표 13). 2008년 축사표준설계도에서도 계사 바닥은 콘크리트(시멘트) 바닥과 흙바닥을 적용 설계하여 깔짚을 깔아 사육할 수 있도록 하였다(농림축산식품부, 2008). 왕겨 깔짚은 계사 청소 시 매번 교체하는 농장이 54%를 차지하였고, 연간 평균 3.5회 이용한 후 교체하였다(그림 14).

<표 13> 육계농장의 계사바닥 재질

구분	흙바닥	시멘트
농가 수	17	18
(비율)	(49%)	(51%)



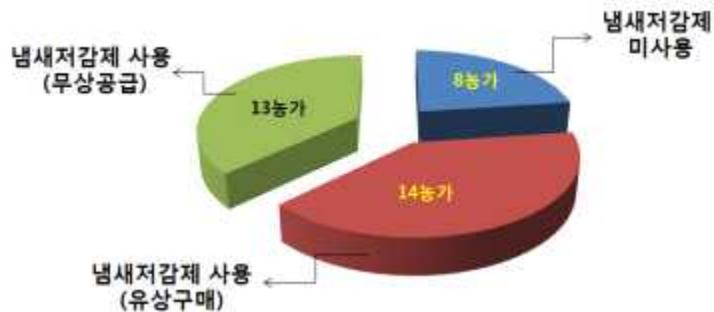
<그림 14> 육계농장의 깔짚 교체시기

조사된 육계농장은 계사 냄새저감을 위해 계사 외부에 냄새저감 장치를 설치하거나 사료에 냄새저감제를 첨가하여 급여하였다. 전체 육계농장 중 37%가 냄새저감 장치를 설치하였으며 대부분 방진벽을 이용하였다(표 14). 계사 내부에는 사료, 깃털 및 깔짚에서 휘산되는 먼지가 많았는데, 냄새물질이 먼지에 붙어서 외부로 휘산될 수 있다. 방진벽은 계사 외부에 설치하여 계사 배기팬에서 배출되는 먼지 확산을 방지하여 냄새가 휘산되는 것을 막기 위한 장치이다. 방진벽을 설치하면 먼지 확산을 1/10 정도 줄일 수 있다고 한다(축산기술연구소, 1999). 또한 계사 배기팬에 바이오스크린을 설치하여 먼지를 포집하기도 한다(최, 2010).

<표 14> 육계농장에서 이용하고 있는 계사 외부 냄새저감 장치

구분	방진벽	바이오스크린	냄새저감장치 없음
농가 수	12	1	22
(비율)	(34%)	(3%)	(63%)

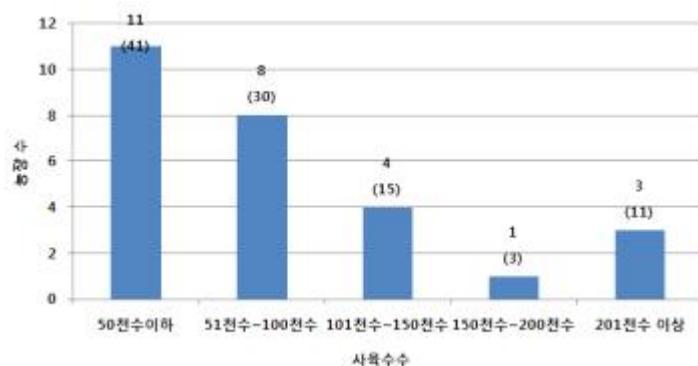
냄새저감제는 35개 농장 중 27개 농장(77%)이 이용하고 있었으며, 이 중 14개 농장은 냄새저감제를 구매하여 이용하고 있었다. 냄새저감제 구매비용은 농가 평균 연간 6,079천원이었으며 1만수 사육 기준으로 연간 평균 690천원의 비용이 소요되었다(그림 15). 농장에서 사용 중인 냄새저감제는 대부분 생균제이며, 효모, 유산균, 고초균, 광합성균 등이 단독으로 배양된 생균제를 이용하거나 두 가지 이상이 혼합된 생균제를 이용하였다.



<그림 15> 육계농장의 냄새저감제 사용현황

2) 산란계농장 사육현황 및 계사환경 조사 결과

산란계농장은 평균 8만5천수를 사육하고 있었으며, 50천수 이하가 41%로 가장 많았고 50천수에서 100천수 사육하고 있는 농장이 30%를 차지하였다(그림 16).



<그림 16> 산란계 농장의 사육수수

계사형태는 조사한 농장의 70%가 무창이었으며(표 15), 환기형태는 81%가 기계식 환기 방식을 이용하고 있었고, 이 중 기계식 환기만을 사용하는 농장이 74%를 차지하였다(표 16). 환기방식은 터널식을 기본으로 해서 지붕배기식과 혼합하여 사용하는 농장이 41%를 차지하였고, 터널식과 지붕배기식을 단독으로 이용하고 있는 농장도 있었다(표 17). 2008년 축사표준설계도에는 계절에 따라 환기방식을 이용할 수 있도록 하였는데, 혹서기에는 터널식, 적온기와 동절기에는 지붕배기를 이용하여 에너지 절약 계사가 될 수 있도록 하였다. 이것은 닭의 생육이 온도 변화에 많은 영향을 받기 때문이다. 그래서 특기시방서에 닭 사육시설을 별도로 작성하여 닭 주령별 환기량과 환기시스템에 대한 자세한 사항을 정리해주었다(농림축산식품부, 2008).

<표 15> 산란계 농장의 계사형태

구분	무창계사	개방계사
농가 수 (비율)	19 (70%)	8 (30%)

<표 16> 산란계 농장의 환기형태

구분	기계식 환기		자연 환기
	기계식 환기	기계식+자연환기	
농가 수 (비율)	20 (74%)	2 (7%)	5 (19%)

<표 17> 산란계 농장의 환기방식

구분	터널식	크로스식	지붕배기식	터널식 +크로스식	터널식 +지붕배기식
농가 수 (비율)	11 (41%)	0 (0%)	3 (11%)	2 (7%)	11 (41%)

제사바닥 바닥은 조사한 전체 농장의 93%가 시멘트 재질이었으며, 이때 산란계는 대부분 케이지에 사육되었다(표 18). 계분수거 방법은 대부분 계분 벨트를 이용하였으며, 주당 평균 2.4회 수거하였다(표 19). 2008년 축사표준설계도에는 무창 계사로 16주령 이상부터 사육하는 축사형태로 되어있으며 케이지 사육을 하여 동물복지 를 고려하도록 하였다. 분뇨 수거방식은 계분 벨트를 이용하여 계사 밖으로 배출될 수 있게 하였다(농림축산식품부, 2008).

<표 18> 산란계 농장의 계사바닥 재질

구분	흙바닥	시멘트
농가 수 (비율)	2 (7%)	25 (93%)

<표 19> 산란계 농장에서 이용하는 계분 수거 방법

구분	계분 벨트	인력
농가 수 (비율)	25 (93%)	2 (7%)

조사된 산란계농장도 육계농장과 마찬가지로 계사 냄새저감을 위해 계사 외부에 방진벽을 설치하여 먼지에 흡착된 냄새물질이 외부로 휘산되는 것을 차단하였다(표 20). 냄새저감을 위해 사료 내 첨가제를 이용하고 있는 농장은 4곳 이었으며 모두 생균제를 구매하여 이용하고 있었다.

<표 20> 산란계 농장에서 이용하고 있는 계사 외부 냄새저감 장치

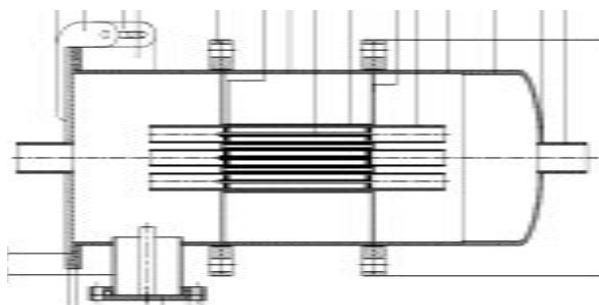
구분	방진벽	바이오플터	냄새저감장치 없음
농가 수 (비율)	18 (67%)	1 (3%)	8 (30%)

육계농장과 산란계농장의 실태조사 결과를 종합하면, 계사형태는 무창식으로 환기방식은 터널식을 기본으로 하여 지붕배기식을 함께 이용하였으며 환기는 기계식으로 조절하였다. 계사 외부에 방진벽을 설치하여 냄새가 휘산되는 것을 차단하였으며, 사료 내 생균제를 첨가하여 냄새 생성을 줄이고자 하였다. 육계농장과 산란계농장의 차이점은 계사 내 사육방식이었다. 육계는 왕겨 깔짚 바닥에 사육되었으며 깔짚은 연간 평균 3.5회 사용한 후 교체하였다. 산란계는 대부분 케이지에 사육되었으며 계분은 벨트 방식으로 수거하였다.

나. 시험 2. 무창계사 냄새휘산 방지를 위한 냄새저감 장치 설계 및 제작

1) 저온플라즈마 냄새저감 장치 구성

플라즈마는 기체에 에너지(방전)를 가하여 기체를 구성하는 물질들이 이온화되어 양이온, 전자 및 중성자로 존재하는 상태를 의미한다. 플라즈마를 생산 및 이용하는 기술은 조명기구, 액정, 반도체 가공, 살균기기 및 공기정화기에 이용된다. 농축산 분야에서도 농축산물의 살균 및 저장기간 확대를 위하여 이용되고 있다. 저온플라즈마는 기체에 저온의 에너지를 가하여 이온을 발생시키는 것으로 이온은 공기 중의 냄새물질을 산화하여 감소시킨다. 또한 플라즈마 방전 시 발생되는 자외선(파장 300~400nm 범위)은 광촉매제인 이산화티타늄(TiO_2)을 활성화하여 강산화인 수산화라디칼 상태로 변화시켜 냄새물질을 산화시킨다. 저온플라즈마 냄새저감 장치의 내부는 저온플라즈마 유전체관 7개가 병렬로 연결되어 있고 유전체관 내부에는 제올라이트 촉매가 충진되어 있어 저전력으로 고효율 분해능을 나타낼 수 있도록 하였다(그림 17). 냄새저감 장치는 무창계사 배기팬에 부착하여 외부로 배출되는 공기 중에 저온플라즈마를 주사함으로써 냄새물질을 분해시킨다. 저온플라즈마 냄새저감 장치는 저온플라즈마가 장착된 냄새저감 장치 본체, 냄새저감 장치에서 먼지를 제거하기 위한 세척수를 보관하는 통, 냄새저감 장치의 작동을 조절하는 컨트롤러로 구성된다(그림 18).

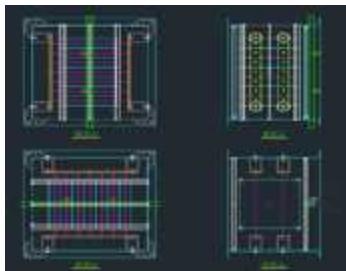


저온플라즈마 장치 도면



저온플라즈마 장치 내부 유전체관

<그림 17> 저온플라즈마 냄새저감 장치 구조



무창계사 설치를 위한 설계도



저온플라즈마 냄새저감 장치 구성

<그림 18> 무창계사 설치를 위한 저온플라즈마 냄새저감 장치 구성

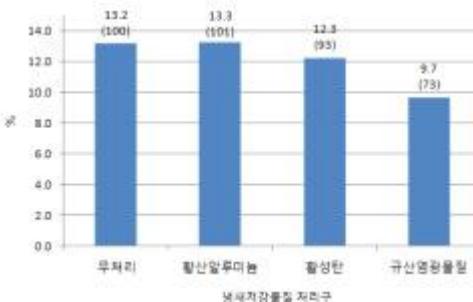
2) 저온플라즈마 냄새저감 장치 설계 및 제작

저온플라즈마 냄새저감 장치는 육계 농장의 무창계사에 직접 설치하여 계사 환기조건에 따른 냄새저감 효능을 평가하고자 한다. 그래서 무창계사 내·외부 냄새저감 기술 효능 현장 평가 수행 시 육계 농장의 계사 구조 및 환기조건에 따라 설계하여 제작할 것이다.

다. 시험 3. 무창계사 바닥 살포용 냄새저감 물질 선별 및 냄새저감 효능 평가

1) 냄새저감 물질 처리구별 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도 비교

이산화탄소 가스 농도는 무처리 13.2%, 황산알루미늄 13.3%, 활성탄 12.3% 및 규산염광물질 9.7%로 무처리에 비해 규산염광물질 처리구에서 27% 감소되었다. 암모니아 가스 농도는 무처리 318ppm, 황산알루미늄 275ppm, 활성탄 399ppm 및 규산염광물질 313ppm으로 무처리에 비해 황산알루미늄 처리구에서 13% 감소되었다(그림 19). 계분은 요산과 유기질소 함량이 높으며 계분에 포함된 질소 성분은 깔짚 내 미생물에 의해 암모니움(NH_4^+)으로 전환되고 계사 내부의 온·습도 변화에 의해 암모니아(NH_3)로 휘산된다. 육계사 내부 공기 중의 냄새물질을 분석하였을 때 암모니아 농도가 가장 높았으며(표 21; 장 등, 2010), 깔짚 재사용으로 인해 암모니아 가스 발생이 증가될 수 있다(남, 2004). 깔짚에 황산알루미늄을 살포한 처리구에서 암모니아 가스 농도가 감소된 것은 깔짚 내 암모니움과 황산알루미늄이 반응하여 황산암모니움($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)을 형성함으로써 암모니아 휘산이 감소되었을 것이다(DeLaune 등, 2004).



이산화탄소 가스 농도



암모니아 가스 농도

<그림 19> 냄새저감 물질 처리구별 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도

<표 21> 육계사 내부 냄새물질 농도

냄새물질 종류	냄새물질 농도
암모니아(ppb)	14,400
황화수소(ppb)	7.9
메틸머캅탄(ppb)	11.7
트리메틸아민(ppb)	37.9
뷰티르산(ppb)	15.1

2) 냄새저감 물질 처리구별 깔짚 pH, 온도, 수분 및 미생물 균수 비교

깔짚의 pH, 온도, 수분 및 미생물 균수는 냄새저감 물질 처리구별로 차이가 없었다(표 22, 23). 이상의 결과를 종합하면, 무창계사에서 휘산되는 냄새물질 중에서 가장 농도가 높은 것은 암모니아인데, 암모니아를 줄이는데 효과적인 냄새저감 물질은 황산알루미늄이었다.

<표 22> 냄새저감 물질 처리구별 깔짚 pH, 온도 및 수분

구분	무처리	황산알루미늄	활성탄	규산염광물질
pH	9.0	8.9	8.9	8.9
온도(°C)	31.6	31.4	31.9	31.6
수분(%)	20.5	20.9	21.5	19.9

<표 23> 냄새저감 물질 처리구별 깔짚의 미생물 균수

구분	무처리	황산알루미늄	활성탄	규산염광물질
총균수(cfu/g)	8.1×10^6	1.0×10^7	1.4×10^7	9.8×10^7
E.coli(cfu/g)	1.0	8.8	5.9	7.5
살모넬라(cfu/g)	18.8	39.0	25.3	23.9

제 5 절 무창계사 내·외부 냄새저감 기술 효능 현장평가(양계)

1. 시험방법

가. 시험 1. 무창계사 외부 냄새저감 장치의 냄새저감 효능 현장평가

1) 처리내용

처리구는 무처리구와 냄새저감 장치구로 구성하였으며 냄새저감 장치는 플라즈마와 습식 세척 장치로 설계하였다. 플라즈마 냄새저감 장치는 당해년도에 선정한 시험농장의 무창계사 내 사육수수와 계사 면적 당 환기량 및 배기팬 사양을 측정하여 제작하였으며, 제 1 세부 과제 책임자가 협조해주었다. 냄새저감 장치는 시험기간 동안 24시간 가동하였다.

2) 시험 육계사의 사육현황

시험농장은 전남 강진소재 축산연구소 내 위치하였으며, 시험 육계사는 무창이고 환기시

스템은 자연입기에 환기팬을 이용한 강제 배기방식이다. 육계는 육계사 2개 실에 각각 300수 씩 총 600수를 사육하였으며 계사 깔짚은 병아리 입추 전에 새 것으로 교체하였다. 육계사 내 사육수수는 축산업 등록제의 사육밀도를 기준(육계 체중 39kg 이하/m²)으로 설정하였다. 계사 1개 실의 환기량은 사육 수수기준으로 체중 1.18kg, 육계 300수, 온도 21.1°C에서 사육, 사육기준 환기량 2.2cfm/수수일 때 18.696CMM이다. 또한 계사 1개실의 체적(140m³)으로 환기 횟수 10회를 기준으로 계산하였을 때 약 23CMM이다. 계사에 설치된 배기팬의 사양은 Φ300, 26.4CMM이며 배기팬의 풍속은 풍량 26.4CMM을 기준으로 하였을 때 약 6.22m/s이다.

3) 온·습도, 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도 측정

온·습도, 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도는 데이터 로거가 장착된 실시간 측정 장치(유샘인스트루먼트)를 이용하여 측정하였다. 측정 지점은 육계사 내부와 냄새저감 장치를 통과한 후 50cm 및 150cm 떨어진 지점으로 설정하였다(그림 20).



육계사 내부



육계사 외부

<그림 20> 육계사 내·외부 측정 위치

나. 시험 2. 무창계사 내부 바닥 살포용 냄새저감 물질 효능 현장평가(새 깔짚)

1) 처리내용

처리구는 무살포구와 황산알루미늄 살포구이며, 황산알루미늄은 전년도(2015년) 시험에서 무창계사 바닥 살포용으로 냄새저감에 효과가 있는 물질로 선발되어 당해연도(2016) 현장실증 시험에 이용하였다. 황산알루미늄은 입추 전, 입추 1주 후 및 2주 후로 총 3회 살포하였으며, 살포 양은 깔짚 면적(m²) 당 0.3kg으로 하였다. 전년도 시험에서 황산알루미늄의 살포 양은 비용 및 냄새저감 효과 확인을 위하여 회당 0.5kg를 이용하였다. 그러나 당해연도는 육계농장에서 현장평가를 수행하기 때문에 농장의 경제적인 부담을 가중시키기 않기 위해 황산알루미늄 살포 양을 회당 0.3kg으로 감소시켰다. 전년도에 깔짚 면적(m²) 당 1회에 0.5kg하였을 때 660 원/회(1,320원/kg)이 소요되었지만, 당해연도에 1회 0.3kg으로 살포하면 396원/회이 소요된다. 시험은 5주 간 수행되었다.

2) 시험 육계사 사육현황

시험농장은 전남 강진소재 축산연구소 내 위치하였으며, 시험 1에서 이용한 육계사와 동일한 것으로 무창계사에 환기시스템은 자연입기에 환기팬을 이용한 강제 배기방식이다. 육계사

내 1개 실의 체적은 $140m^3$ 이며 배기팬의 사양은 $\Phi 300, 26.4CMM$ 이며 배기팬의 풍속은 풍량 $26.4CMM$ 을 기준으로 하였을 때 약 $6.22m/s$ 이다. 육계는 육계사 2개 실에 각각 300수 씩 총 600수를 사육하였으며 계사 깔짚은 병아리 입추 전에 새 것으로 교체하였다. 육계사 내 사육수 수는 축산업 등록제의 사육밀도를 기준(육계 체중 $39kg$ 이하/ m^2)으로 설정하였다(그림 21).



육계사 외부



육계사 내부

<그림 21> 육계사 내·외부 구조

3) 처리구별 육계사 내부 공기 및 깔짚 분석

시험기간 동안 처리구별로 온·습도, 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도는 계사 내부에 데이터로거가 장착된 센서를 설치하여 측정하였다. 육계사 내부에 센서 설치 위치는 시험 1과 동일하게 하였다(그림 20). 계사 깔짚은 처리구별로 매주 1회씩 채취하였으며 pH, 수분, 총 세균수, 대장균 및 살모넬라를 분석하였다.

다. 시험 3. 무창계사 내부 바닥 살포용 냄새저감 물질 효능 현장평가(재사용 깔짚)

1) 처리내용

처리구는 무살포구와 황산알루미늄 1회 및 3회 살포구로 하여 총 3 처리구로 하였다. 황산알루미늄 1회 살포구는 입추 전에 살포하였고, 3회 살포구는 입추 전, 입추 1주 후 및 2주 후에 살포하였다. 살포 양은 깔짚 면적 당 $0.3kg$ 으로 하였으며, 시험기간은 5주 간 수행되었다. 전년도 시험에서 황산알루미늄의 살포 양은 비용 및 냄새저감 효과 확인을 위하여 회당 $0.5kg$ 를 이용하였다. 그러나 당해연도는 육계농장에서 현장평가를 수행하기 때문에 농장의 경제적인 부담을 가중시키기 않기 위해 황산알루미늄 살포 양을 회당 $0.3kg$ 으로 감소시켰다. 전년도에 깔짚 면적(m^2) 당 1회에 $0.5kg$ 하였을 때 $660원/회(1,320원/kg)$ 이 소요되었지만, 당해연도에 1회 $0.3kg$ 으로 살포하면 $396원/회$ 이 소요된다. 육계 10,000수 기준으로 황산알루미늄 1회 살포 시 비용을 계산하면, $356,400원$ 이 소요되며 육계 사육기간 동안 3회 살포하면 $1,069,200원$ 이 소요된다.

(계산식) 육계 10,000수 사육계사에 황산알루미늄 1회 살포

$$\text{깔짚 면적 } 900m^2 \times \text{황산알루미늄 살포 양 } 0.3kg/m^2 \times \text{황산알루미늄 가격 } 1,320\text{원}/kg = 356,400$$

2) 육계농장 사육현황 및 황산알루미늄 처리

시험농장은 전북 김제시 소재의 육계농장으로 육계사 3개 동에 총 51,000수를 사육하였

다. 육계사는 터널식 환기시스템의 무창 계사이고 깔짚은 6회 재사용하였다. 육계사 내 사육수는 축산업 등록제의 사육밀도를 기준(육계 체중 39kg 이하/m²)으로 하여 설정하였다. 육계사 3개 동은 각각 무처리구, 황산알루미늄 1회 살포구, 3회 살포구로 배치하였다. 황산알루미늄은 처리구별로 계사 바닥 깔짚에 골고루 살포하였다(그림 22).



육계사 외부



육계사 내부

<그림 22> 육계사 내·외부 구조

3) 처리구별 육계사 내부 공기 및 깔짚 분석

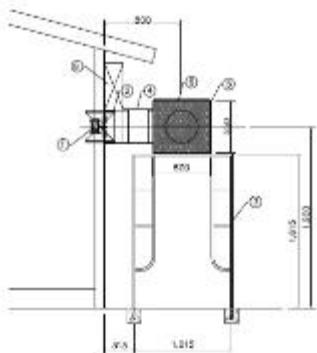
시험기간 동안 처리구별로 온·습도, 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도는 계사 내부에 데이터로거가 장착된 센서를 설치하여 측정하였다. 계사 깔짚은 처리구별로 매주 1회씩 채취하였으며 pH, 수분, 총세균수, 대장균 및 살모넬라를 분석하였다.

2. 시험결과

가. 시험 1. 무창계사 외부 냄새저감 장치의 냄새저감 효능 현장평가

1) 플라즈마 냄새저감 장치 제작 및 설치

냄새저감 장치는 계사 환기량과 배기팬 사양을 고려하여 제작하였다. 계사 환기량은 사육수수를 기준으로 18.7CMM, 계사 면적을 기준으로 23CMM 정도 필요하며, 계사에 설치된 배기팬의 배기 풍량은 26.4CMM 이었다. 냄새저감 장치 크기는 W800 × L600 × H550이며, 내부 저온플라즈마 방전 공간의 크기 W260 × L355 × H260, 플라즈마 방전 전력 180~220W, 방전핀 규격 W4.0 × L337 × t0.12, 광촉매 필터 규격 W480 × L495 × t10(TiO₂ 2조)이다. 플라즈마 접촉면적에 대한 반응시간은 0.05454sec[접촉 공간 0.023998m²(W260 × L355 × H260), 통과 풍량 0.44m³/s(26.4CMM), 반응기 통과 단면 속도 4.767m/s]이다. 냄새저감 장치는 계사 배기팬과 동일한 높이에 설치하였으며 냄새저감 장치를 통과한 공기의 배출구에는 주름관을 연결하여 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스를 측정할 수 있도록 하였다(그림 23).



플라즈마 장치 설치 도면

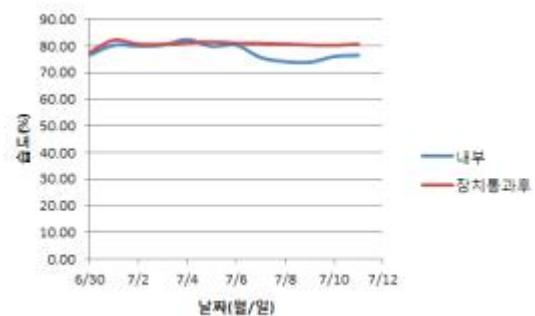
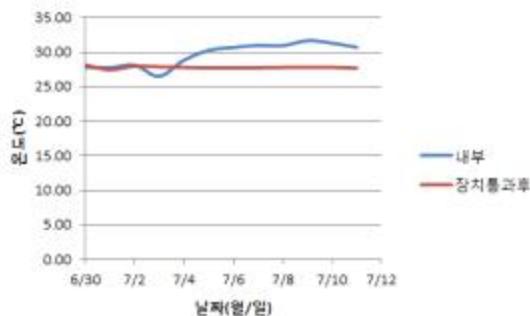


플라즈마 장치 설치 현황

<그림 23> 플라즈마 냄새저감 장치 설치 도면 및 현황

2) 육계사 내부 및 냄새저감 장치 통과 후 배출 공기 중의 온도 및 습도 비교

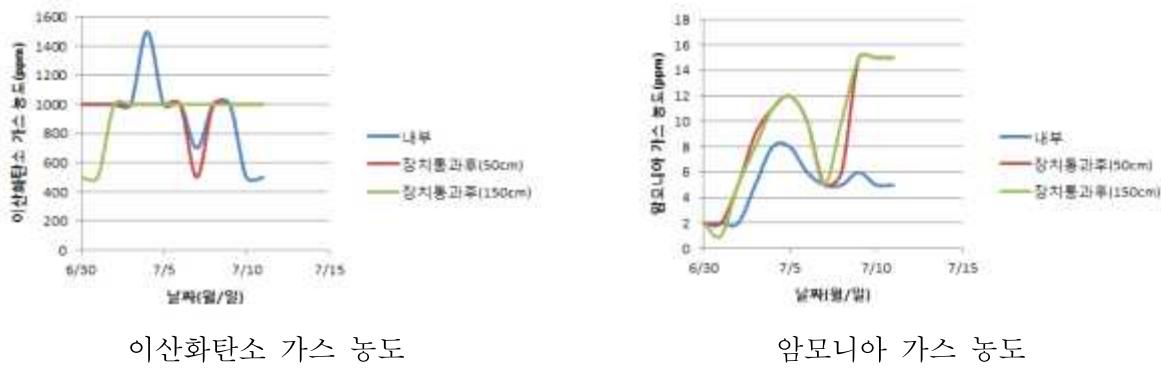
육계사 내부 및 냄새저감 장치 통과 후 배출되는 공기 중의 온도는 각각 평균 29.6°C 와 27.8°C 이었으며, 습도는 각각 평균 78.0%와 80.7% 이었다(그림 24). 육계사 내부 공기와 냄새저감 장치 통과 후 배출 공기 중의 온도는 시간이 경과할수록 육계사 내부가 높은 경향을 보였으며 습도는 시간이 경과할수록 육계사 내부에서 조금 낮아지는 경향을 보였다. 시험기간이 경과할수록 육계가 성장함에 따라 육계사 내부 온도는 증가되었으며, 이때 환기팬의 작동에 의해 내부 습도가 조금 감소된 것으로 추측된다. 냄새저감 장치 통과 후 배출되는 공기 중의 온도 및 습도는 대기 중의 변화에 영향을 받은 것으로 판단된다.



<그림 24> 윤도 및 슬도 변화

3) 육계사 내부 및 냄새저감 장치 통과 후 배출 공기 중의 이산화탄소 및 암모니아 가스 농도 비교

이산화탄소 가스와 암모니아 가스 농도는 육계사 내부 공기와 냄새저감 장치 통과 후 50cm 및 150cm 떨어진 지점에서 측정하였다. 이산화탄소 가스 농도는 육계사 내부에서 평균 933.3ppm, 장치 통과 후 50cm에서 평균 958.3ppm, 150cm에서 평균 916.7ppm으로 처리구간에 차이가 없었다. 암모니아 가스 농도는 육계사 내부 평균 4.9ppm, 장치 통과 후 50cm에서 평균 8.9ppm, 150cm에서 평균 9.1ppm으로 육계사 내부에 비해 냄새저감 장치 통과 후 배출되는 공기에서 높았다. 냄새저감 장치는 이산화탄소 가스와 암모니아 가스 저감에 효과가 없었다(그림 25).

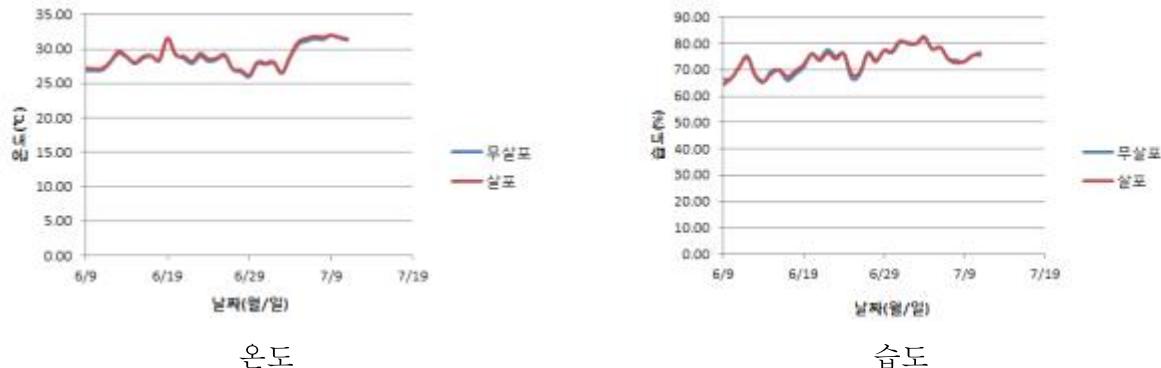


<그림 25> 이산화탄소 및 암모니아 가스 농도 변화

나. 시험 2. 무창계사 내부 바닥 살포용 냄새저감 물질 효능 현장평가(새 깔짚)

1) 무살포구 및 황산알루미늄 살포구간 육계사 내부 공기 중의 온도 및 습도 비교

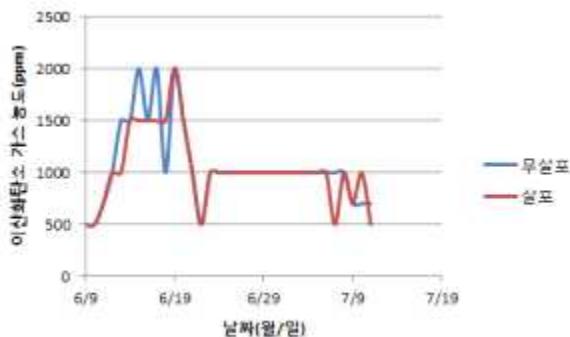
무살포구와 황산알루미늄 살포구의 육계사 내부 온도는 각각 평균 28.8°C와 29.0°C 이었으며, 습도는 평균 73.6%로 처리구간에 차이가 없었다(그림 26). 처리구별로 육계사 내부 공기 중의 온도 및 습도는 시간이 경과할수록 조금 높아지는 경향을 보였는데, 육계가 성장함에 따라 조금씩 증가된 것으로 판단된다. 온도 및 습도는 황산알루미늄 살포에 영향을 받지 않았다.



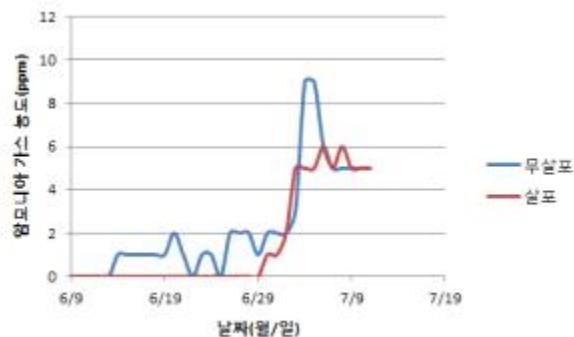
<그림 26> 온도 및 습도 변화

2) 무살포구 및 황산알루미늄 살포구간 육계사 내부 공기 중의 이산화탄소 및 암모니아 가스 농도 비교

이산화탄소 가스 농도는 무살포구에서 평균 1,069.7ppm, 황산알루미늄 살포구에서 평균 1,027.3ppm으로 처리구간에 차이가 없었다. 암모니아 가스 농도는 무살포구에서 평균 2.3ppm, 황산알루미늄 살포구에서 평균 1.6ppm으로 무살포구에 비해 황산알루미늄 살포구에서 33% 감소되었다(그림 27). 시험기간 동안 이산화탄소 가스 농도는 감소되는 경향을 보였고, 암모니아 가스 농도는 증가되는 경향을 보였다. 이산화탄소 가스 농도는 육계가 성장함에 따라 내부 온도 조절을 위해 배기팬을 작동함으로써 감소된 것으로 추측된다. 반면에 암모니아 가스는 육계사 내·외부의 온도차 및 음수의 수분에 의해 암모니아 가스가 결합되었거나 깔짚에 배설된 분뇨가 축적되면서 계속적으로 암모니아 가스가 생성되어 농도가 증가되었을 것으로 추측된다.



이산화탄소 가스 농도

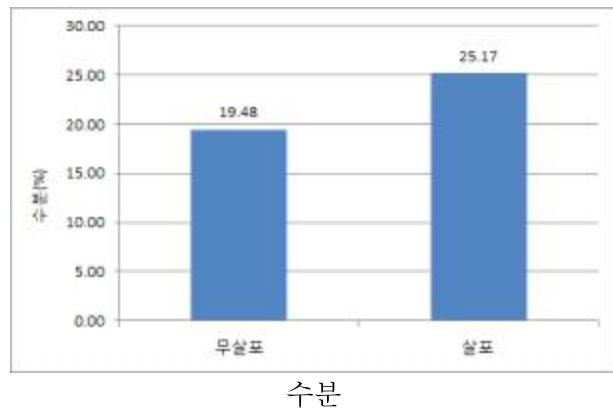
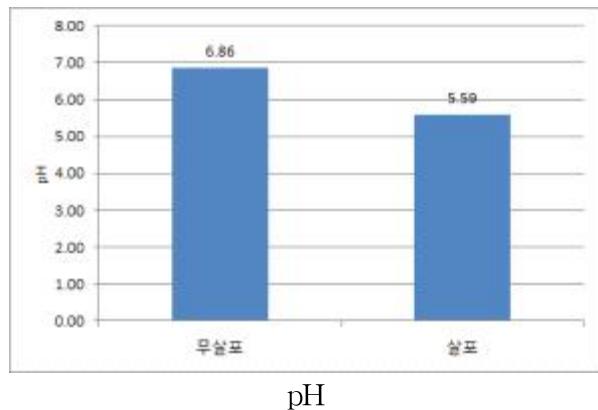


암모니아 가스 농도

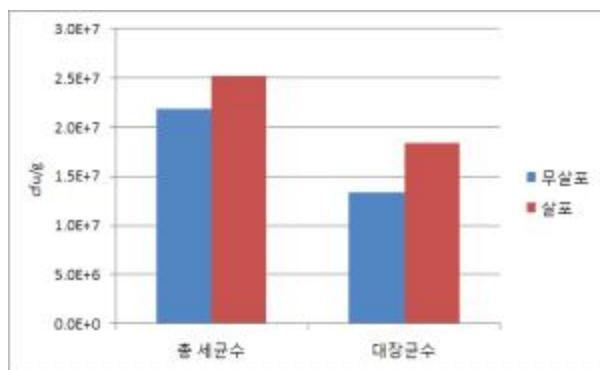
<그림 27> 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도 변화

3) 무설포구 및 황산알루미늄 살포구간 육계사 내부 깔짚의 pH, 수분, 미생물 비교

pH는 무설포구 6.86, 황산알루미늄 살포구 5.59로 황산알루미늄 살포구에서 낮았으며, 수분은 무설포구 19.48%, 황산알루미늄 살포구 25.17%로 황산알루미늄 살포구에서 높았다(그림 28). 깔짚의 pH가 황산알루미늄 살포구에서 낮은 것은 황산알루미늄의 황산 성분에 의한 것으로 판단된다(Moore 등, 1995).



<그림 28> 깔짚의 pH 및 수분



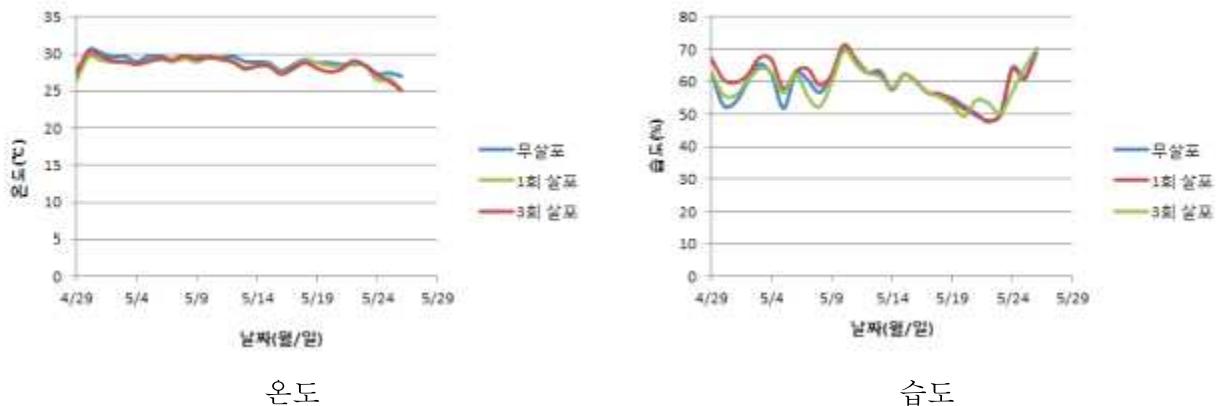
<그림 29> 깔짚의 총세균수 및 대장균수

육계사 내부 깔짚의 총세균수는 무살포구 2.2×10^7 , 황산알루미늄 살포구 2.5×10^7 이며, 대장균수는 무살포구 1.3×10^7 , 황산알루미늄 살포구 1.8×10^7 으로 황산알루미늄 살포구에서 높은 경향을 보였다(그림 29).

다. 시험 3. 무창계사 내부 바닥 살포용 냄새저감 물질 효능 현장평가(재사용 깔짚)

1) 무살포구 및 황산알루미늄 살포구간 육계사 내부 공기 중의 온도 및 습도 비교

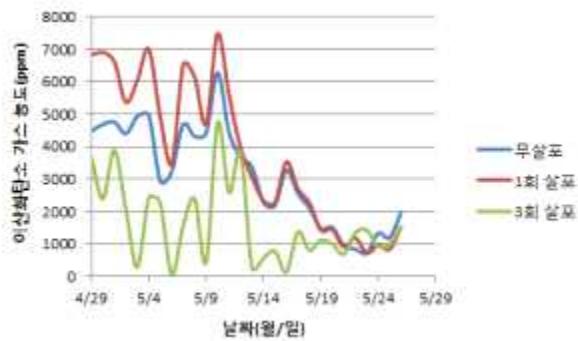
무살포구, 황산알루미늄 1회 살포구 및 3회 살포구의 육계사 내부의 온도는 각각 평균 28.9°C , 28.4°C 및 28.5°C 이었으며, 습도는 평균 59.2%, 60.5% 및 59.0%로 처리구간에 차이가 없었다(그림 30). 육계사 내부 공기 중의 온도는 시간이 경과할수록 큰 변화가 없었으며 습도는 계사 환기에 의해 변화되는 경향을 보였다. 온도 및 습도는 황산알루미늄 살포에 영향을 받지 않았다.



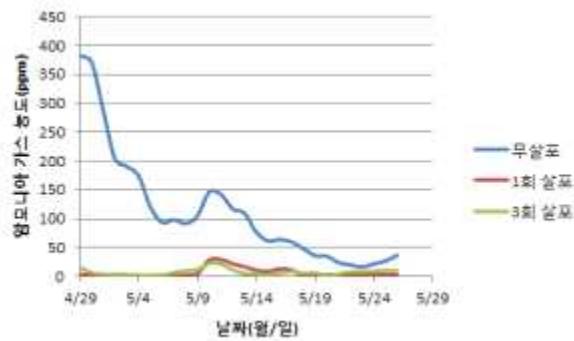
<그림 30> 온도 및 습도 변화

2) 무살포구 및 황산알루미늄 살포구간 육계사 내부 공기 중의 이산화탄소 및 암모니아 가스 농도 비교

이산화탄소 가스 농도는 무살포구에서 평균 3,143.1ppm, 황산알루미늄 1회 살포구에서 평균 3,812.4ppm, 3회 살포구에서 평균 1,623.0ppm으로 황산알루미늄 3회 살포구에서 낮았다. 무살포구에 비해 황산알루미늄 3회 살포구에서 이산화탄소 가스 농도가 48% 감소되었다. 암모니아 가스 농도는 무살포구에서 평균 112.9ppm, 황산알루미늄 1회 살포구에서 평균 6.8ppm, 3회 살포구에서 평균 7.4ppm으로 황산알루미늄 살포구에서 낮았다(그림 31). 암모니아 가스 농도는 무살포구에 비해 황산알루미늄 1회 살포구에서 94% 3회 살포구에서 93% 감소되었으며 살포 횟수 간에 차이가 없었다. 시험기간 동안 이산화탄소 가스와 암모니아 가스 농도는 감소되는 경향을 보였는데, 이산화탄소 가스 농도는 육계가 성장함에 따라 내부 온도 조절을 위해 배기팬을 작동함으로써 감소된 것으로 추측된다. 그러나 암모니아 가스 농도는 배설된 분뇨가 깔짚에 축적되면서 암모니아 생성이 증가될 것으로 예상하였지만 오히려 반대의 결과가 분석되었다. 아마도 깔짚이 6회 재사용되는 동안 부숙되어 미생물 활성이 활발해져서 배설된 분뇨를 빨리 분해시켜 암모니아 휘산이 감소된 추측된다.



이산화탄소 가스 농도

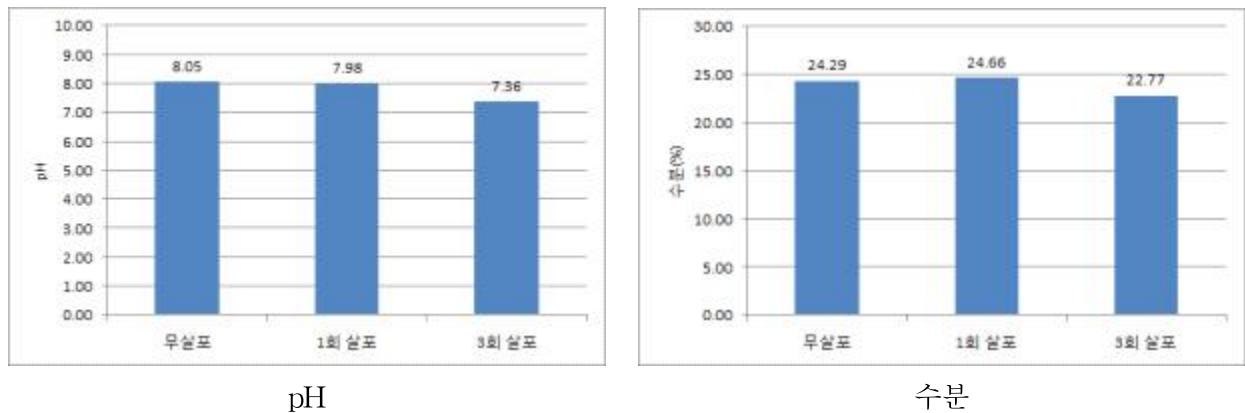


암모니아 가스 농도

<그림 31> 이산화탄소 가스 및 암모니아 가스 농도 변화

3) 무살포구 및 황산알루미늄 살포구간 육계사 내부 깔짚의 pH, 수분, 미생물 비교

pH는 무살포구 8.05, 황산알루미늄 1회 살포구 7.98 및 3회 살포구 7.36으로 황산알루미늄 3회 살포구에서 조금 낮았다. 수분은 무살포구 24.29%, 황산알루미늄 1회 살포구 24.66% 및 3회 살포구 22.77%로 처리구간에 차이가 없었다(그림 32). 깔짚의 pH가 조금 감소된 것은 황산알루미늄의 황산 성분에 의한 것으로 판단된다.



<그림 32> 깔짚의 pH 및 수분

총세균수는 무살포구에 비해 황산알루미늄 살포구에서 낮았지만, 황산알루미늄 1회 살포구에 비해 3회 살포구에서 높았다. 대장균과 살모넬라의 균수는 무살포구에 비해 황산알루미늄 살포구에서 높았는데(표 24), 이것은 깔짚 채취 시 계분이 많이 포함되어서 대장균과 살모넬라 균수의 증가에 영향을 주었을 것으로 추측된다.

<표 24> 깔짚의 총세균수 및 대장균수

구분	무살포	황산알루미늄	
		1회 살포	3회 살포
총세균수(cfu/mL)	22	1	7
대장균수(cfu/mL)	31	4.7×10^5	1.2×10^5
살모넬라(cfu/mL)	6	4	71

이상의 결과를 정리하면, 무창계사 내부 깔짚에 황산알루미늄을 살포하였을 때 계사 내부 공기 중의 암모니아 가스 농도가 감소되었으며, 이것은 깔짚 내 암모니움과 황산알루미늄이 반응하여 황산암모니움($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)을 형성함으로써 암모니아 휘산이 감소되었을 것이다 (DeLaune 등, 2004). 또한 암모니아 발생은 깔짚의 pH 변화에 영향을 받는데, pH가 낮아지면 암모니움이 암모니아로 전환되는 비율이 감소되어 암모니아 휘산을 줄일 수 있다(Moore 등, 1995). 그리고 황산알루미늄의 황산 성분이 깔짚의 pH를 낮추어 암모니아의 휘산을 감소시킨 것으로 판단된다(Moore 등, 1995).

본 과제의 연구 내용은 1) 무창돈사(육성·비육돈사 및 분만돈사) 환기시스템을 조사하고, 2) 돈사 입기 및 배기시설에 이산화염소 가스 살포에 의한 냄새 및 먼지 감소 효과를 평가하며, 3) 무창계사(육계사 및 산란계사)의 사육환경에 대한 실태조사를 실시하고, 4) 무창계사 외부 냄새저감 장치 및 내부 바닥 살포용 냄새저감 물질의 냄새저감 효능에 대한 현장평가를 수행하는 것으로 구성되었다. 이에 대한 연구 결과로 1) 무창 육성·비육돈사의 환기시스템은 주로 측벽입기 후 측벽배기이며 무창 분만돈사는 주로 측벽입기 후 측벽 또는 지붕배기 방식이었다. 2) 돈사에서 배출되는 공기 중에 이산화염소 가스를 살포하였을 때 부유진균 및 부유세균의 농도가 각각 93% 및 87% 감소되었다. 3) 무창 육계사 및 산란계사의 사육환경을 조사한 결과, 공통점은 계사형태는 무창이고 터널식-지붕배기식의 기계식 환기방식을 이용하였으며 계사 외부에 방진벽을 설치하여 먼지를 포집함으로써 냄새확산을 차단하였다. 차이점은 육계사의 경우 왕겨 깔짚으로 된 바닥에 사육되었고 산란계사는 케이지에 사육되었다. 4) 무창계사의 냄새를 저감시키기 위한 방법으로 저온플라즈마 냄새저감 장치를 계사 외부에 설치하였고 내부에는 황산알루미늄을 살포하여 냄새저감 효능을 평가하였다. 저온플라즈마 냄새저감 장치는 무창계사에서 배출되는 공기 중의 암모니아 가스 저감에 효과가 없었지만, 계사 내부 바닥에 황산알루미늄을 살포하였을 때 암모니아 가스 농도가 새깔짚 계사에서 33% 및 재사용 깔짚 계사에서 93% 감소된 결과를 도출하였다.

<2 협동과제 : 무창축사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

제 1 절 분뇨 피트 공기의 가축 사육 공간 유입방지 기술검토 및 설계

1. 시험방법

가. 축사표준설계도의 무창돈사 피트 모형 및 공기 포집 장치 제작
무창돈사 피트의 구조와 유사하게 외부 모형을 제작한 후 공기 포집 장치를 설계하여 제작하였다.

나. 돈사 피트 모형에 장착된 공기 포집 장치의 암모니아 제거 효율 평가

필터 장치에 사용된 세척액은 지하수와 2% 구연산 용액을 이용하였다. 공기 포집 장치의 공기 유입구에 암모니아 가스(99.9%)를 분 당 100mL로 주입하고 공기 포집 장치를 가동하여 필터 세척액이 분사되도록 하였다. 필터를 세척한 후 하부 물받이통에 모인 필터 세척액의 암모니아성 질소 농도와 pH를 분석하였다.

다. 냄새물질 분석

암모니아성 질소 농도는 시료 내 암모니아를 황산용액에 흡수시키고 수산화나트륨 용액으로 적정하는 중화적정법으로 전처리하고 켐달질소분해장치(1035 Analysis, Foss, Denmark)를 이용하여 분석되었다. pH는 pH meter (850C, Schott, Germany)를 이용하여 측정되었다.

2. 주요결과

가. 축사표준설계도의 무창돈사 피트 모형 및 공기 포집 장치

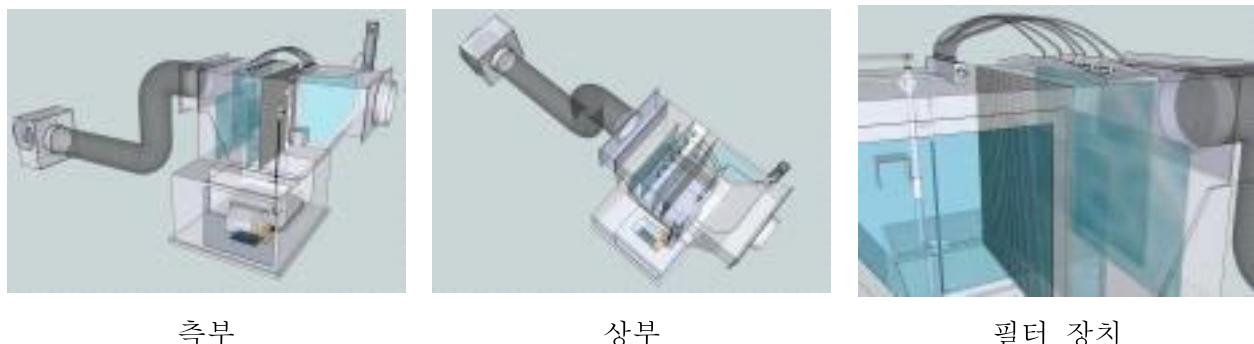
무창돈사 피트의 외부 모형은 아크릴을 이용하여 제작하였고, 피트 내부 상층 공기의 배기를 위해 환기관을 설치하였다. 환기관에는 공기 유량계를 설치하여 배출되는 공기 유량을 조절할 수 있도록 하였다. 피트 모형에 공기 포집 장치를 설치하였으며, 공기 포집 장치는 먼지 및 냄새물질 제거용 세척액 공급 장치, 세척액 공급 펌프 및 하부 물받이통으로 구성되었고 스테인레스 재질로 제작하였다(그림 2).



외형



외형



<그림 2> 돈사 피트 환기관 설치용 공기 포집 장치

나. 돈사 피트 모형에 장착된 공기 포집 장치의 암모니아 제거 효율 평가

<표 1> 필터 세척 전과 후의 세척액의 pH 변화

구분	필터 세척액	
	지하수	2% 구연산 용액
필터 세척 전	5.75	2.26
필터 세척 후	10.18	3.08

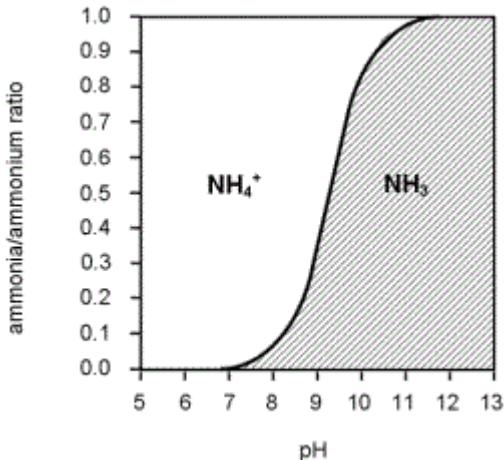
필터 세척 전과 후의 필터 세척액 처리구별 pH 변화를 <표 1>에 정리하였다. 필터 세척 후의 pH가 지하수 처리구에 비해 2% 구연산 용액 처리구에서 더 낮았다.

<표 2> 필터 세척 후 세척액의 암모니아성 질소 농도

구분	필터 세척액	
	지하수	2% 구연산 용액
암모니아성 질소 농도(mg/L)	52.27	157.74
암모니아 가스:암모니아성 질소 농도 예측	8.9 : 1	1 : 1,412,538

필터 세척액 처리구별로 필터 세척 후의 세척액 내 암모니아성 질소 농도를 <표 2>에 정리하였다. 암모니아성 질소 농도는 지하수 처리구에 비해 2% 구연산 용액 처리구에서 더 높았다. 암모니아 가스 농도 : 암모니아성 질소 농도 비를 예측한 결과, 2% 구연산 용액 처리구가 암모니아성 질소 농도 대비 암모니아 가스로 휘산되는 농도가 더 낮았다. 암모니아 가스 농도는 pH 7 부근에서 급격히 증가하고 pH 9.23에서 암모니아 가스와 암모니아성 질소 농도가 평행을 이룬다. pH가 1씩 변화될 때마다 암모니아 가스 : 암모니아성 질소의 비율은 10배 정도 변한다. 만약 pH가 7.23이라면 암모니아 가스 : 암모니아성 질소 농도는 1 : 100이다. pH가 3.23의 경우 1 : 1,000,000이 된다. 따라서 필터 세척 후 세척액의 암모니아성 질소 농도가 지하

수에 비해 2% 구연산 처리구에서 높은 것은 세척액의 낮은 pH로 인해 대기 중으로 암모니아 가스가 휘산되는 것이 방지되었기 때문으로 추측된다. 또한 암모니아 가스 농도 : 암모니아성 질소 농도 비를 예측한 결과에서도 2% 구연산 용액 처리구가 암모니아성 질소 농도 대비 암모니아 가스로 휘산되는 농도가 더 낮았다.



<그림 3> 필터 세척 후 세척액 pH 변화에 따른 암모니아 가스와 암모니아성 질소 비율 변화

2% 구연산 용액으로 필터를 세척한 후 세척액의 pH 변화에 따른 암모니아 가스와 암모니아성 질소 비율의 변화를 예측한 결과(그림 3)를 이용하여 암모니아 가스 제거율을 계산하였다. 암모니아 가스 농도는 주입 시 201.25mg/L에서 공기 포집 장치를 통과한 후 43.54mg/L으로 78.4% 감소된 것으로 예측할 수 있었다.

제 2 절 분뇨 피트 공기의 가축 사육공간 유입 방지 기술 적용(pilot scale) 및 현장 실증

1. 시험방법

가. pilot scale의 돈사 피트 공기 포집 장치(Air washer system) 설계 및 제작

1년차에 실험실 규모로 제작된 돈사 피트 공기 포집 장치를 pilot scale로 시험을 수행하기 위하여 설계 및 제작하였다(그림 4).

나. 휴대용 냄새 측정기기 설계 및 제작

양돈장에 설치된 돈사 피트 공기 포집 장치의 냄새물질 저감 효과를 실시간으로 측정하기 위하여 휴대용 냄새 측정기기를 제작하였다(그림 5).

다. 휴대용 냄새 측정기기를 이용한 돈사 피트 공기 포집 장치(Air washer system)의 냄새 저감 효과 조사

시험구는 무처리, 플라즈마, 중화액, 플라즈마 + 중화액 처리구로 구성되었다. 양돈장에 pilot scale의 돈사 피트 공기 포집 장치(Air washer system)를 설치하여 플라즈마, 중화액(세

척액), 플라즈마 + 중화액을 순차적으로 가동한 후 처리구별로 외부로 배출되는 공기의 냄새물질 농도를 휴대용 냄새 측정기기를 이용하여 측정하였다.

2. 주요결과

가. pilot scale의 돈사 피트 공기 포집 장치(Air washer system)

pilot scale의 돈사 피트 공기 포집 장치는 그림 3과 같다. 공기 포집 장치는 돈사 피트 상층에서 공기를 포집한 후 spiral nozzle(120도 분사각)을 통과하여 1차로 공기를 세척한다. 공기는 세척액이 분사되는 장치의 필터를 통과하여 먼지 등 불순물이 2차로 제거된다. 사용된 세척액은 액체 순환장치 및 액체 내 이물질 제거 필터를 통과한 후 재사용할 수 있다.



공기 포집장치



Spiral nozzle



세척액 살포장치

<그림 4> pilot scale의 돈사 피트 공기 포집 장치

나. 휴대용 냄새 측정기기

양돈장에 설치된 돈사 피트 공기 포집 장치의 냄새물질 저감 효과를 실시간으로 측정하기 위한 휴대용 냄새 측정기기는 <그림 5>와 같다. 휴대용 냄새 측정기기는 총 먼지, 황화수소, 암모니아, 온습도, 총 휘발성유기화합물 및 이산화탄소 농도를 측정할 수 있고, 이 결과를 이용하여 불쾌지수를 계산할 수 있다. 데이터는 매 5분 간격으로 저장할 수 있으며 충전지를 이용하여 전원을 공급할 수 있기 때문에 현장에서 간편하게 이용할 수 있다. 냄새 측정값을 이용하여 공기정화장치의 운전을 조절할 수도 있다.



휴대용 냄새 측정기기 및 충전장치



측정되는 화면

<그림 5> 휴대용 냄새 측정기기

다. 휴대용 냄새 측정기기를 이용한 돈사 피트 공기 포집 장치(Air washer system)의 냄새 저감 효과

<표 3> 돈사 피트 공기 포집 장치에 의한 냄새저감 효과조사(단위:ppm)

구분	휘발성 유기화합물	이산화탄소	암모니아 가스	황화수소	먼지
무처리	0.45	399.85	28.60	0	85.25
플라즈마	0.15	400.85	26.65	0	3.50
중화액	1.05	399.70	33.05	0	8.50
플라즈마+중화액	1.10	399.50	33.65	0	5.50

플라즈마 처리구가 무처리구에 비해 휘발성 유기화합물이 67%, 암모니아 가스가 7% 및 먼지가 96% 감소되었다(표 3). 결과적으로 공기 포집 장치의 플라즈마 장치를 운전하였을 때 최대 52.87%의 냄새제거 효과가 있었다.

제 3 절 분뇨 피트 공기의 가축 사육공간 유입 방지 기술 적용(barn scale) 방법 제시

1. 시험방법

가. 돈사 구조 및 사육현황 조사

돈사 피트 공기 포집장치를 제작하기 위하여 돈사의 내외부 구조 및 피트 배기시설 현황을 조사하였다. 돈사 피트 공기 중 냄새물질 저감을 위한 냄새저감제의 사용량을 예측하기 위하여 돈사 내 사육되고 있는 돼지 성장단계 및 사육두수를 조사하였다.

나. 돈사 피트 공기 포집장치 제작

돈사 피트 공기 포집장치는 돈사 피트 공기 포집펌프, 공기 배출량 조절 벨브, 냄새저감제 살포장치 및 냄새저감제 저장조로 구성되었으며, 돈사 구조와 사육현황에 적합한 크기로 제작하였다.

다. 돈사 피트에서 배출되는 공기 중 냄새저감제 살포에 의한 냄새저감 효능 평가

냄새저감제 시험구는 무처리와 이산화염소 용액 처리구로 구성되었다. 돈사 피트 내부의 상층 공기를 공기 포집펌프를 이용하여 포집한 후 냄새저감제 살포장치로 이동시킨다. 0.2%로 희석된 이산화염소 용액을 포집된 공기 중에 살포하였다. 이산화염소 용액 살포 전과 후의 공기 시료를 채취하여 냄새물질 농도, 미생물 및 분진 농도를 분석하였다.

2. 주요결과

가. 돈사 구조 및 사육현황

시험 농장은 경남 김해에 위치하였으며 돈사 구조는 무창돈사(그림 6)이고 돈사 내부는 슬랫 바닥으로 되어있고 돈사 1동 당 육성비육돈 220두가 사육되고 있다. 돈사의 환기형태는 측벽에서 복도자연급기와 강제배기 형태이다. 돈사 피트 배기시설은 기존에 설치하여 이용하였지만 철거된 상태이다. 기존에 사용하였던 돈사 피트 배기시설을 이용하여 돈사 피트 공기 포집장치를 설치하였다.



돈사 외부

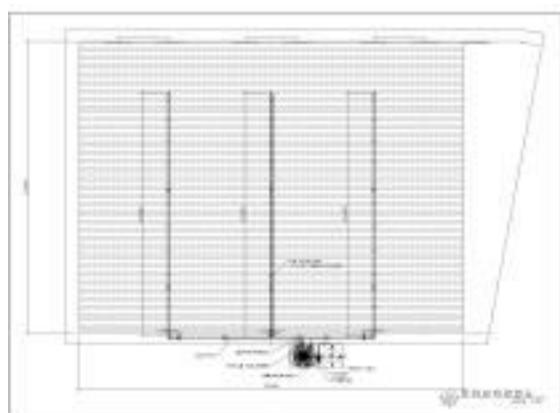


돈사 환기시설

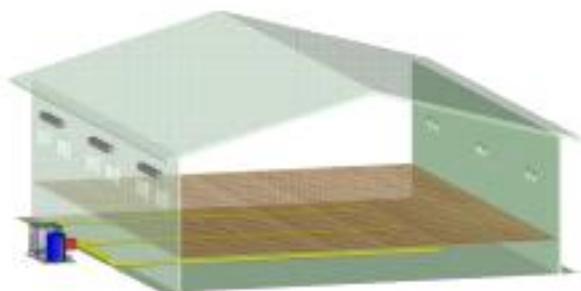
<그림 6> 돈사 구조

나. 돈사 피트 공기 배기시설 및 포집장치 구조

돈사 피트 상층부의 공기를 포집하기 위하여 돈사 피트 내부에 배기장치를 설치하였다(그림 7). 80A 다공관에 Ø10의 배기구멍을 뚫은 후 피트 내부를 통과하여 설치하였으며 피트 상층부의 공기를 포집하기 위하여 돈사 피트 공기 포집장치의 포집펌프와 연결하였다. 포집펌프는 풍속 2.0m/s, 전체배기량 76.32m³/h 및 정압 6.5mmAq 이다.



돈사 피트 배기장치 설계도면



돈사 피트 배기장치 설치 모형도

<그림 7> 돈사 피트 상층부 공기 배기시설

돈사 피트 공기 포집장치는 피트 내부 상층공기를 포집하기 위한 장치와 포집되어 배출되는 공기 중의 냄새를 저감하기 위하여 냄새저감제를 살포하는 장치로 구성되었다(그림 8).



돈사 피트 공기포집 장치



냄새저감제 살포 장치

<그림 8> 돈사 피트 공기포집 장치 외부구조

돈사 피트 공기 포집장치의 세부 구성도는 <그림 9>에 정리하였다. 돈사 피트 상층부 공기는 공기 포집펌프를 이용하여 포집된 후 냄새저감제 살포장치로 이동된다. 냄새저감제 살포에 의해 냄새물질이 저감된 공기가 외부로 배출된다. 공기 배출량 조절 벨브를 이용하여 돈사 환경에 맞게 돈사 피트에서 배출되는 공기량을 조절할 수 있다. 또한 다양한 액상의 냄새저감제를 이용할 수 있고 공기 중의 냄새물질 저감 효과를 평가할 수 있다.



돈사 피트 공기 포집펌프



공기배출량 조절 벨브



냄새저감제 저장조

<그림 9> 돈사 피트 공기포집 장치 구성도

다. 돈사 피트에서 배출되는 공기 중 냄새저감제 살포에 의한 냄새물질 농도, 미생물 및 분진 농도 변화

<표 4> 이산화염소 액상 살포에 의한 공기 중의 냄새물질 농도

	이산화염소 액상 살포	
	전	후
암모니아(ppm)	8.3±0.5(100)	6.4±0.2(77)
황화수소(ppb)	39.8±2.6(100)	10.1±0.4(25)

돈사 피트 공기 포집장치를 이용하여 냄새저감제 살포장치로 이동된 공기 중에 이산화염소 액상을 살포한 후 배기관을 통하여 외부로 배출되는 공기 중의 암모니아와 황화수소 농도를 분석하였다(표 4). 이산화염소 액상을 살포하기 전에 비해 살포한 후 암모니아 23% 및 황화수소 75%가 감소되었다.

<표 5> 이산화염소 액상 살포에 의한 공기 중의 미생물 변화

	이산화염소 액상 살포	
	전	후
부유세균(cfu/m ³)	5,700±4,251(100)	1,837±1,042(32)
부유진균(cfu/m ³)	6,443±4,632(100)	2,202± 970(34)

이산화염소 액상을 살포한 후 배기관을 통하여 외부로 배출되는 공기 중의 부유세균과 부유진균의 변화를 조사하였다(표 5). 이산화염소 액상을 살포하기 전에 비해 살포한 후 부유세균 68% 및 부유진균 66%가 감소되었다.

<표 6> 이산화염소 액상 살포에 의한 공기 중의 분진 농도

	이산화염소 액상 살포	
	전	후
TSP	312.5±64.2(100)	400.8±315.8(122)
PM ₁₀	133.0±14.4(100)	172.8±75.1(123)
PM _{2.5}	24.3±2.41(100)	19.1±1.47 (79)
PM _{1.0}	9.91±0.57(100)	7.26±0.44 (73)

이산화염소 액상을 살포한 후 배기관을 통하여 외부로 배출되는 공기 중의 분진 농도를 분석하였다(표 6). 이산화염소 액상을 살포하기 전에 비해 살포한 후 분진을 측정하는 지표 중 PM_{2.5}와 PM_{1.0}이 감소되었으며, 각각 21% 및 27% 감소되었다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야 기여도

< 정량적 성과 >

성과지표명	연도	1년차 (2012년)		2년차 (2013년)		3년차 (2014년)		4년차 (2015년)		5년차 (2016년)		달성도			
		목표	실적	달성을 (%)	기증치 (%)										
논문	SCI	1	0	1	3	2	2	1	1	2		7	6	8.57	10
	비SCI	3	2	2	1	2	2	1	0	1	1	9	6	13.33	20
산업재산권	출원	1	2	3	4	1	1	0	0	1		6	7	10	10
	등록	0	0	0	1	3	2	1	1	1	1	5	5	6	6
기술이전		0	0	3	1	0	0	0	3	2	1	5	5	5	5
시책건의 기관제출		0		2		1	1	1	2	2	2	6	5	5.83	7
영농활용 기관제출		0		1		2		2	4	2		7	4	6.86	12
학술발표	국제	0		1	2	1	2	1	1	0		3	5	4	4
	국내	2	1	3	2	3	4	3	5	2	1	13	13	20	20
자료발간		0		0		1		0		0		1	0	0	1
홍보성과		0		0		0		2	4	2		4	4	5	5
계		7	5	16	14	16	14	12	21	15	6	66	60	84.59	100

<제1세부과제 : 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

제1절 : 목표대비 달성도

연차	당초목표	가중치	개발내용	달성도
1차년도 (2012)	1) 양성 코로나 방전의 화학적 활성화 반응을 이용한 가축 생체 무해 공기 정화 적용 기술 연구(배오존 기술개발)	50%	1) 축사 적용 양성코로나방전 이용 공기정화장치 Bench-Scale 시스템개발 및 성능 평가 (배오존 기술개발)	50%
	2) 국내 적용 가능 외부 공기 유입 필터링 기술 제시	50%	2) 국내 적용 가능 외부 공기 유입 적용 필터 적용 효율 평가	50%
2차년도 (2013)	1) 축사 내부 최대 및 최소 환기량에 따른 공기정화 순환시스템 연구	50%	1) 무창축사 환경에 적합한 저온플라즈마장치 공기정화시스템 설계 및 제작, 현장 설치 및 운전 전후의 악취저감 효과 검증(중앙처리방식, 풍량 50~60CMM) 악취저감효율 NH ₃ , 최대 52.87%, H ₂ S 최대 57.93% 효과	50%
	2) 축사 내외부 냄새제거 및 미생물 사멸정도 시험	50%	2) 무창축사 저온플라즈마시스템을 이용한 부유미생물, 엔도톡신, 먼지 제거효율 평가. 미생물사멸효과는 부유세균 99.8%, 부유진균 99.7% 효과	50%
3차년도 (2014)	1) 무창축사 최소 환기 유지기간 효율적 순환시스템 적용을 위한 축사 내부구조(바닥, 천정, 측벽)에 따른 공기정화 자동화 기술 적용	100%	1) 무창돈사 최소, 최대 환기량 처리에 적합한 저온플라즈마 공기정화 시스템설계 및 제작, 설치운전 전후의 악취저감효과검증(개별처리방식, 풍량 50CMM) 악취저감효율 NH ₃ , 최대 47.8% 저감, H ₂ S 변화 없음. 2) 습식 세척장치 세척수 살균용 저온플라즈마살균장치 설계 및 제작, 설치 운전(저온플라즈마 세척수 살균장치는 COD, 부유물질, 총대장균 처리효율이 각각 53.9%, 69.5%, 98.1% 효과)	100%
4차년도 (2015)	1) 냄새 및 미생물 등 무창계사내 오염물질 제거 공기정화 시스템 설계 및 제작(시험농가 설치)	100%	1) 무창돈사 공기정화시스템 운전별 악취물질 농도 측정(개별처리방식, 풍량 9.5CMM) NH ₃ 제거효율은 플라즈마처리 약 27.3%, 습식분무처리 약 33.5% 저감	100%
5차년도 (2016)	1) 무창계사 시험 농가 공기정화 시스템 성능시험 및 운전조건 최적화	50%	1) 무창계사 시험농가 공기정화시스템 설계 및 제작, 시험농가설치, 운전전후의 악취저감 효과 검증(개별처리방식, 풍량 2.52CMM) NH ₃ 제거효율은 플라즈마처리 약 36.67%, 습식분무처리 약 31.13% 저감	50%
	2) 장치 표준화 설계	50%	2) 장치 표준화 설계 작업	50%
최 종	○ 환경오염 방지 및 에너지 저감기술이 결합된 무창축사 공기정화 시스템 개발	500%	○ 환경오염 방지 및 에너지 저감기술이 결합된 무창축사 공기정화 시스템 개발	500%

제2절 : 정량적 성과

성과지표명	연도	1년차 (2012년)		2년차 (2013년)		3년차 (2014년)		4년차 (2015년)		5년차 (2016년)		달성도			
		목표	실적	달성율 (%)	가중치 (%)										
논문	SCI	1	0	0	3	1	2	1	1	2	0	5	6	120	10
	비SCI	1	0	1	1	1	2	1	0	0	1	4	4	100	20
산업재산권	출원	1	1	1	4	1	1	0	0	0	0	3	6	200	10
	등록	0	0	0	1	1	2	1	1	1	1	3	5	166	6
기술이전		0	0	1	1	0	0	0	2	1	1	2	4	200	5
시책건의 기관제출		0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	3	1	33	7
영농활용 기관제출		0	0	0	0	1	0	1	2	1	0	3	2	66	12
학술발표	국제	0	0	1	2	1	2	1	1	0	0	3	5	166	4
	국내	0	0	1	2	1	4	2	3	1	0	5	9	180	20
자료발간		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
홍보성과		0	0	0	0	0	0	2	4	2	0	4	4	100	5
계		3	1	6	14	8	13	10	15	9	3	36	46	127	100

<1협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

제 1 절 목표대비 달성도

당초 목표	가중치 (%)	개발 내용	달성도 (%)
1년차(2012년) 1) 무창육성 · 비육돈사와 무창분만돈사의 환기시스템 분석 2) 이산화염소 가스 분무장치를 무창 돈사 필터링 기술로 적용하기 위한 방안	100%	<p>1) 무창육성 · 비육돈사의 환기시스템은 측벽 상부 슬롯 입기 후 측벽배기, 복도 측벽창문 입기 후 측벽배기 및 측벽상부 슬롯 입기 후 터널배기이며, 무창분만돈사의 환기 시스템은 측벽 상부 슬롯 입기 후 측벽배기, 천장 비닐입기 후 측벽배기 및 덕트 상부입기 후 지붕 또는 측벽배기임</p> <p>2) 돈사 외부 및 내부로 유입되는 공기 중에 이산화염소 가스를 살포하는 방법이며 직접 가축에 노출되기 때문에 살포양을 줄이고 미세하게 분무될 수 있는 방법의 개선이 필요함</p>	100%
2년차(2013년) 1) 이산화염소 가스 분무장치 설계 및 제작 2) 돈사에서 배출되는 공기 중 냄새 및 먼지 감소효과평가	100%	<p>1) 이산화염소 가스 분무장치는 고속교반기 (High shear mixer) 원리를 이용하여 공기와 이산화염소 가스가 균질하게 혼합되도록 제작함</p> <p>2) 부유진균과 부유세균의 농도는 이산화염소 가스를 분무하기 전에 비해 분무한 후에 부유진균 93%, 부유세균 87% 감소됨</p>	100%
3년차(2014년) 1) 양돈장 내 돈사입기 및 배기시설에 공기 필터링을 위한 이산화염소 가스 분무장치 적용 평가	100%	<p>1) 돈사 내부로 입기되는 공기 중에 이산화염소 가스 살포 시 가축에게 노출될 수 있어 안전성을 우려하고 정확한 분무 농도의 설정이 필요하여 대체 장치의 선정이 필요함</p>	100%
4년차(2015년) 1) 무창계사(육계, 산란계) 사육환경 실태조사 2) 무창계사 냄새회산 방지를 위한 냄새저감 장치 설계 및 제작 3) 무창계사 바닥 살포용 냄새저감 물질 선별 및 냄새저감 효능 평가	100%	<p>1) 공통점 : 계사형태는 무창식, 환기방식은 터널식으로 기본으로 지붕배기식 혼용, 환기는 기계식, 계사 외부에 방진벽을 설치하여 냄새가 휘산되는 것을 차단함 차이점 : 육계는 왕겨깔짚 바닥 계사에 사육되었으며 깔짚은 연간 평균 3.5회 교체, 산란계는 대부분 케이지에 사육되고 계분은 벨트방식으로 수거함</p> <p>2) 냄새저감 장치는 무창계사 배기팬에 부착하여 외부로 배출되는 공기 중에 저온플라즈마를 주사함으로써 냄새물질을 분해시킴</p> <p>3) 무창계사 깔짚에 황산알루미늄을 살포하였을 때 암모니아 가스 농도가 23% 감소됨</p>	100%
5년차(2016년) 1) 무창계사 외부 냄새저감 장치 냄새저감 효능 현장 평가 2) 무창계사 내부 바닥 살포용 냄새저감물질 효능현장평가	100%	<p>1) 저온플라즈마를 이용한 냄새저감 장치는 암모니아 가스 저감에 효과가 없었음</p> <p>2) 무창계사 내부 깔짚에 황산알루미늄을 살포시 무살포에 비해 암모니아 농도가 새깔짚 계사에서 33%, 재사용 깔짚 계사에서 93%감소됨</p>	100%
	500%		500%

제 2 절 정량적 성과

성과지표명		연도	당초 목표 (전체)	실적	달성을 (%)	가중치 (%)
논문게재	SCI					
	비SCI	4	2	50		
산업재산권	출원	2	1	50		
	등록	1	0	0		
학술발표	국제					
	국내	5	4	80		
기술이전		2	1	50		
정책자료 기관제출		2	4	200		
영농기술·정보 기관제출		3	2	67		
계		19	14	73		

<2협동과제 : 무창축사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

제 1 절 목표대비 달성도

당초 목표	가중치 (%)	개발 내용	달성도 (%)
1년차(2012년) 1) 분뇨 피트 공기의 가축 사육 공간 유입 방지 기 술 검토 및 설계	100%	1) 양돈장의 돈사 피트와 동일한 구조의 피트 모형과 공기 포집 장치를 제작하였음 2) 필터 세척액으로 2% 구연산 용액을 이용 하였을 때 암모니아 가스가 78.4% 감소되 었음	100%
2년차(2013년) 1) 분뇨 피트 공기의 가축 사육 공간 유입 방지 기 술 적용(pilot scale) 및 현장 실증	100%	1) 양돈장 규모의 돈사 피트 공기 포집 장치 를 제작하였음 2) 양돈장 현장에서 냄새물질 저감 효과를 실 시간으로 측정할 수 있는 휴대용 냄새측정 기기를 제작하였음 3) 돈사 피트 공기 포집 장치에 플라즈마를 이용하였을 경우 외부로 배출되는 공기 중 의 휘발성 유기화합물 67%, 암모니아 가 스 7% 및 먼지 96% 감소되었음	100%
3년차(2014년) 1) 돈사 피트 공기의 가축 사육 공간 유입 방지 기 술 적용(barn scale) 및 현장 실증	100%	1) 돈사 피트에서 배출되는 공기 중에 이산화 염소 액상을 살포하였을 때 암모니아 23%, 황화수소 75%, 부유세균 68% 및 부 유진균 66%가 감소되었으며 분진 지표인 PM2.5 21% 및 PM1.0 27% 감소되었음	100%
	300%		300%

제 2 절 정량적 성과

연도 성과지표명		당초 목표 (전체)	실적	달성도 (%)	가중치 (%)
논문게재	SCI	1		0	
	비SCI	2	1	50	
산업재산권	출원	1		0	
	등록	1		0	
학술발표	국제				
	국내	3	1	33	
기술이전		1		0	
정책자료 기관제출		1	1	100	
영농기술·정보 기관제출		1		0	
계		11	3	27	

제 5 장 연구 결과의 활용 계획

<제1세부과제 : 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

제1절 : 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용

1. 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용

무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술개발 현장실증사업으로 축산농가의 악취저감시스템 현장 성능시험 및 운전조건 최적화 시험, 공기정화 시스템 표준화 설계를 완료하였다. 축산시설에서 배출되는 악취물질은 악취저감시스템 운전에 따라 축사 주변 악취물질 농도가 다르게 나타났으며 특히, 중앙처리방식 악취저감시스템의 미생물사멸효과는 부유세균 99.8%, 부유진균 99.7%로 효과적이다. 악취저감시스템의 미생물사멸효과와 연관하여 가축의 질병 발생 및 가축의 생육성장을 확인할 수 있는 유관기관의 생화학적 검증절차가 필요하다.

분야별로 추진되어온 연구성과를 기초로 각 유관기관과 상호보완적인 협력연구개발을 실시함으로 해마다 반복되는 가축전염성 질병으로부터 축산산업을 보호할 수 새로운 분야로서 정착이 필요하다.

1-2. 기업화 추진방안

축산산업 악취저감시스템 현장실증사업은 축산농가에서 실질적으로 사용할 수 있도록 제품의 설계 및 운전, 효과를 다양하게 검증하였다. 무창축사악취저감시설로서 중앙처리방식은 종합적인 악취저감 효과는 높지만 설치면적 및 설치비용, 유지관리비 증가로 축산농가 사용에 많은 어려움이 있으며, 개별처리방식은 외벽에 설치된 배기휀에 간단히 부착 설치하여 사용할 수 있는 편리함이 있으나 악취저감효과가 낮고 축사에 분산 설치되어 장치관리에 어려움이 있는 장단점을 가지고 있다. 다년간의 연구개발 실적으로 축산농가에서 필요로 하는 악취저감시스템 제품생산에 반드시 필요한 표준화설계도면을 작성하였다. 축산농가에 편리하고 저렴하게 설치 운영될 수 있도록 제품의 제작단가를 낮추어 초기시설비 및 유지관리비를 줄일 수 있도록 개별처리방식 악취저감시스템을 단순하게 하였으나 축산악취저감시설의 필요성을 각인 할 수 있는 농가의 의식전환과 중장기적인 축산업발전 정책이 더욱 필요한 상태이다. 연구 개발된 악취저감시스템은 초기적인 비용이 기타 시설과 비교하여 많이 투입되지만 유지관리 및 악취저감효과가 좋으므로 제품의 시장성은 있는 것으로 판단된다. 대부분의 농가에서 초기시설비투자를 상당히 주저하는 상태이므로 정책적인 지원으로 시설보완이 된다면 제품의 대량생산에 따른 저렴한 제품단가와 기술적 완성도 높은 제품 설치 운영으로 축산업 발전에 기여할 수 있음. 또한 연구개발을 주관한 기업체도 개발에 대한 성과를 이룰 수 있을 것으로 판단됨. 개발초기의 제품단가 100백만원/5동/가구당 을 예상하였으나 현재 제품 시설비 60백만원/5동/가구당 유지 관리비 30만원/가구당으로 시설 가능하다.

제2절 : 산업재산권 출원 등록 사항

1-1. 산업재산권 출원 및 등록 사항

구 분	산업재산권 명칭	출원번호 출원일자	등록번호 등록일자	기술대상자 이전일자	비 고
1	태엽 형상의 방전 전극을 이용한 대기처리장치 및 대기처리방법	10-2012-0076862 2012.07.13.	10-1400813 2014.05.22.	(주)동명건설 2015.09.11.	
2	축사의 대기처리장치	10-2013-00375842 013.04.05.	10-1317355 2013.10.04.	미륭이씨오(주) 2013.11.04.	
3	(PCT) 축사의 대기처리장치	10-2013-00375842 013.04.05			PCT/KR20 13/010115, 국제출원
4	대기처리장치	10-2013-0135243 2013.11.08.	10-1452807 2014.10.14.		
5	독립형 대기처리장치	10-2013-0136404 2013.11.11.	10-1488342 2015.01.26.	(주)동명건설 2015.09.11.	
6	순환형 대기처리장치	10-2014-0128250 2014.09.25.	10-1636421 2016.06.29.	(주)이테크 2016.10.14	
<ul style="list-style-type: none"> - 특허출원 6건 (PCT출원 1건) - 특허등록 5건 - 기술이전 4건 					

<1 협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

축산냄새는 축사 내부에 저장된 분뇨에 의해 지속적으로 발생되며 축사 외부로 확산되어 인근 주민에게도 영향을 미친다. 냄새민원은 양돈장 인근에서 가장 많으며 최근에는 양계장 주변에서도 증가되고 있다. 양돈장 내 돈사에는 피트 내부에 항상 분뇨가 저장되어있고 분뇨 저장기간이 길어질수록 냄새농도가 증가한다. 또한 양계장에서도 한번 사용한 깔짚을 재사용하면서 냄새문제가 제시되고 있다. 축산냄새 저감 기술은 양돈장과 양계장을 구분하여 냄새저감 효능을 평가하였으며, 도출된 결과를 활용하여 축산관련 현장에서 실용화할 수 있도록 함으로써 냄새민원에 대응할 수 있도록 할 계획이다.

<2 협동과제 : 무창축사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

돈사 냄새는 돈사 피트 내부에 저장된 분뇨에 의해 지속적으로 발생되고 있기 때문에 돈사에서 배출되는 냄새를 효율적으로 제어하기 위해서는 돈사 내부의 환기시스템과 피트 상층부 공기의 환기시스템을 분리한 냄새제어 기술의 개발이 필요하다. 돈사 피트 냄새제어 시스템을 이용하면 돈사 내부의 열 손실에 의한 에너지 효율성을 확보할 수 있고 환기에 대한 가축의 스트레스를 저감시킬 수 있을 것이다. 또한 돈사 피트 내부 분뇨 유래 냄새물질 제어를 위한 시스템은 산업재산권으로 등록하고 냄새제어 장치생산 업체에 기술 이전하여 축산관련 현장에서 실용화할 수 있도록 함으로써 축사 냄새민원에 대응할 수 있도록 할 계획이다.

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학 기술 정보

- 해당사항 없음 -

제 7 장 연구 개발 결과의 보안 등급

- 해당사항 없음 -

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

- 해당사항 없음 -

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전조치 이행실적

<제1세부과제 : 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

기술적 위험요소 분석에는 플라즈마 발생기 및 장치 시험 제작에 있어 고압전력 사용, 유해가스 제거 시험과정 중 유해물질 사용, 현장 고소작업 및 작업 공구 사용에 따른 위험이 있다. 안전관리대책에는 고전압 사용으로 전류 테스터기를 구비하여 잔류 전기 감전 위험성 사전에 예방하며 클린가드(실험복) 및 방독 마스크 등 안전장비, 장비사용 시 사용방법 및 안전장구 착용, 제품 제작 및 현장 운전 시 월 1회 이상 안전교육 시행하여 안전관리에 전념하였다. 현장 안전관리대책으로는 현장 용접작업 및 고소작업 시 안전장구 착용 후 작업, 중량물 운반 및 취급 시 중량물운반차량(크레인) 및 운반기기 사용, 축산시설의 유해물질 취급 시에는 안전마스크 및 보호 장구 착용, 축산현장 출·입시 반드시 방호복을 착용하여 현장 작업 및 현장 이동식 착용한 방호복 탈의 후 소각 처리를 실시하여 현장 안전 관리에 철저히 하였다.

<1협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

냄새물질 분석 시 위해물질 및 가스를 차단하기 위해서 마스크, 장갑 및 후드형 실험복을 착용하여 위해요소를 차단하였다. 실험장비 및 시설에 대한 이상 유무를 수시로 점검하고 월 1회 안전교육을 실시하였다.

<2협동과제 : 무창축사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

냄새물질 분석 시 위해물질 및 가스를 차단하기 위해서 마스크, 장갑 및 후드형 실험복을 착용하여 위해요소를 차단하였다. 실험장비 및 시설에 대한 이상 유무를 수시로 점검하고 월 1회 안전교육을 실시하였다.

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구실적

<제1세부과제 : 무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

번호	구분	논문명/특허명/기타	기관명	역할	논문결재지/특허등록국가	Impact Factor	논문결재일/특허등록일	사사여부	특기사항
1	논문	Time dependence of ethylene decomposition and by-products formation in a continuous flow dielectric-packed plasma reactor	미륭(주)	책임자	CHEMOPH ERE /United Kingdom	1.0	2013.04.	단독사사	SCI
2	논문	Effect of porosity of α -alumina on non-thermal plasma decomposition of ethylene in a dielectric-packed bed reactor	미륭(주)	책임자	Res Chem Intermed /Netherlands	1.0	2013.01.	단독사사	SCI
3	논문	Plasma-Catalytic Cera mic Membrane Reactor for Volatile Organic Compound Control	미륭(주)	책임자	IEEE TRANSACTI ONS ON PLASMA SCIENCE /USA	1.0	2013.10.	단독사사	SCI
4	논문	COMPARISON OF UNDERWATER ELECTRICAL DISCHARGE PROCESSES FOR INACTIVATION OF <i>Escherichia coli</i>	미륭(주)	책임자	Environmental Engineering and Management Journal /Germany	1.0	2013.01.	단독사사	SCI
5	논문	Non-thermal plasma-catalytic decomposition of volatile organic compounds using alumina supported metal oxide nanoparticles	미륭(주)	책임자	ELSEVIER /United Kingdom	1.0	2014.08.	단독사사	SCI
6	논문	Non-Thermal Plasma Combined with Cordierite-Supported Mn and Based Catalysts for the Decomposition of Diethyleter	미륭(주)	책임자	Catalysts /Switzerland	1.0	2015.05.	단독사사	SCI
7	논문	다공질 세라믹지지 층매상에 서ing 풍 각증마법 저성 흡 용화 휘발성 유기화 합물의 분해	미륭(주)	책임자	Chem Eng. /대한민국	1.0	2013.06.21	단독사사	비SCI
8	논문	총매-플라즈마 층매-시스템을 이용 한 아연프로필 알코올 산화	미륭(주)	책임자	Appl. Chem. /대한민국	1.0	2014.07.	단독사사	비SCI
9	논문	급속산화물 총매를 이용한 IPA 저감	미륭(주)	책임자	CLEAN TECHNOLOGY /대한민국	1.0	2014.12.	단독사사	비SCI
10	논문	Pilot plant plasma-catalytic system for the decomposition of a volatile organic compound	미륭(주)	책임자	J. Indoor Environ. /대한민국	1.0	2016.09.	단독사사	비SCI

번호	구분	논문명 / 특허명 / 기타	기관명	역할	논문제재지 / 특허등록국가	Impact Factor	논문제재일 / 특허등록일	사사여부	특기사항
11	특허	축사의 대기처리장치	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2013.10.04.		
12	특허	태열을 형상의 방전기처리장치 및 대기처리방법	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2014.05.22.		
13	특허	대기처리장치	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2014.10.14		
14	특허	돌립형 대기처리장치	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.01.26.		
15	특허	수환형 대기처리장치	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2016.06.29.		
16	기술	액취저감시스템	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2013.11.07.		
17	기술	돌립형 대기처리장치	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.09.11.		
18	기술	태열을 형상의 방전기처리장치 및 대기처리방법	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.09.11.		
19	기술	수환형 대기처리장치	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2016.10.14.		
20	정책안	안전 저감용 제거장비에 저온 플라즈마 장치를 추가로 목록에 추가	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.11.09.		
21	활동	미세 분무 농축을 저용학설법	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.11.09.		
22	활동	온도수를 활용한 청진수를 살균처리 설비	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.11.09.		
23	발표	Abatement of Volatile Organic Compounds Using Plasma-Catalytic Ceramic	미륭(주) 씨오(주)	책임자	/ JSST 대한민국	1.0	2013.07.		국제
24	발표	No thermal malolactic Degradation of Antibiotics Using Underwater Dielectric Barrier Discharge	미륭(주) 씨오(주)	책임자	/ AEPSE 대한민국	1.0	2013.08.		국제
25	발표	Decomposition of Acetone by Using a Plasma-Adsorbent Catalyst Reactor Packed with Silver-nanoparticle loaded Zeolite	미륭(주) 씨오(주)	책임자	ICRP-8/SPP -31 /Japan	1.0	2014.02.		국제
26	발표	The Potential Use of ZrO ₂ -Nanoparticles for Non-Thermal Plasma-Catalytic Decomposition of Volatile Organic Compounds	미륭(주) 씨오(주)	책임자	ICRP-8/SPP -31 /Japan	1.0	2014.07.		국제
27	발표	Simultaneous removal of CO and hydrocarbon using plasma-catalyst a hybrid process	미륭(주) 씨오(주)	책임자	CBEES /Switzerland	1.0	2015.06.		국제

번호	구분	논문명/특허명/기타	수속 기관명	역할	논문제재지/ 특허등록국가	Impact Factor	논문제재일/ 특허등록일	사사여부	특기사항
28	활용	에틸렌 분해를 위한 유전체 충진 저온 플라즈마 반응기에서 a-alumina 다공성의 영향	미륭(주) 씨오(주)	책임자	heories and Applications of Chem. Eng. / 대한민국	1.0	2013.04.		국내
29	활용	저온 플라즈마-촉매 공정을 이용한 저온 쟁화 연구	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한인간공학회 / 대한민국	1.0	2013.10.		국내
30	활용	세라믹 멤브레인을 이용한 결합화를 이용하여 취미률 질 분해 연구	미륭(주) 씨오(주)	책임자	Theories and Applications of Chem. Eng. / 대한민국	1.0	2014.04.		국내
31	활용	REMOVAL OF ACETONE IN AIR USING NON THERMAL PLASMA-CATALYTIC PROCESS	미륭(주) 씨오(주)	책임자	KSIEC / 대한민국	1.0	2014.05.		국내
32	활용	촉매/플라즈마에 텔렌 분해 연구	미륭(주) 씨오(주)	책임자	The Korean Society of Clean Technology / 대한민국	1.0	2014.09.		국내
33	활용	정온 플라즈마 공법 활용한 악취 감효과	미륭(주) 씨오(주)	책임자	한국축산환경 경학회 / 대한민국	1.0	2014.10.		국내
34	활용	Catalytic Non-thermal plasma reactor for decomposition of p-xylene by MnO _x and CoO _x /AAO catalysts	미륭(주) 씨오(주)	책임자	KSIEC / 대한민국	1.0	2015.04.		국내
35	활용	Non-thermal plasma in combination with different catalysts for the removal of ethylene	미륭(주) 씨오(주)	책임자	KSIEC / 대한민국	1.0	2015.04.		국내
36	활용	저온 플라즈마/촉매 시스템에서 저온 촉매에 따른 활성화 기화 합물의 특성 분해	미륭(주) 씨오(주)	책임자	KSIEC / 대한민국	1.0	2015.05.		국내
37	홍보	공기 정화 시스템(저온 플라즈마 복합 설비)을 활용하여 폐수를 저감하 자	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.10.23.		
38	홍보	변화하는 출산율 저감 저감 정책으로 다가서자	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.10.14		
39	홍보	출산시설 협약에 따를 축산약속 저감 정책은 필요하다.	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.10.07.		
40	홍보	출산 약속 저감 정책 으로 극복하자	미륭(주) 씨오(주)	책임자	대한민국	1.0	2015.10.16.		

<1협동과제 : 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

세부과제명	세부과제 책임자	성과물 유형	성과물명	성과물 주담당자	성과 적용년월	성과물 승인여부
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	논문 비SCI	비닐하우스 육추사의 환기 개선 효과	송준의	2012.11	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	특허 출원	냄새 및 분진 제거 장치	송준의	2012.12	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	학술발표 (국내)	슬러리 돈사의 냄새 저감에 미치는 이산화염소 용액의 효과	황옥화	2015.08	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	학술발표 (국내)	가축분뇨의 퇴비화 과정별 주요 냄새 물질의 냄새기여도 평가	황옥화	2015.08	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	영농활용	계사 암모니아 발생억제 위해 왕겨 깔짚재에 황산알루미늄 살포	황옥화	2015.11	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	영농활용	비육돈사 내부에 식물추출액(편백나 무액) 살포에 의한 돈사 냄새 저감	황옥화	2015.11	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	정책제안	축산관련종사자 온라인 교육 콘텐츠 (축산냄새 발생원인 및 저감 방법) 제작 및 활용	황옥화	2015.11	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터 링 기술 개발	황옥화	정책제안	배합사료의 성분등록 사항(사료공정 서 제9조 제1항)에서 돼지사료의 등 록성분 조정	황옥화	2016.11	승인

세부과제명	세부과제 책임자	성과물 유형	성과물명	성과물 주담당자	성과적용 년월	성과물 승인여부
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터링 기술 개발	황옥화	정책제안	비육돈 두당 사육면적 확대에 따른 냄새저감 효과 시범사업 추진	황옥화	2016.11	승인
무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터링 기술 개발	황옥화	학술발표 (국내)	미생물 종류 및 슬러리 배양온도가 돈사 슬러리의 냄새물질 농도에 미치는 효과	황옥화	2016.05	승인

<2협동과제 : 무창축사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술 개발>

세부과제명	과제 책임자	성과물 유형	성과물명	성과물 주담당	적용 년월	승인 여부
무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨유래 가스제거 환기시스템 기술 개발	황옥화	논문 (비)SCI	사용한 한우 깔짚에서 배출되는 메탄 및 아산화질소의 배출 특성	박규현	2012년 12월	승인
무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨유래 가스제거 환기시스템 기술 개발	황옥화	학술발표 (국내)	16개 지방정부의 축산부문 CH4 및 N2O 배출현황	박규현	2012년 10월	승인
무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨유래 가스제거 환기시스템 기술 개발	황옥화	농가기술지도 컨설팅	저온 플라즈마 악취 제거기 기술지원	박규현	2012년 10월	승인
무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨유래 가스제거 환기시스템 기술 개발	황옥화	농가기술지도 컨설팅	돈사 환기시스템 기술 지원	박규현	2013년 5월	승인
무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨유래 가스제거 환기시스템 기술 개발	황옥화	농가기술지도 컨설팅	플라즈마 이용시 문제 해결 법 기술지원	박규현	2013년 5월	승인
무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨유래 가스제거 환기시스템 기술 개발	황옥화	정책 제안	축사시설현대화사업 지원대상에 준전업농 이하의 동물 복지 인증농가 포함	황옥화	2014년 11월	승인
무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨유래 가스제거 환기시스템 기술 개발	황옥화	농가기술지도 컨설팅	돈사 악취저감 기술지원	황옥화	2014년 6월	승인

제 11 장 기타 사항

○ 중요 연구변경사항

연차	항목	당초계획	변경사항	근거문서 (첨부 2.)
2년차 (2013)	○ 제1협동 과제책임자 변경	송준익	박규현	미릉-130402 (2013.04.05.)
	○ 제1협동 과제책임자 변경	박규현	황옥화	미릉-131001 (2013.10.15.)
	○ 제2협동 과제책임자 변경	박규현	황옥화	미릉-131001 (2013.10.15.)
4년차 (2015)	○ 세부과제수 변경 (제2협동과제 중단시행)	3개 (세부1, 협동2)	2개 (세부1, 협동1)	기획조정과 -1346(2015.3.24.)

○ 평가 시 지적사항에 대한 반영 현황

연차	지적사항	반영사항
1년차 (2012)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제2협동과제 명칭 변경하여 예산 및 연구 기간 단축 고려 ○ 필터링 기술적용에 따른 병원성세균 제어효과 분석필요 ○ 산란계 적용평가 연구는 별도 설계 추진검토 ○ RFP 정량적 연구성과 반영 ○ 양성코로나 방전 플라즈마, 저온플라즈마 및 목탄 장단점 도출 ○ 돈사외부에 저온플라즈마 설치 시 장단점 명확히 도출 ○ 연차별 추진체계의 세부내용 보완 ○ 기술적용 시 안전성 고려 ○ 농가적용시 경제성분석 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 과제명 변경하였지만 예산 및 연구기간 다른 세부과제로 인해 당초 협약유지 ○ 병원성세균 분석실시 ○ 연구지원을 고려하여 무창돈사와 무창계사를 순차적으로 실시 ○ 반영 ○ 세부내용 보완 반영 ○ 세부내용 보완 반영 ○ 세부내용 보완 반영 ○ 고전압 사용의 안전성 반영 ○ 저비용 장치로 개발
2년차 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성과물 달성을 위한 전략수립 필요 ○ 농장 검증시 병원성 미생물 현황 및 감소효과, 돼지 생산성조사 필요 ○ 현장적용 분석 자료를 이용하여 설비크기, 규격, 비용절감 방안필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 성과물 달성을 위한 단계적 관리 ○ 냄새저감 및 병원성 미생물감소 효과검증 ○ 사육환경에 따른 설비규격 및 비용절감 분석 반영
3년차 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 냄새저감장치 현장적용 가능성 및 경제성 분석추가 필요 ○ 이산화염소장치의 대체장치 선정 등 설계의 상세한 검토 및 변경 필요 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 냄새저감장치 현장적용성 및 경제성 분석 ○ 플라즈마장치로 대체 선정
4년차 (2015)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 플라즈마 냄새저감 장치의 설계 및 제작 항목에 대한 연구결과 보완 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 완결보고서에 반영함. (표준화 설계도면)

○ 완결보고서 평가 시 지적사항에 대한 반영 현황

<제1세부과제:무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발>

■ 정량평가 점수가 33.06/40.0점으로 낮은 수준임-목표달성을 하지 못한 사유 제시 필요

다년간 연구개발 과제수행 중 제1협동, 제2협동 과제책임자 이직 및 담당자 신규참여 등으로 지속적인 연구수행에 어려움이 있었다. 연구개발 업무특성상 업무의 연속성을 고려하여 최대한 노력하였으며, 현장 실증사업 중심 연구개발 내용에 충실하였다. 첨부. 중요 연구변경사항
*. 중요 연구변경사항

연차	항목	당초계획	변경사항	변경사유
2년차 (2013)	○제1협동 과제책임자 변경	송준익	박규현	담당자 이직
	○제1협동 과제책임자 변경	박규현	황옥화	담당자 이직
	○제2협동 과제책임자 변경	박규현	황옥화	담당자 이직
4년차 (2015)	○세부과제수 변경 (제2협동과제 중단시행)	3개 (세부1, 협동2)	2개 (세부1, 협동1)	제2협동과제 중단

■ 전체적으로 과제별 종합적인 결론 도출에 대한 기술이 필요

1. 중앙처리방식(무창돈사)

- 장치의 구성 : 처리용량 60CMM(L2,500mm*W2,500mm*H2,500mm)
- 시스템구성
축사,입기덕트→먼지제거필터→저온플라즈마장치→광산화분해→습식증화설비
→기액분리필터→배기덕트, 배출
- 약취 저감효과 : NH₃ 최대 52.87%, H₂S 최대57.93% 저감 효과
- 미생물사멸효과 : 부유세균 99.8%, 부유진균 99.7% 사멸 효과

2. 개별처리방식(무창돈사)-1

- 장치의 구성 : 배기휀 직결형(50CMM, L1,200mm*W790mm*H600mm)
- 시스템 구성 : 축사배기휀 → 습식세척장치 → 저온플라즈마장치 → 배출
- 약취 저감효과 : NH₃ 최대 47.8% 저감 효과, H₂S 변화 없음
- 저온플라즈마 세척수 살균장치 효과 평가 :
COD 53.9%, 부유물질 69.5%, 총대장균 98.1% 제거효과

3. 개별처리방식(무창돈사)-2

- 장치의 구성 : 배기휀 직결형(9.5CMM, L500mm*W500mm*H400mm)
- 시스템 구성 : 무창축사 배기휀→저온플라즈마장치→습식보조분무설비→배출
- 약취 저감효과 : NH₃ 제거효율은 플라즈마처리 약 27.3%, 습식분무처리 약 33.5%

4. 개별처리방식(무창계사)-3

- 장치의 구성 : 배기휀 직결형(2.52CMM, L500mm*W500mm*H400mm)
- 시스템 구성 : 무창축사 배기휀→저온플라즈마장치→습식보조분무설비→배출
- 약취 저감효과 :

NH₃ 제거효율 플라즈마처리+UV·카본필터처리 약 36.67%, 습식분사설비처리 약 31.13%

중앙처리방식 악취저감시스템의 악취저감효과 및 미생물사멸효과는 높지만 설치면적 및 설치비용, 유지관리비 증가로 축산농가 사용에 많은 어려움이 있다. 개별처리방식은 외벽에 설치된 배기휀에 간단히 부착 설치하여 사용할 수 있는 편리함이 있으나 악취저감효과가 낮고 축사에 분산 설치되어 장치관리에 어려움이 있는 장단점을 가지고 있다. 최종 결과물로 악취저감시스템 제품생산에 반드시 필요한 표준화설계도면을 작성하였으며 축산농가의 선택적 필요에 의한 축산악취저감시설은 축산업발전에 기여할 것으로 판단된다.

■ 악취저감 기술에 대한 경제성 분석을 하는 것이 좋겠음

경제성분석은 투자사업의 비용(cost)과 편익(benefit)을 측정하고, 이에 따라 경제적 수익률(economic rate of return)을 계산함으로써 투자사업에 대한 타당성 여부를 결정하는 경제성분석의 기법(methods of economic analysis)으로 비용편익비율(benefit-cost ratio)을 사용하였다.

$$B/C = \sum_{t=0}^{n} B_t / (1+r)^t / \sum_{t=0}^{n} C_t / (1+r)^t$$

경제성 분석에는 현장실증사업에 적용된 시설을 기준으로 하였다.

- 시설투자비(B) ₩20,000,000원/동, 유지관리비 ₩150,000원/월,
- 경제적이득(C) ₩1,500,000원/동, 사용기간(t) 18년, 이자율(n) 5%

$$B/C = 1.0189$$

비용편익비율(B/C ratio) 분석결과 사용기간 18년에서 B/C=1.0189로 나타났다. 일반적으로 B/C>1.0 이상의 경우 경제성이 있는 것으로 판단한다. 축산산업 사용기기의 내구사용기간이 최대 8년 이하이므로 시설투자비에 의한 경제성평가는 없는 것으로 분석되었다. 축산산업의 지속적인 발전을 이루기 위해서 악취물질의 배출기준의 강화 및 축산농가의 의식전환, 정책적인 시설지원을 통하여 시설투자가 이루질 때 단순 경제성 평가 보다는 사회공익적 사업으로 경제성 평가를 하여야 할 것으로 판단된다.

■ 과제별로 연구결과의 활용계획을 구체적 제시 및 서술 보완이 필요함

1. 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용

무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술개발 현장실증사업으로 축산농가의 악취저감시스템 현장 성능시험 및 운전조건 최적화 시험, 공기정화 시스템 표준화 설계를 완료하였으며, 축산시설에서 배출되는 악취물질은 악취저감시스템 운전에 따라 배출 악취물질 농도가 다르게 나타났으며 특히 중앙처리방식 악취저감시스템의 미생물사멸효과는 부유세균 99.8%, 부유진균 99.7%로 효과적임. 악취저감시스템의 미생물사멸효과와 연관하여 가축의 질병 발생 및 가축의 생육성장의 연관성을 확인할 수 있는 유관기관의 생화학적 검증절차가 필요함. 각 유관기관과 상호보완적인 협력연구개발을 실시하여 해마다 반복되는 가축전염성 질병으로부터 축산산업을 보호할 수 새로운 분야로서 정착이 필요하다.

2. 제품화 추진방안

축산산업 악취저감시스템 현장실증사업은 축산농가에서 실질적으로 사용할 수 있도록 제품의 설계 및 운전, 효과를 다양하게 검증하였음. 무창축사악취저감시설로서 중앙처리방식은 종합적인 악취저감 효과 및 미생물사멸 효과는 높지만 설치면적 및 설치비용, 유지관리비 증가로 축산농가 사용에 많은 어려움이 있으며, 개별처리방식은 외벽에 설치된 배기휀에 간단히 부착 설치하여 사용할 수 있는 편리함이 있으나 악취저감효과가 낮고 축사에 분산 설치되어 장치관리

에 어려움이 있는 장단점을 가지고 있음. 다년간의 연구개발 실적으로 축산농가에서 필요로 하는 악취저감시스템 제품생산에 반드시 필요한 표준화설계도면을 작성하여 축산농가에 편리하고 저렴하게 설치 운영될 수 있도록 제품의 제작단가를 낮추어 초기시설비 및 유지관리비를 줄일 수 있도록 개별처리방식 악취저감시스템을 단순하게 하였으나 축산악취저감시설의 필요성을 각인 할 수 있는 농가의 의식전환과 중장기적인 축산업발전 정책이 더욱 필요한 상태임. 연구 개발된 악취저감시스템은 초기적인 비용이 기타 시설과 비교하여 많이 투입되지만 유지 관리 및 악취저감 효과가 좋으므로 제품의 시장성은 있는 것으로 판단됨. 대부분의 농가에서 초기시설비투자를 상당히 주저하는 상태이므로 정책적인 지원으로 시설보완이 된다면 제품의 대량생산에 따른 저렴한 제품단가와 기술적 완성도 높은 제품 설치 운영으로 축산업 발전에 기여할 수 있음. 또한 연구개발을 주관한 기업체도 개발에 대한 성과를 이룰 수 있을 것으로 판단됨. 개발초기의 제품단가 100백만원/5동/가구당을 예상하였으나 현재 제품 시설비 60백만 원/5동/가구당, 유지관리비 30만원/가구당으로 시설 가능하다.

- 전체적으로 연구가 실용화를 위하여 현장을 중심으로 진행되었으나 아직은 실용화에 기대하기 어려운 면이 있음 플라즈마의 분진제거에 대한 효과에 미흡 것으로 사료 됨.

플라즈마 방전장치의 구성은 다수의 접진판(접지판)과 방전극(방전판)으로 구성되어 있다. 다수의 접지판 중앙에 고압(DC, 20KV)의 방전판이 배열된다. 접진판과 방전극 사이에 맥류파고 전압(hight voltage of field generation)이 가해지는데, 이 전압이 극간에 일정 방향의 불평등전계를 형성시킨다. 불평등전계에서 방전극 주변에서 가스분자가 전기적으로 파괴되어 전극 주위에 푸른 섬광이 발생하는 코로나방전(corona discharge)을 일으킨다. 외부에서 유입되는 분진(미세입자)들이 접진판과 방전극 사이를 유동하면서 고압의 방전극에 의해 대전된 분진입자는 접지판의 접진부에 포집된다. 즉 사용되고 있는 플라즈마장치는 접진부와 방전부를 일체화 시킨 1단형(코트렐방식) 전기접진기 기능 역할을 하게 된다.

- 중앙처리방식 플라즈마장치 분진 접진 현상

구분	무창축사배기휀(분진) 운전	덕트연결 중앙처리시스템	전처리필터의 접진현상
사진			

구분	플라즈마장치 집진현상	플라즈마장치 집진현상구분	다수 플라즈마장치 구성
사진			

- 개별처리방식 플라즈마장치 분진 현상

구분	전처리필터 집진현상	플라즈마장치 집진현상	플라즈마장치 집진 방전
사진			

- 플라즈마장치의 분진제거에 대책.

플라즈마시스템 운전 중 형성되는 분진입자 대전현상으로 분진 집적현상은 불가역적인 현상이다. 현장 적용된 악취저감 플라즈마시스템의 분진제거 대책으로 2주에 1회 이상 주기적으로 집적된 분진을 직접 제거하고 있는 상태이다. 또한, 개별처리식 플라즈마시스템에서는 상부에 세척수 노즐을 설치하여 플라즈마장치 운전을 정지 후 상부의 습식분사노즐을 자동 운전하여 주기적으로 집적된 분진을 세척 제거하였다. 분진 세척과정에서는 파생적으로 배출세척수 오염 문제를 유발하므로 세척수 살균장치를 별도로 설치 운전하여 세척수를 살균 후 재활용하였으나 세척수 재활용 설비의 추가적인 비용 지출은 사용농가 부담으로 작용하므로 시스템 검증용으로 사용하였다.

플라즈마장치 분진제거 대책으로는 주기적으로 장치 내부 접지판에 집적된 분진을 물리적인(막대 도구를 사용하여 직접 먼지를 제거, 세척수 활용 세척 후 건조)방법으로 분진을 제거하는 방법이 경제적이다.

■ 최종적으로 사업화를 통하여 제품의 단가를 낮출 수 있는 방안을 고안하여 양돈가에 보급이 될 수 있도록 하는 방법을 향후 강구해야 할 것임.

축산산업 현장에서 발생되는 악취문제 해결에는 많은 시간적 노력과 정책적인 지원이 필요하다. 무창축사악취저감시스템은 다년간의 현장 실증사업을 통하여 중앙처리방식 및 개별처리방식의 표준 도면을 작성하여 관련 기술자이면 현장적용하는데 큰 어려움이 없을 것이다. 악취저감시스템은 무창축사 배기婶에서 배출되는 악취물질을 외부에서 처리하여 배출하므로 축사 내부의 사육환경에는 직접적으로 영향을 미치지 않는다. 즉, 축산농가의 생산성에 직접적인 관계가 없으며 외부의 악취민원 발생 및 해결에 국한되는 문제이므로 축산산업의 의식 제고가 필

요한 상태이다. 축산산업은 주변환경과 원만한 어울림을 통한 공생관계에서 지속적인 발전을 이루기 위해서 악취물질의 배출기준의 강화 및 축산농가의 의식전환, 정책적인 시설지원을 통하여 시설투자가 이루질 때 대량생산시스템에서 제작단가 및 유지관리 비용을 최대한 낮을 수 있다. 축산산업 전체의 지속적인 시설투자는 관련 산업 발전 및 제작단가, 유지관리 비용을 최대한 낮출 수 있는 경제원칙이다.

■ 또한, 저온플라즈마를 이용하여 냄새를 저감하는 경우 축종별, 악취항목별 반응기 규모와 용량을 설정하고, 시스템의 모듈화, 단순화 등 체계적인 연구조사가 필요하다고 봄.

현장실증 악취저감시스템 사양으로 무창축사의 중앙처리방식 및 개별처리방식으로 구분하여 적용하였으며, 악취물질의 측정에는 지정악취물질 22개 물질 모두를 측정할 수 없는 현장상황이므로 암모니아(NH_3), 황화수소(H_2S), $\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5$, R.SH(Total Mercaptans) 주요항목으로 설정하여 저감 효과를 측정하였다. 무창축사의 악취물질 배출풍량은 0~60CMM으로 가변적인 상황에서 악취저감시스템을 운전하였다. 최종결과물로 처리방식별 시스템 모듈화, 단순화, 체계적인 표준도면을 작성하였다. 하지만, 개별화된 축산산업 특성상 표준도면으로 제작된 악취저감시스템을 별도의 축산현장에서 장기적인 운전을 통한 체계적인 연구조사가 더욱 필요할 것으로 판단된다.

<제1협동과제: 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발>

■ 무창계사 바닥 살포용 냄새저감물질(황산알루미늄, 활성탄, 규산염광물질) 사용이유

1) 황산알루미늄은 육계사 깔짚 관리를 위해 유통되고 있는 산화제이며, 깔짚 내 암모니움(NH_4^-N)과 반응하여 황산암모니움($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)을 형성함으로써 암모니아(NH_3)의 휘산을 감소시킨다(DeLaune 등, 2004). 또한 황산알루미늄의 황산 성분은 깔짚의 pH를 낮추어 암모니아의 휘산을 감소시킨다(Moore 등, 1995).

2) 활성탄은 식물성의 가연성 물질을 약 500°C의 탄화와 약 900°C의 활성화 과정을 거쳐서 제조된 흑색 가루이다. 활성탄은 약 20Å 크기의 미세공이 존재하여 g 당 1,000m² 이상의 표면적을 가지고 있어서 각종 유기물을 흡착할 수 있는 성질이 있다. 공기 중의 냄새물질을 흡착하여 제거하는 공기정화용, 폐수처리 시의 오염물질을 제거하기 위한 오염물질 흡착용, 용제의 탈색용 등으로 많이 쓰이고 있다. 양계장에서는 계사 깔짚에 살포하여 공기 중으로 암모니아 가스가 휘산되는 농도를 낮추기 위한 용도로 사용하고 있다.

3) 규산염광물질은 Na, Ca, K, Mg, Mn 등의 미네랄 성분과 이산화규소가 반응하여 생산된 규산염 계통의 물질이다. 규산염광물질은 가축의 생산성과 면역력 증진을 위하여 사료에 첨가하여 사용하고 있으며, 활성탄과 같이 냄새물질을 흡착할 수 있어서 계사 깔짚에 살포하여 공기 중으로 휘산되는 암모니아 가스 농도를 낮추기 위해서 사용하고 있다.



황산알루미늄



활성탄



규산염광물질

<그림> 시험에 사용된 냄새저감물질 3종

■ 냄새물질을 암모니아 가스 농도만 조사한 이유

계분은 요산과 유기질소 함량이 높으며 계분에 포함된 질소 성분은 깔짚 내 미생물에 의해 암모니움(NH_4^+)으로 전환되고 계사 내부의 온·습도 변화에 의해 암모니아(NH_3)로 휘산된다. 육계사 내부 공기 중의 냄새물질을 분석하였을 때 암모니아 농도가 가장 높았으며(표; 장 등, 2010), 깔짚 재사용으로 인해 암모니아 가스 발생이 증가될 수 있다(남, 2004).

<표> 육계사 내부 냄새물질 농도

냄새물질 종류	냄새물질 농도
암모니아(ppb)	14,400
황화수소(ppb)	7.9
메틸머캅탄(ppb)	11.7
트리메틸아민(ppb)	37.9
뷰티르산(ppb)	15.1

■ 황산알루미늄 살포 비용

황산알루미늄은 kg당 1,600원이고, 깔짚 면적(m^2) 당 0.3kg을 살포하는데 이때 소요되는 비용은 1,440원이다. 육계 10,000수 기준으로 황산알루미늄 1회 살포 시 비용을 계산하면, 432,000원이 소요되며 육계 사육기간 동안 3회 살포하면 1,296,000원이 소요된다.

(계산식) 육계 10,000수 사육계사에 황산알루미늄 1회 살포

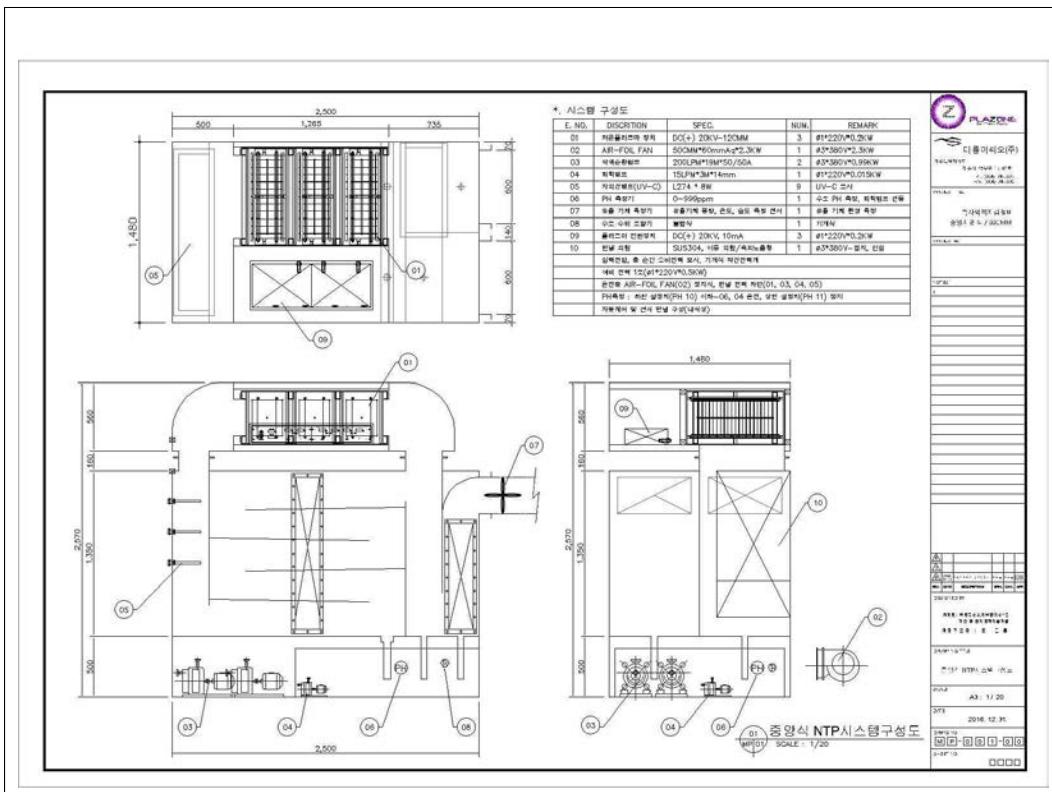
$$\text{깔짚 면적 } 900\text{m}^2 \times \text{황산알루미늄 살포 양 } 0.3\text{kg/m}^2 \times \text{황산알루미늄 가격 } 1,600\text{원/kg} = 432,000$$

제 12 장 첨부자료

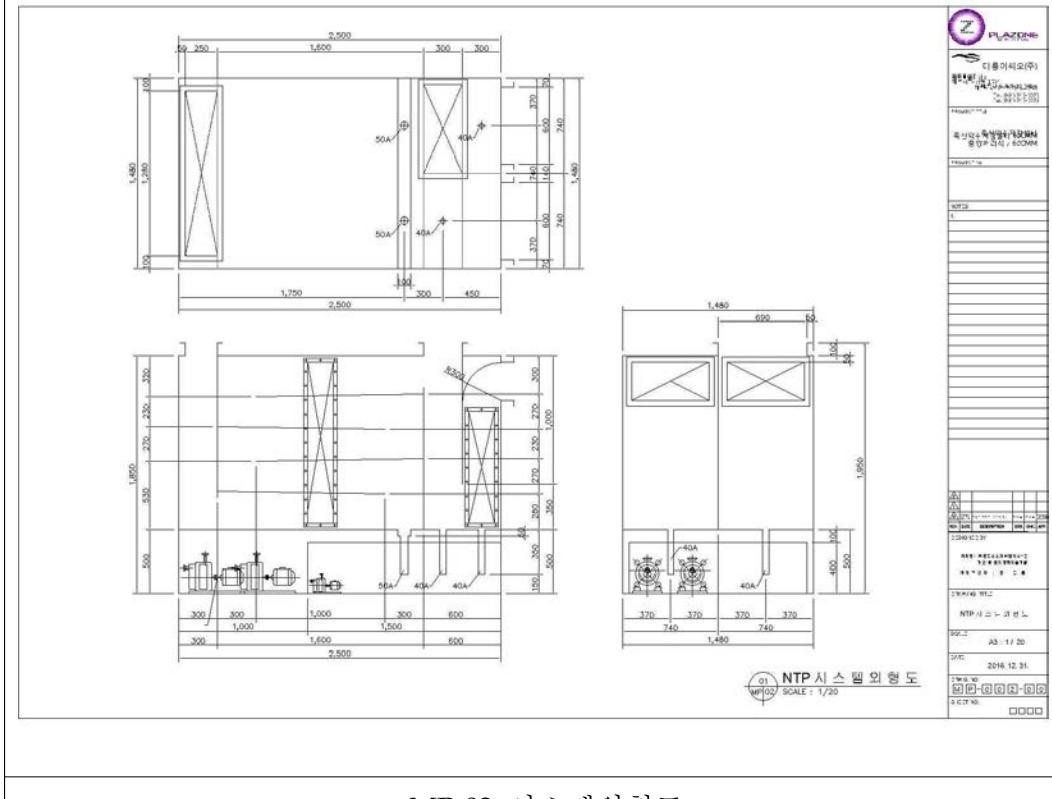
첨부 1.

- 중앙처리식 공기정화시스템 표준화 설계도면

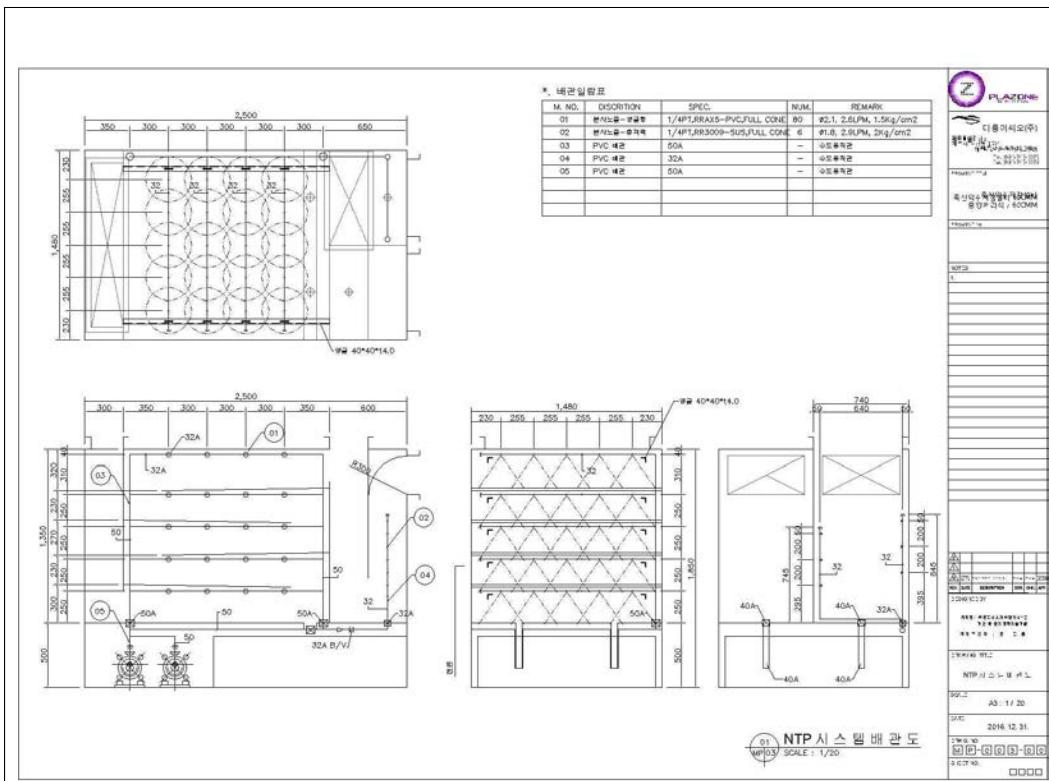
축 사 악 취 저 감 설 비-중앙처리식 / 60CMM																																																																																																																																	
[저온플라즈마 + 습식세정장치]																																																																																																																																	
2016. 12. 31.																																																																																																																																	
 미 통 이 씨 오 주 식 회 사																																																																																																																																	
중앙처리식 / 60CMM - 표지																																																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 10px; vertical-align: top;"> 도면목록표 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>도면번호</th> <th>도 면</th> <th>쪽</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>제 시 악 허 치 감 설 비-중앙처리식 / 60CMM</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MP - 001</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 002</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 003</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 004</td><td>활자설치설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 005</td><td>우시정설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 006</td><td>제 연정증설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 007</td><td>제 정정설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 008</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 009</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 010</td><td>내부수분분리판</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 011</td><td>제 연정증설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 012</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 013</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 014</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 015</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td colspan="4">제온 플라즈마 방지 조치도</td></tr> <tr><td>MPs - 001</td><td>증합도</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 002</td><td>대 접스 분부</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 003</td><td>보호막판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 004</td><td>지지판/지분분판형</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 005</td><td>지지판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 006</td><td>침지판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 007</td><td>전 선별통/나침</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 008</td><td>복 면날개판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 010</td><td>감열판</td><td>2 / 1</td><td></td></tr> </tbody> </table> </td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; padding: 10px; vertical-align: top;"> 주 기 사 향 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>과제 번호</th> <th>제작일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>여 험 디 험</td><td>(1기) 전환 양면판체스터(제작신)</td></tr> <tr><td>대 험 디 험</td><td>(1회) 폐수선정 신진자 가동개량</td></tr> <tr><td>제산식설정</td><td>광동구구사(제작자) 출처설정</td></tr> <tr><td>증기내역(영)</td><td>상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 improvement of exhaust system in air excess deionization facilities & development of air purification technology</td></tr> <tr><td>제방지체(영)</td><td>상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 & development of air purification technology</td></tr> <tr><td>수원한국기전</td><td>수원한국기전(주)</td></tr> <tr><td>주한한국기전</td><td>한국 기전</td></tr> <tr><td>연구기간</td><td>2012.08.01 ~ 2016.12.31 (5년)</td></tr> </tbody> </table> </td> </tr> </table>		도면목록표 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>도면번호</th> <th>도 면</th> <th>쪽</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>제 시 악 허 치 감 설 비-중앙처리식 / 60CMM</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MP - 001</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 002</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 003</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 004</td><td>활자설치설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 005</td><td>우시정설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 006</td><td>제 연정증설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 007</td><td>제 정정설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 008</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 009</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 010</td><td>내부수분분리판</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 011</td><td>제 연정증설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 012</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 013</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 014</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 015</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td colspan="4">제온 플라즈마 방지 조치도</td></tr> <tr><td>MPs - 001</td><td>증합도</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 002</td><td>대 접스 분부</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 003</td><td>보호막판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 004</td><td>지지판/지분분판형</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 005</td><td>지지판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 006</td><td>침지판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 007</td><td>전 선별통/나침</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 008</td><td>복 면날개판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 010</td><td>감열판</td><td>2 / 1</td><td></td></tr> </tbody> </table>	도면번호	도 면	쪽	%	제 시 악 허 치 감 설 비-중앙처리식 / 60CMM				MP - 001	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20		MP - 002	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20		MP - 003	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20		MP - 004	활자설치설계도	1 / 20		MP - 005	우시정설계도	1 / 20		MP - 006	제 연정증설설계도	1 / 20		MP - 007	제 정정설계도	1 / 20		MP - 008	제 편관설설계도	1 / 20		MP - 009	제 편관설설계도	1 / 20		MP - 010	내부수분분리판	1 / 20		MP - 011	제 연정증설설계도	1 / 20		MP - 012	제 편관설설계도	1 / 20		MP - 013	플라즈마방지조치도	1 / 20		MP - 014	플라즈마방지조치도	1 / 20		MP - 015	플라즈마방지조치도	1 / 20		제온 플라즈마 방지 조치도				MPs - 001	증합도	1 / 4		MPs - 002	대 접스 분부	1 / 4		MPs - 003	보호막판	1 / 4		MPs - 004	지지판/지분분판형	1 / 4		MPs - 005	지지판	1 / 4		MPs - 006	침지판	1 / 4		MPs - 007	전 선별통/나침	1 / 4		MPs - 008	복 면날개판	1 / 4		MPs - 010	감열판	2 / 1		주 기 사 향 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>과제 번호</th> <th>제작일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>여 험 디 험</td><td>(1기) 전환 양면판체스터(제작신)</td></tr> <tr><td>대 험 디 험</td><td>(1회) 폐수선정 신진자 가동개량</td></tr> <tr><td>제산식설정</td><td>광동구구사(제작자) 출처설정</td></tr> <tr><td>증기내역(영)</td><td>상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 improvement of exhaust system in air excess deionization facilities & development of air purification technology</td></tr> <tr><td>제방지체(영)</td><td>상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 & development of air purification technology</td></tr> <tr><td>수원한국기전</td><td>수원한국기전(주)</td></tr> <tr><td>주한한국기전</td><td>한국 기전</td></tr> <tr><td>연구기간</td><td>2012.08.01 ~ 2016.12.31 (5년)</td></tr> </tbody> </table>	과제 번호	제작일	여 험 디 험	(1기) 전환 양면판체스터(제작신)	대 험 디 험	(1회) 폐수선정 신진자 가동개량	제산식설정	광동구구사(제작자) 출처설정	증기내역(영)	상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 improvement of exhaust system in air excess deionization facilities & development of air purification technology	제방지체(영)	상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 & development of air purification technology	수원한국기전	수원한국기전(주)	주한한국기전	한국 기전	연구기간	2012.08.01 ~ 2016.12.31 (5년)
도면목록표 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>도면번호</th> <th>도 면</th> <th>쪽</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>제 시 악 허 치 감 설 비-중앙처리식 / 60CMM</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>MP - 001</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 002</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 003</td><td>제 RTI 시스 험화 설도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 004</td><td>활자설치설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 005</td><td>우시정설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 006</td><td>제 연정증설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 007</td><td>제 정정설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 008</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 009</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 010</td><td>내부수분분리판</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 011</td><td>제 연정증설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 012</td><td>제 편관설설계도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 013</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 014</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td>MP - 015</td><td>플라즈마방지조치도</td><td>1 / 20</td><td></td></tr> <tr><td colspan="4">제온 플라즈마 방지 조치도</td></tr> <tr><td>MPs - 001</td><td>증합도</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 002</td><td>대 접스 분부</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 003</td><td>보호막판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 004</td><td>지지판/지분분판형</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 005</td><td>지지판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 006</td><td>침지판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 007</td><td>전 선별통/나침</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 008</td><td>복 면날개판</td><td>1 / 4</td><td></td></tr> <tr><td>MPs - 010</td><td>감열판</td><td>2 / 1</td><td></td></tr> </tbody> </table>	도면번호	도 면	쪽	%	제 시 악 허 치 감 설 비-중앙처리식 / 60CMM				MP - 001	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20		MP - 002	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20		MP - 003	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20		MP - 004	활자설치설계도	1 / 20		MP - 005	우시정설계도	1 / 20		MP - 006	제 연정증설설계도	1 / 20		MP - 007	제 정정설계도	1 / 20		MP - 008	제 편관설설계도	1 / 20		MP - 009	제 편관설설계도	1 / 20		MP - 010	내부수분분리판	1 / 20		MP - 011	제 연정증설설계도	1 / 20		MP - 012	제 편관설설계도	1 / 20		MP - 013	플라즈마방지조치도	1 / 20		MP - 014	플라즈마방지조치도	1 / 20		MP - 015	플라즈마방지조치도	1 / 20		제온 플라즈마 방지 조치도				MPs - 001	증합도	1 / 4		MPs - 002	대 접스 분부	1 / 4		MPs - 003	보호막판	1 / 4		MPs - 004	지지판/지분분판형	1 / 4		MPs - 005	지지판	1 / 4		MPs - 006	침지판	1 / 4		MPs - 007	전 선별통/나침	1 / 4		MPs - 008	복 면날개판	1 / 4		MPs - 010	감열판	2 / 1																						
도면번호	도 면	쪽	%																																																																																																																														
제 시 악 허 치 감 설 비-중앙처리식 / 60CMM																																																																																																																																	
MP - 001	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 002	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 003	제 RTI 시스 험화 설도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 004	활자설치설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 005	우시정설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 006	제 연정증설설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 007	제 정정설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 008	제 편관설설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 009	제 편관설설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 010	내부수분분리판	1 / 20																																																																																																																															
MP - 011	제 연정증설설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 012	제 편관설설계도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 013	플라즈마방지조치도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 014	플라즈마방지조치도	1 / 20																																																																																																																															
MP - 015	플라즈마방지조치도	1 / 20																																																																																																																															
제온 플라즈마 방지 조치도																																																																																																																																	
MPs - 001	증합도	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 002	대 접스 분부	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 003	보호막판	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 004	지지판/지분분판형	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 005	지지판	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 006	침지판	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 007	전 선별통/나침	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 008	복 면날개판	1 / 4																																																																																																																															
MPs - 010	감열판	2 / 1																																																																																																																															
주 기 사 향 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>과제 번호</th> <th>제작일</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>여 험 디 험</td><td>(1기) 전환 양면판체스터(제작신)</td></tr> <tr><td>대 험 디 험</td><td>(1회) 폐수선정 신진자 가동개량</td></tr> <tr><td>제산식설정</td><td>광동구구사(제작자) 출처설정</td></tr> <tr><td>증기내역(영)</td><td>상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 improvement of exhaust system in air excess deionization facilities & development of air purification technology</td></tr> <tr><td>제방지체(영)</td><td>상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 & development of air purification technology</td></tr> <tr><td>수원한국기전</td><td>수원한국기전(주)</td></tr> <tr><td>주한한국기전</td><td>한국 기전</td></tr> <tr><td>연구기간</td><td>2012.08.01 ~ 2016.12.31 (5년)</td></tr> </tbody> </table>	과제 번호	제작일	여 험 디 험	(1기) 전환 양면판체스터(제작신)	대 험 디 험	(1회) 폐수선정 신진자 가동개량	제산식설정	광동구구사(제작자) 출처설정	증기내역(영)	상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 improvement of exhaust system in air excess deionization facilities & development of air purification technology	제방지체(영)	상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 & development of air purification technology	수원한국기전	수원한국기전(주)	주한한국기전	한국 기전	연구기간	2012.08.01 ~ 2016.12.31 (5년)																																																																																																															
과제 번호	제작일																																																																																																																																
여 험 디 험	(1기) 전환 양면판체스터(제작신)																																																																																																																																
대 험 디 험	(1회) 폐수선정 신진자 가동개량																																																																																																																																
제산식설정	광동구구사(제작자) 출처설정																																																																																																																																
증기내역(영)	상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 improvement of exhaust system in air excess deionization facilities & development of air purification technology																																																																																																																																
제방지체(영)	상용설비 내부수 분리시스템 개선 및 공기 청정기술개발 & development of air purification technology																																																																																																																																
수원한국기전	수원한국기전(주)																																																																																																																																
주한한국기전	한국 기전																																																																																																																																
연구기간	2012.08.01 ~ 2016.12.31 (5년)																																																																																																																																
중앙처리식 / 60CMM - 목차																																																																																																																																	



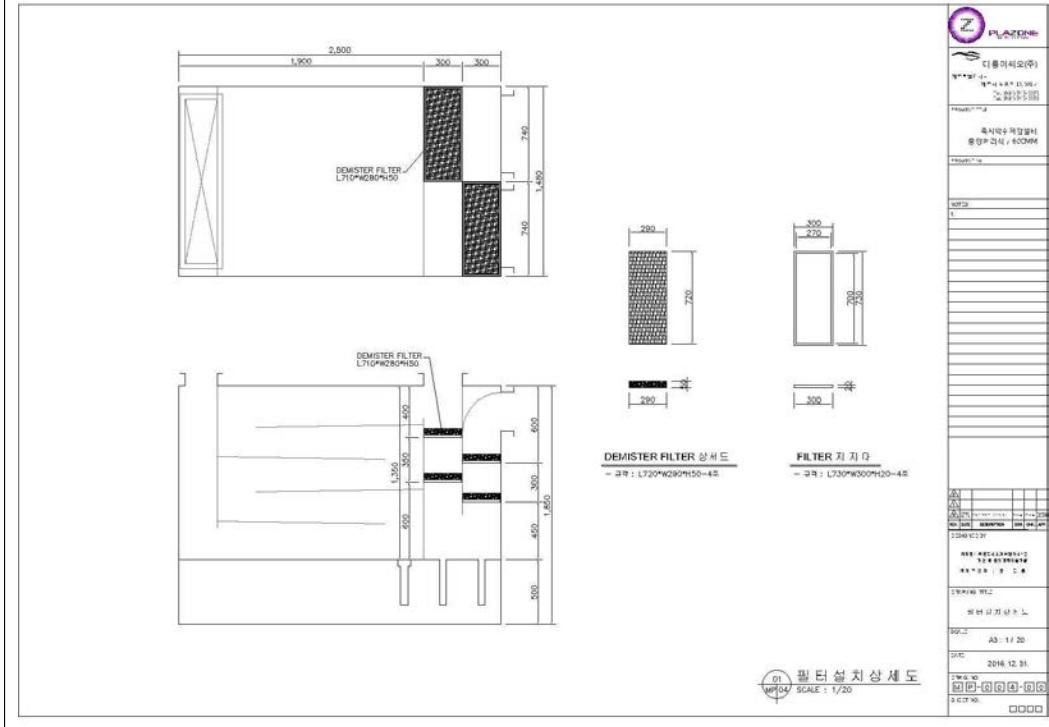
MP-01 시스템구성도



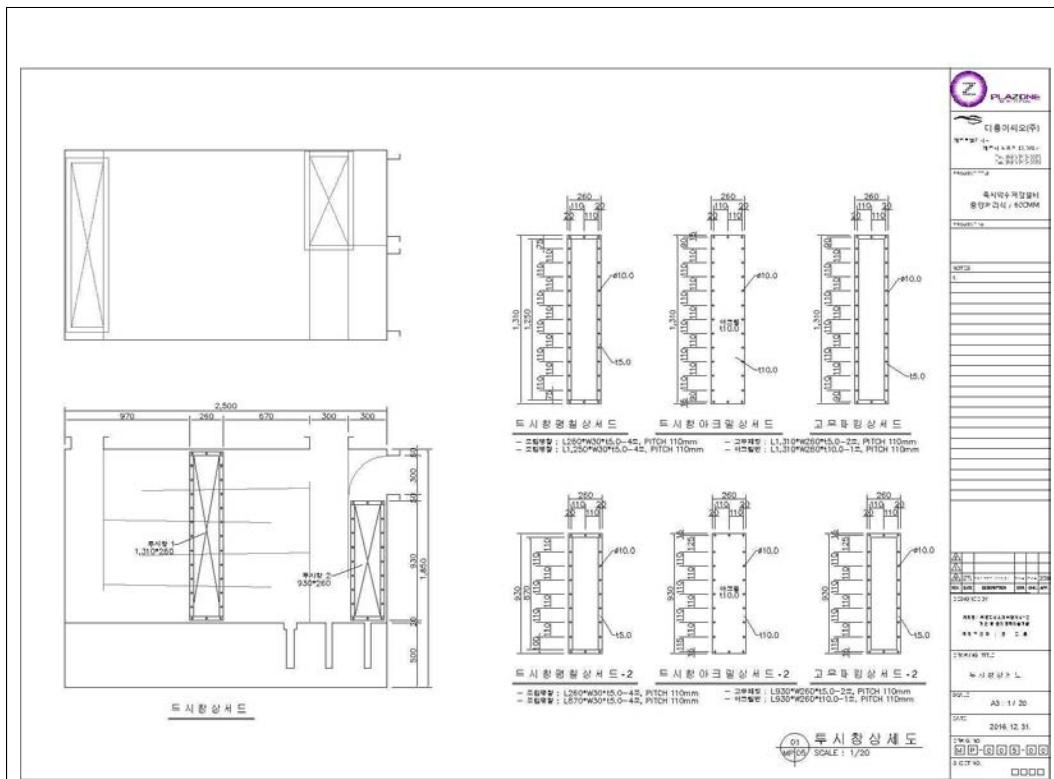
MP-02 시스템외형도



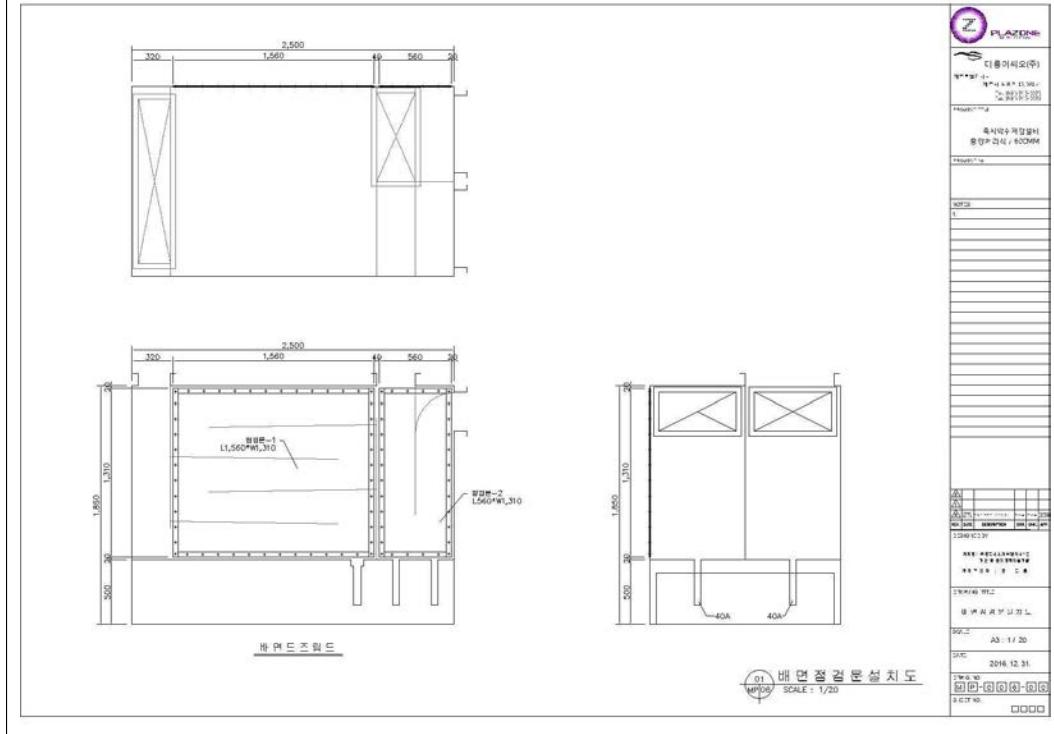
MP-03 시스템배관도



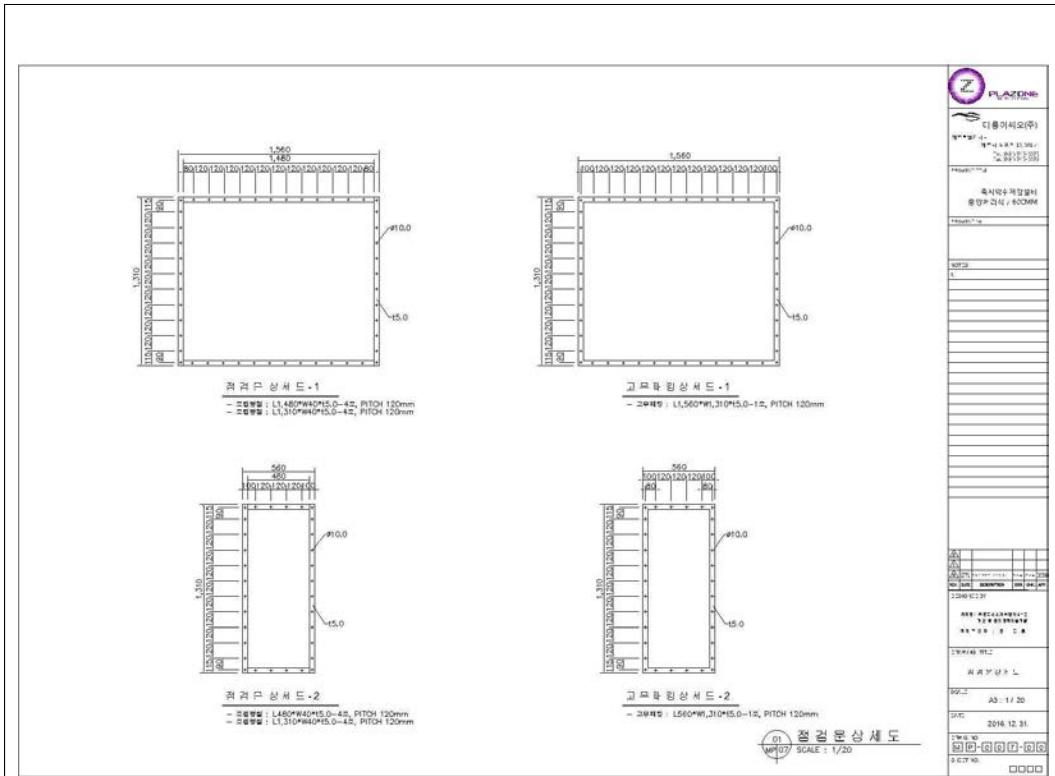
MP-04 필터 설치상세도



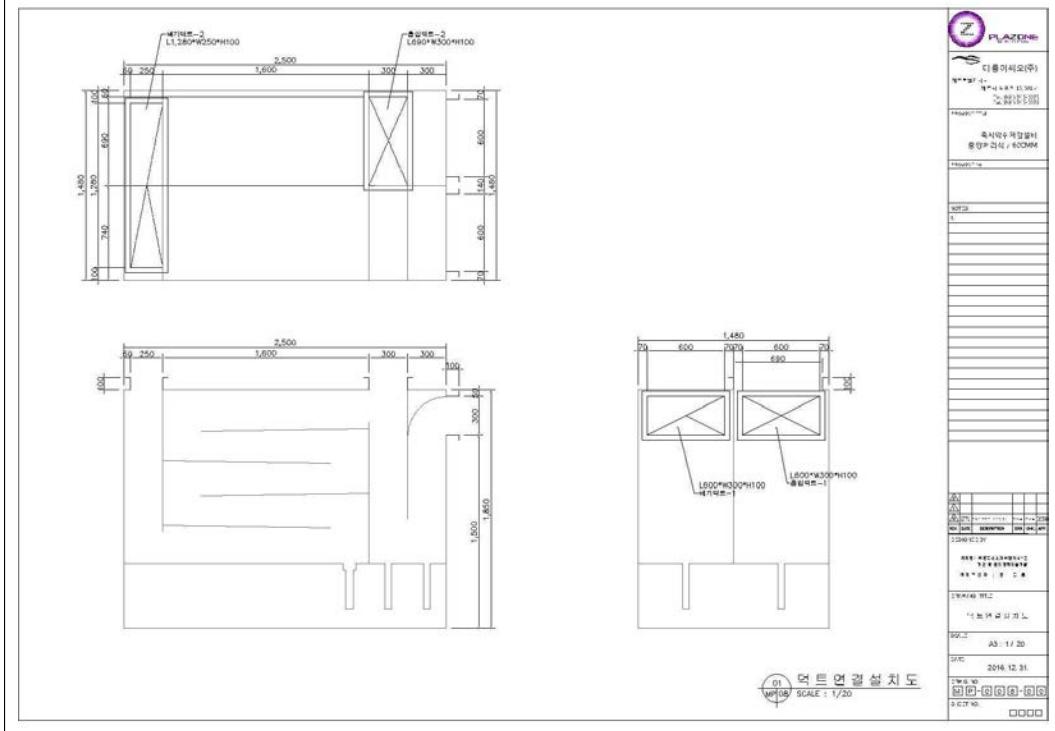
MP-05 투시창상세도



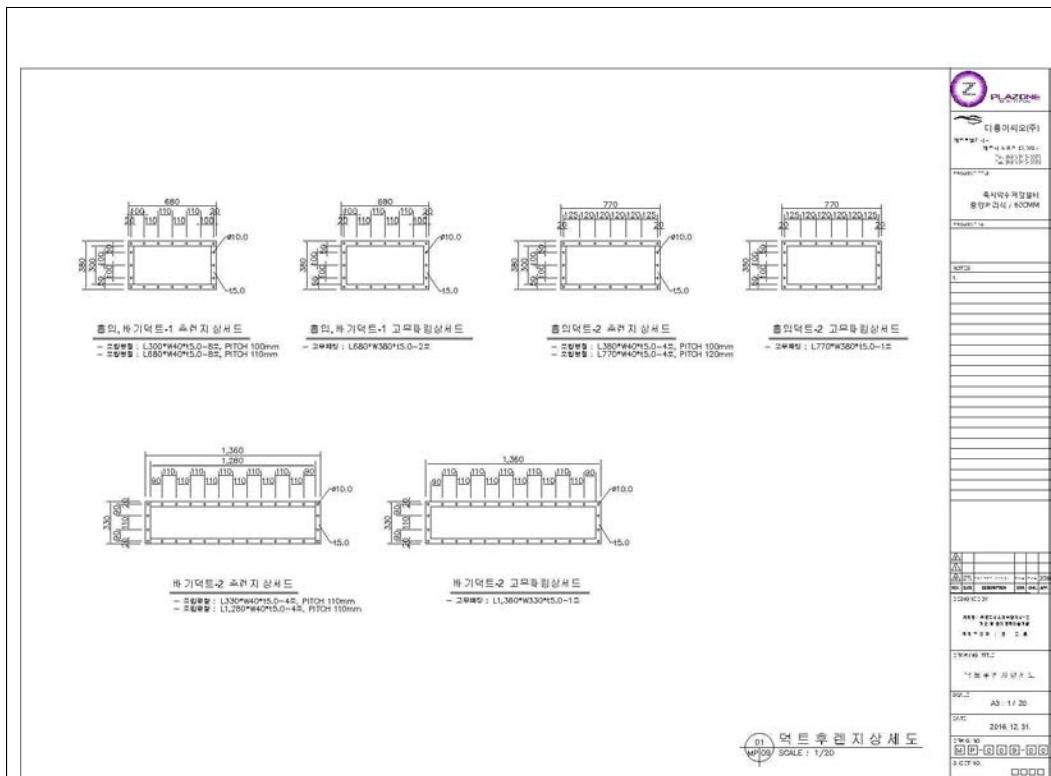
MP-06 배면 점검문설치도



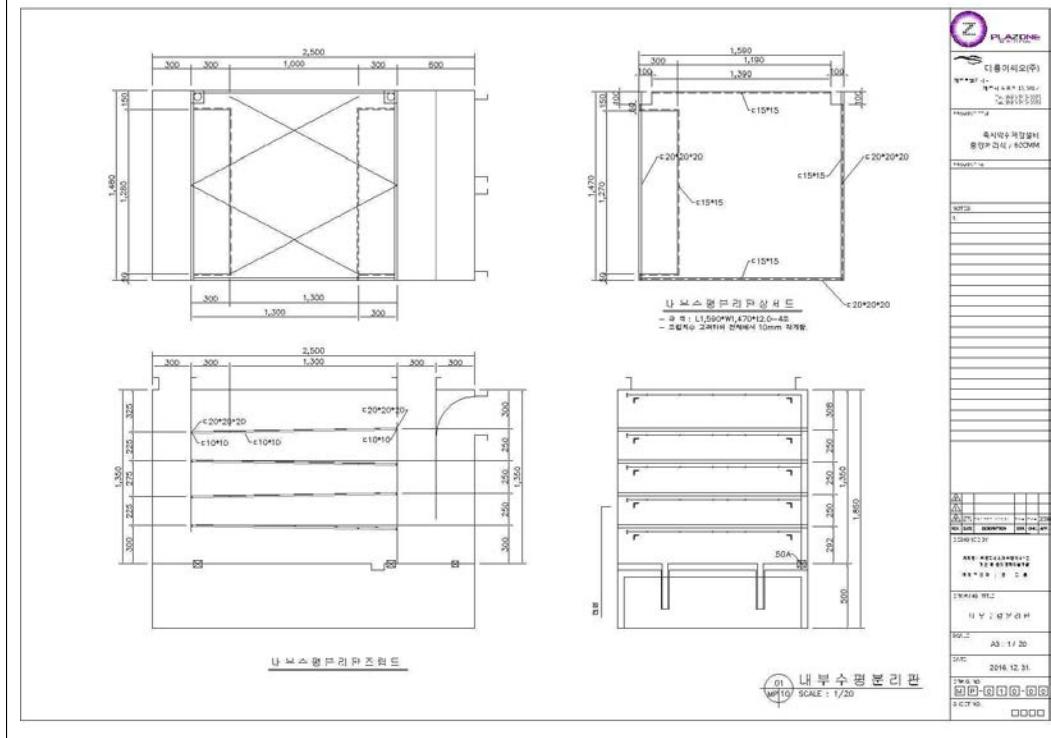
MP-07 점검문상세도



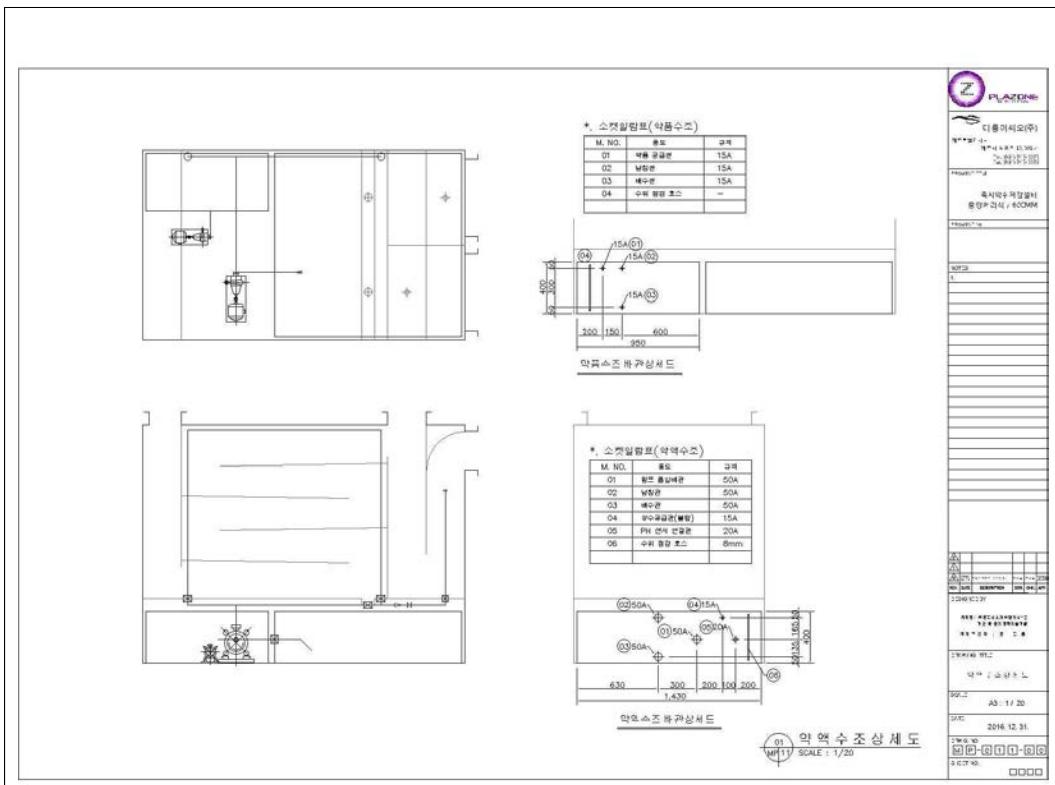
MP-08 덕트연결설치도



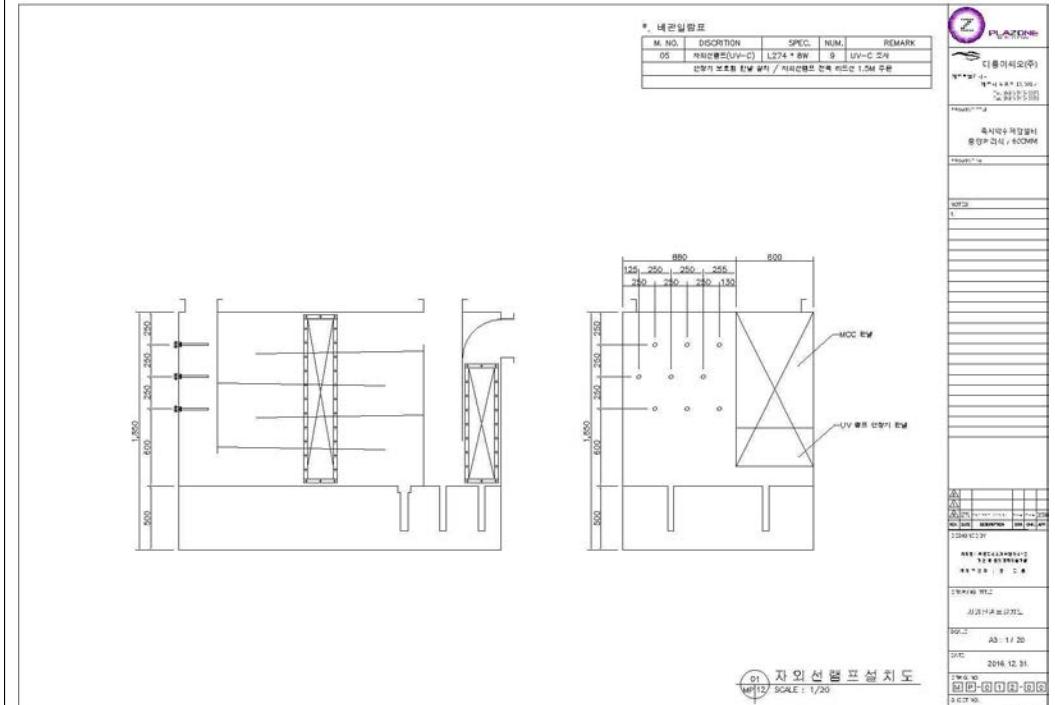
MP-09 덕트후렌지상세도



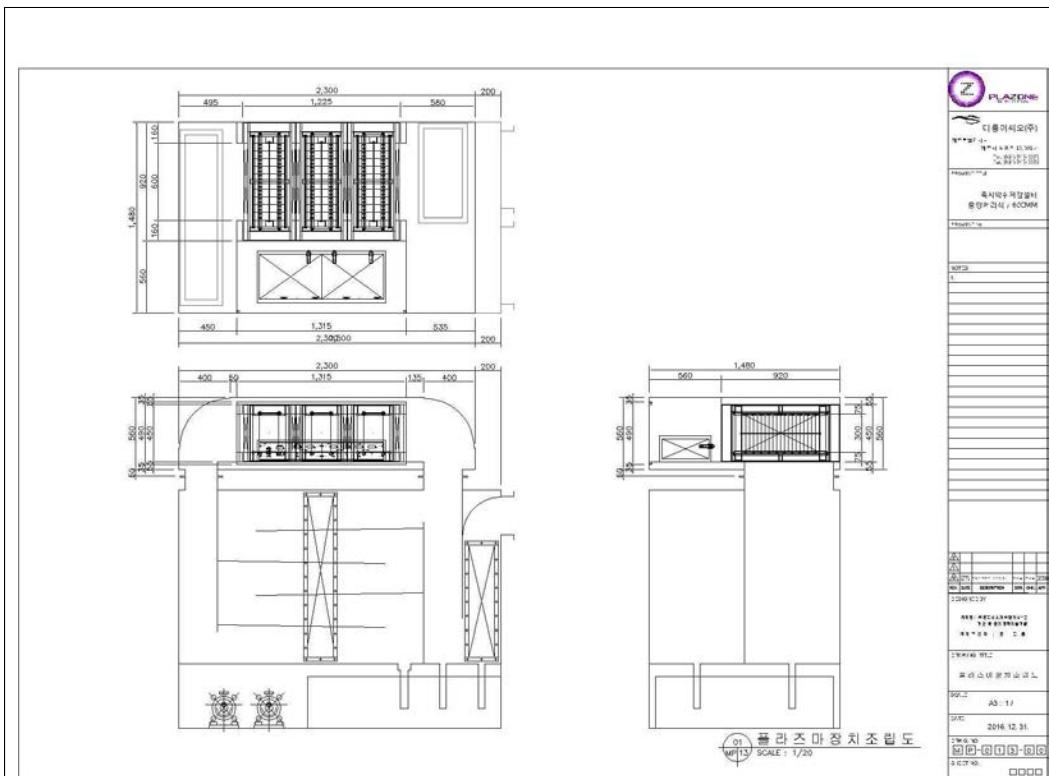
MP-10 내부수평분리판



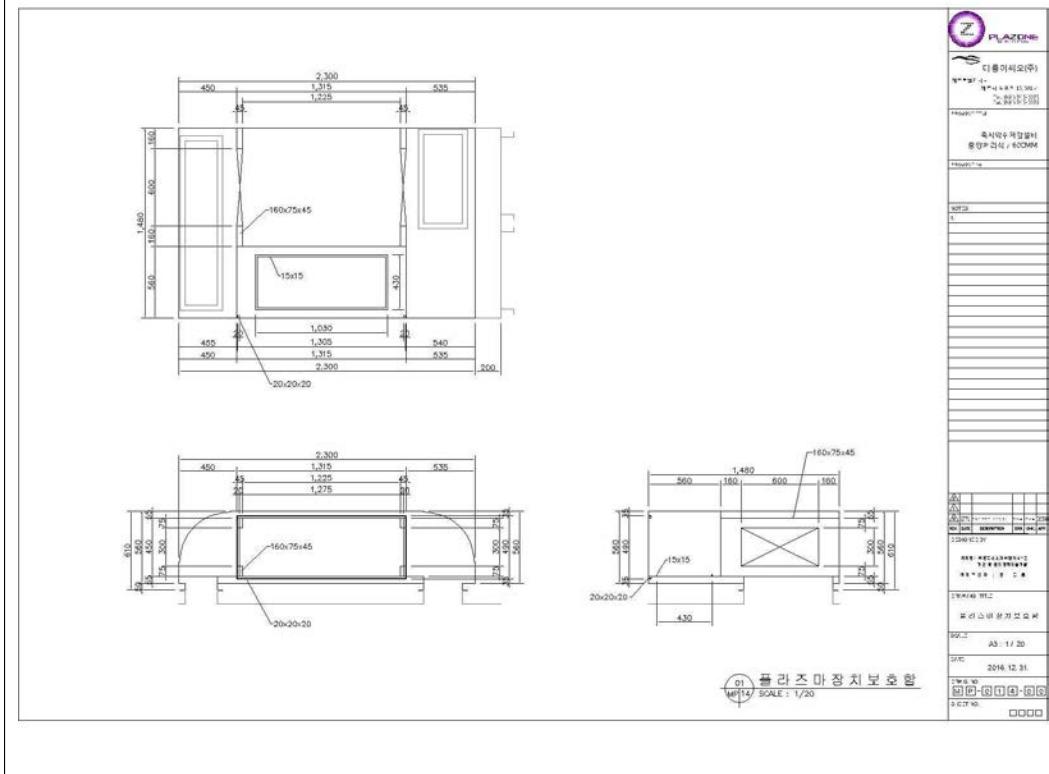
MP-11 배면점검문설치도



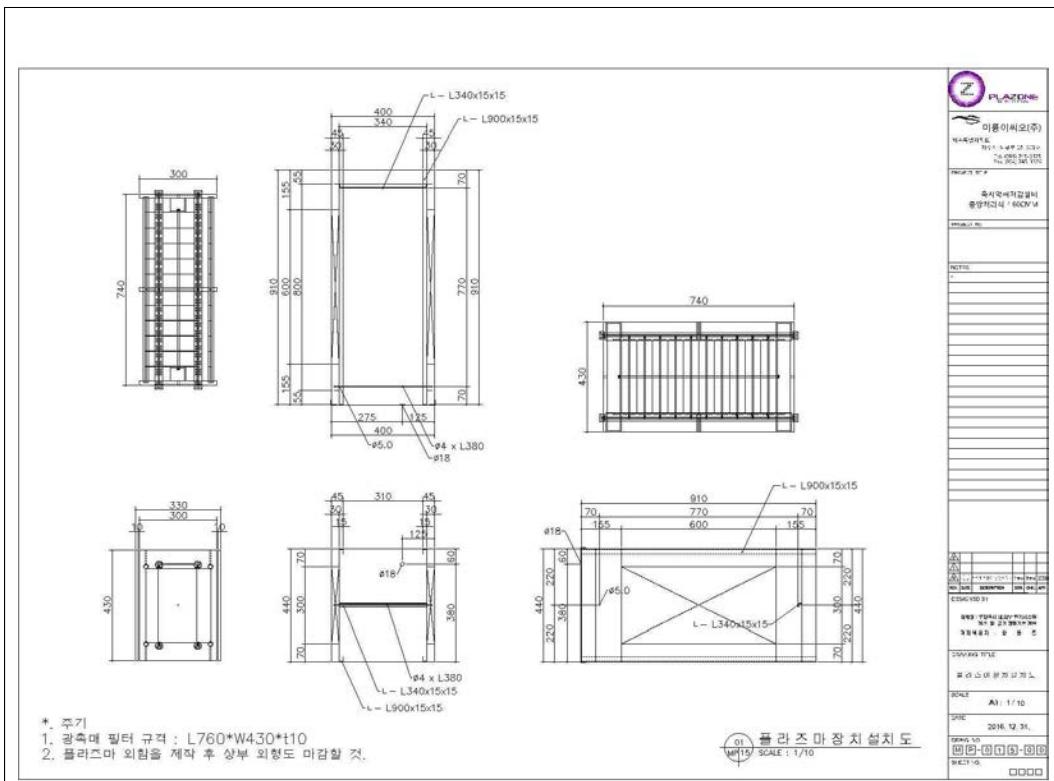
MP-12 자외선 램프 설치도



MP-13 플라즈마 장치조립도



MP-14 플라즈마 장치보호함



MP-15 플라즈마 장치 설치도

저온플라즈마 장치 제작도

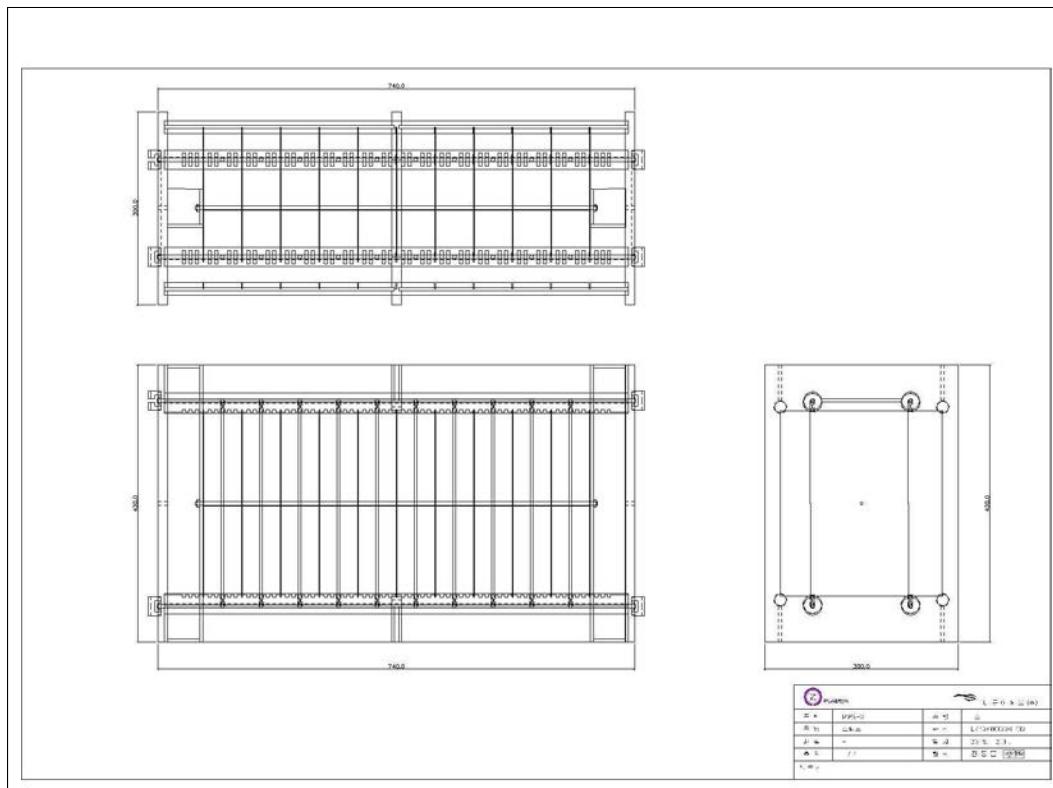
[저온플라즈마 장치]

2016. 12. 31.

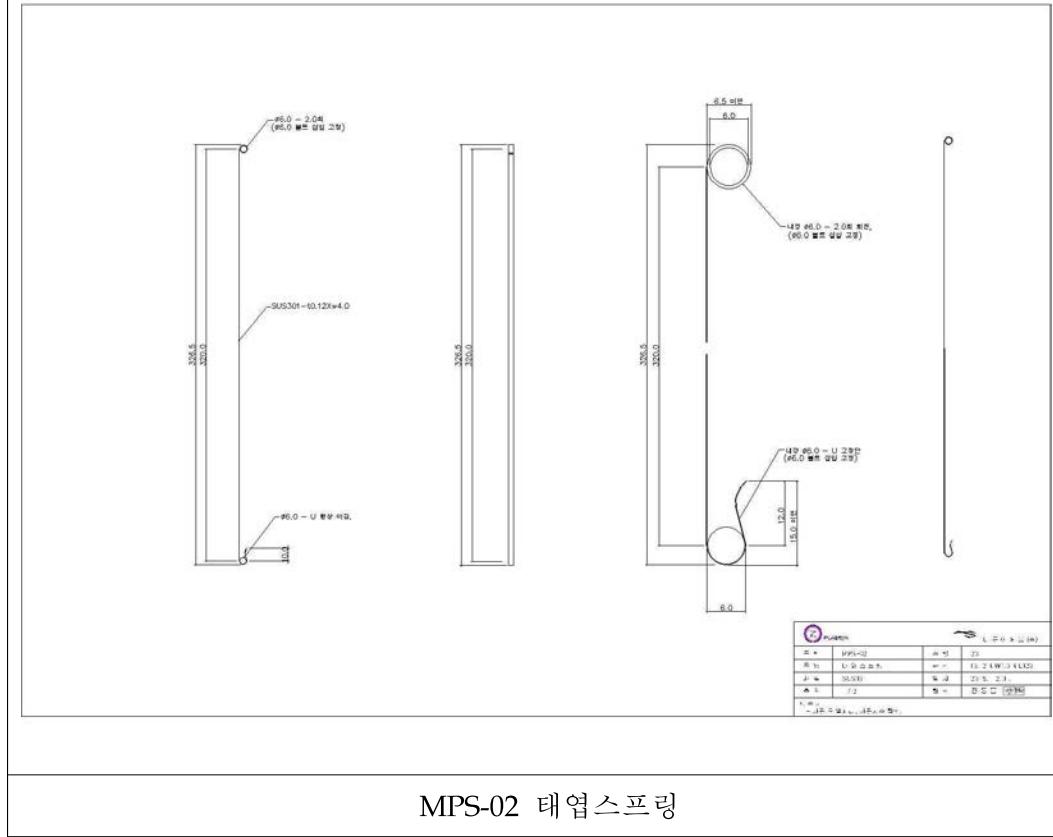


미통이씨오주식회사

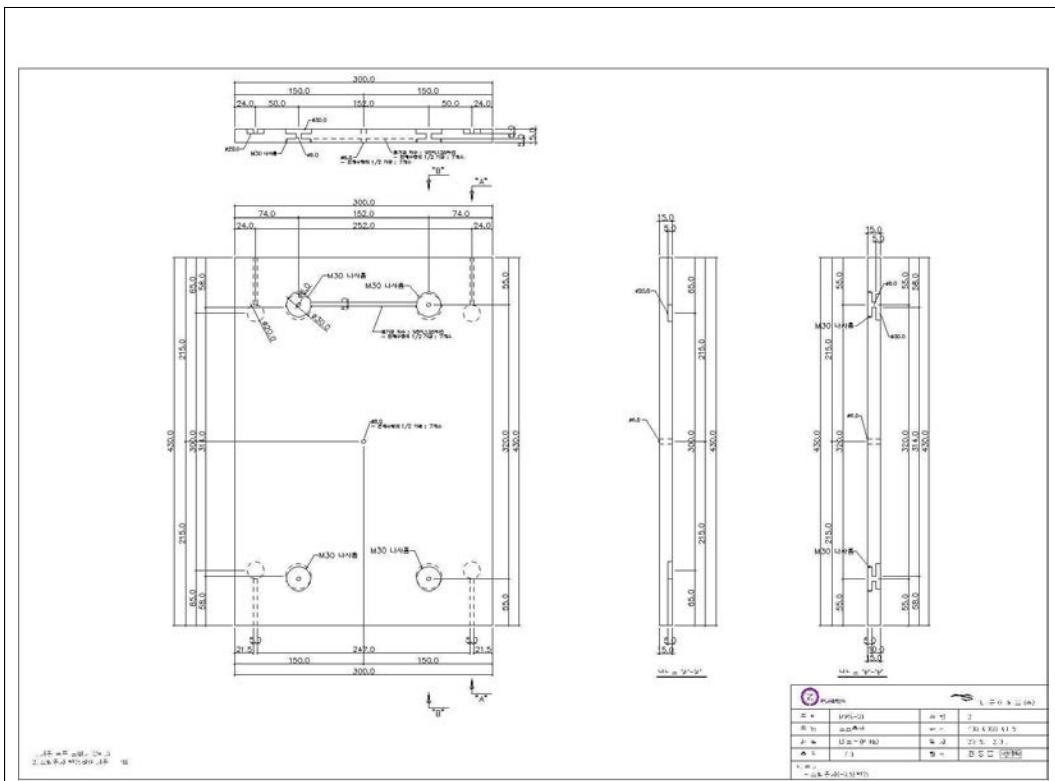
MPS-00 저온플라즈마 장치 제작도



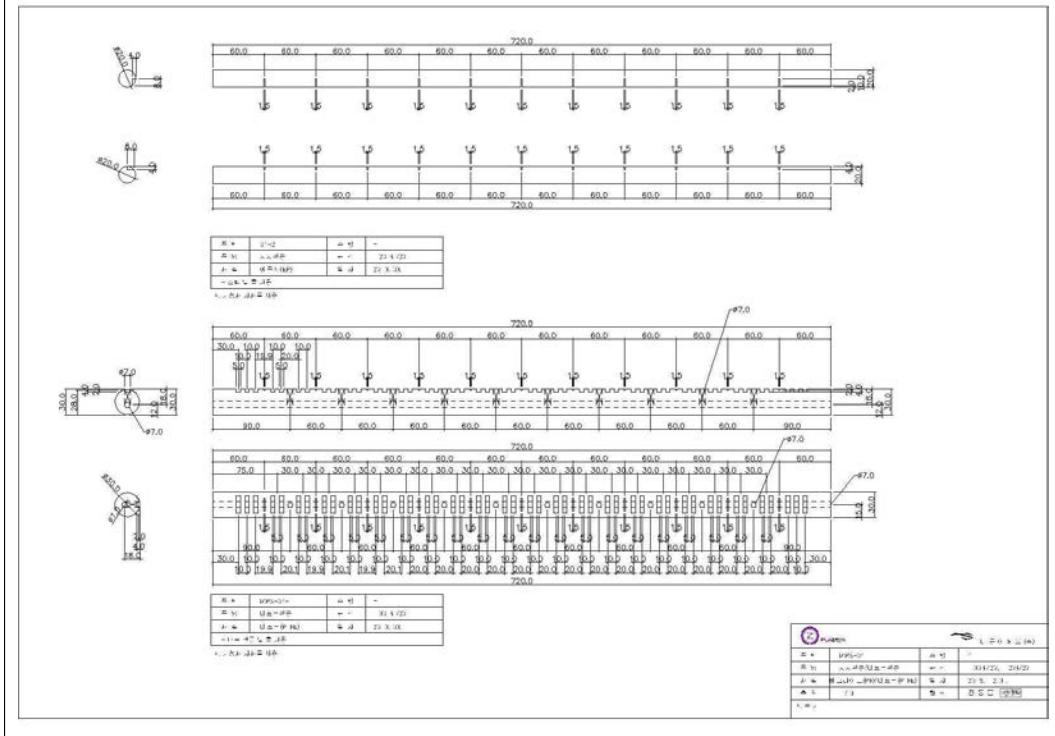
MPS-01 조립도



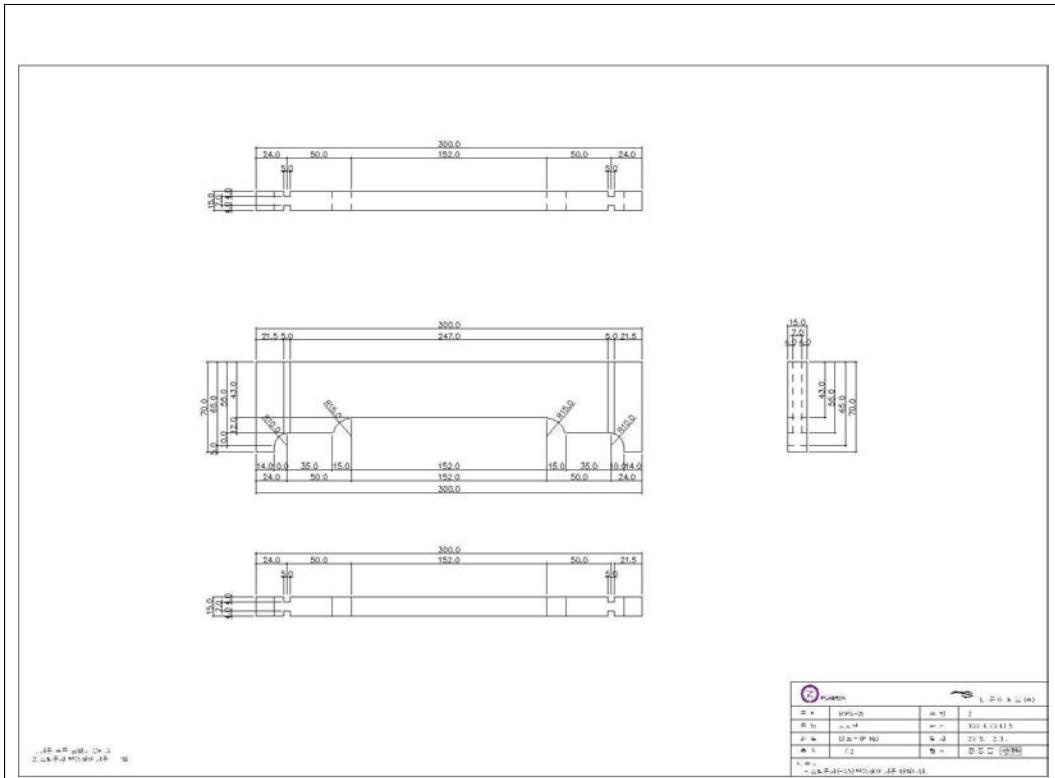
MPS-02 태엽스프링



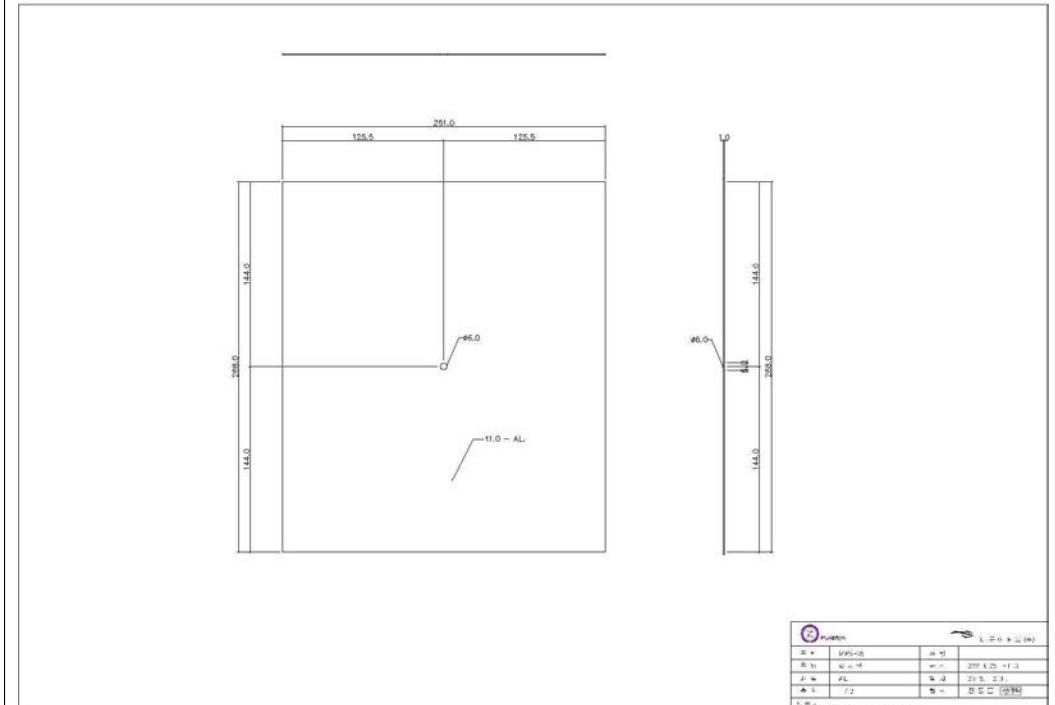
MPS-03 보호측판



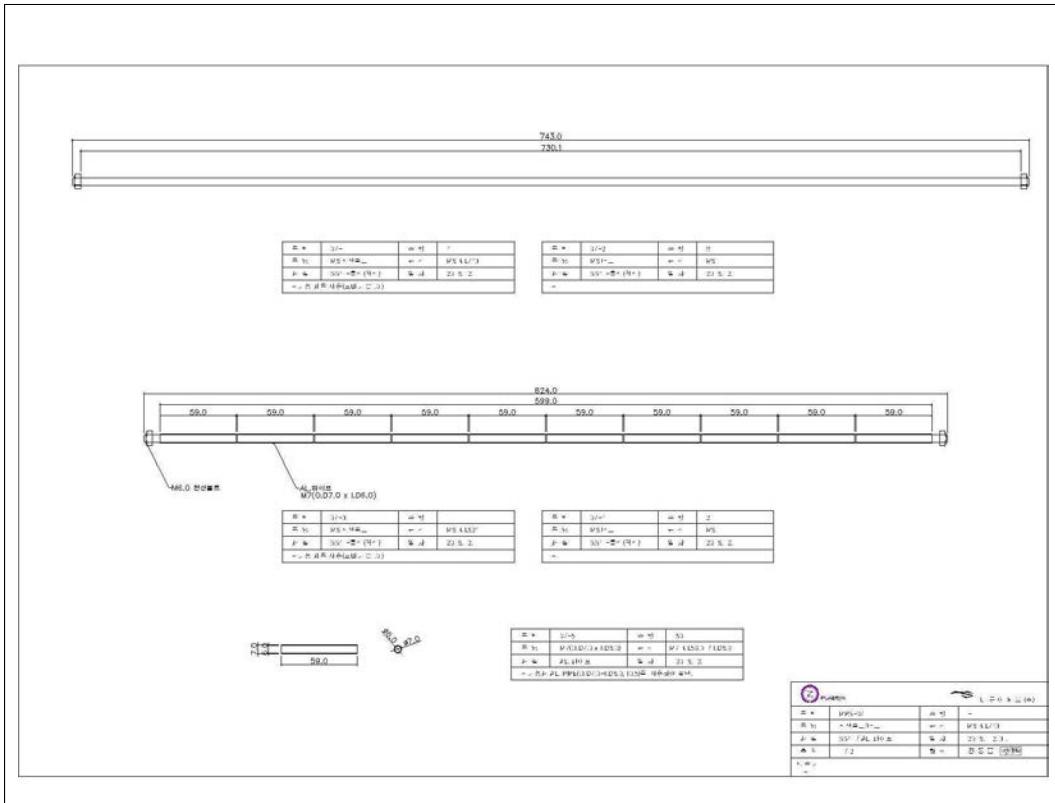
MPS-04 지지환봉, 테프론환봉



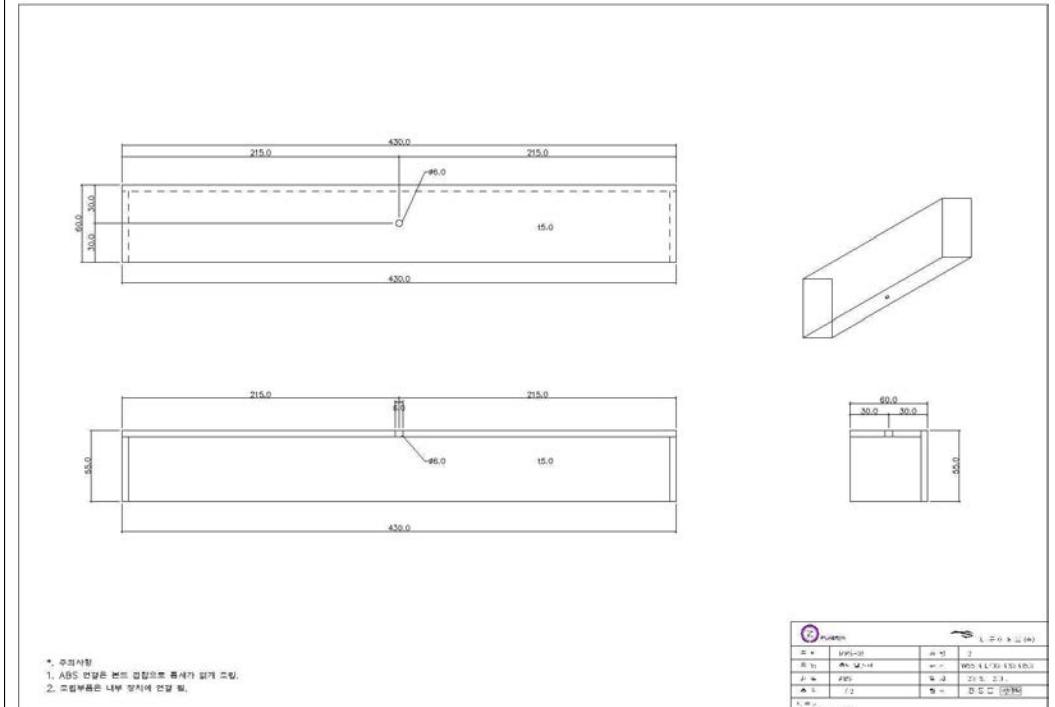
MPS-05 지지판



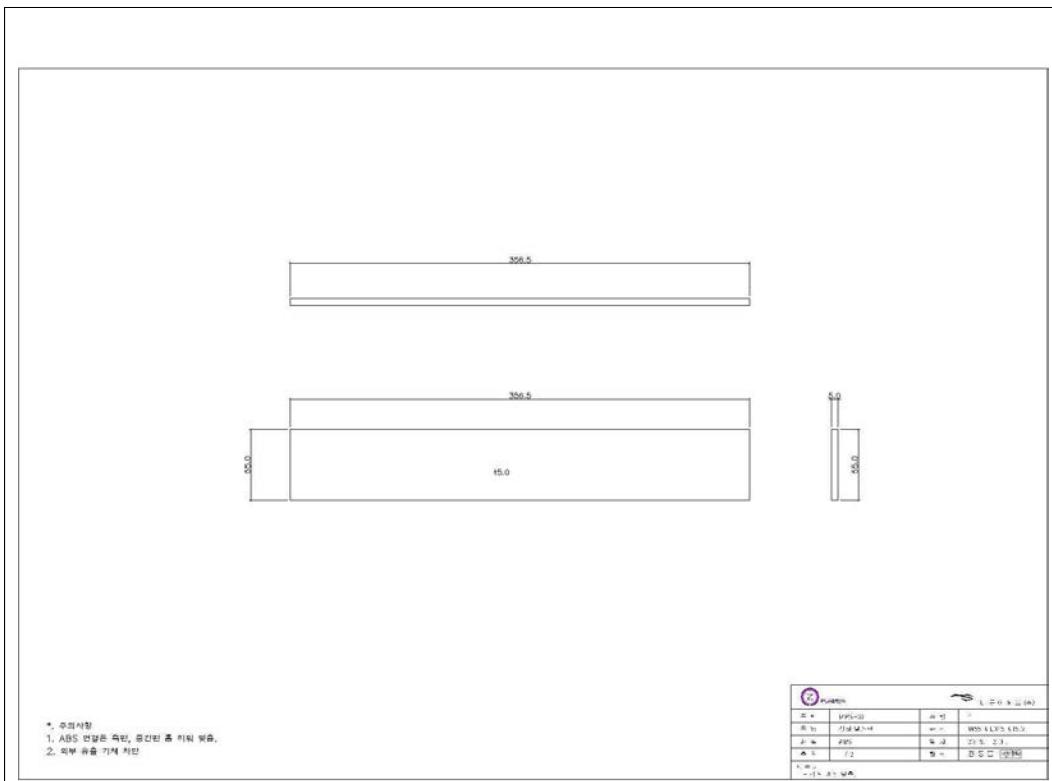
MPS-06 접지판



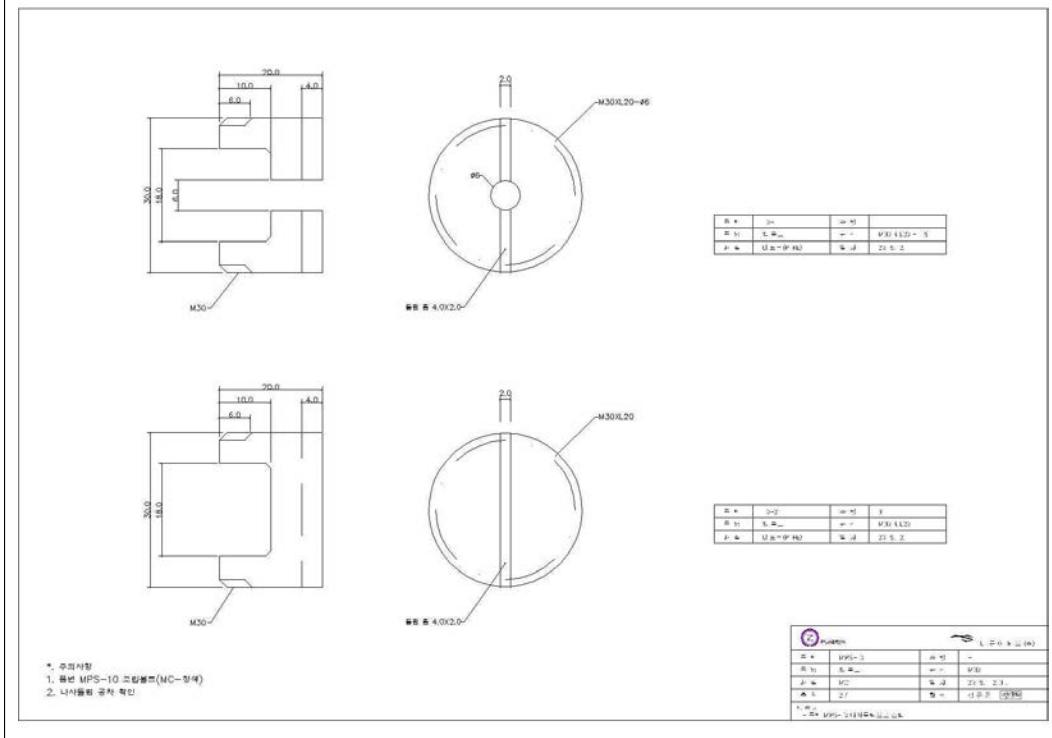
MPS-07 전산볼트/너트



MPS-08 측면날개판



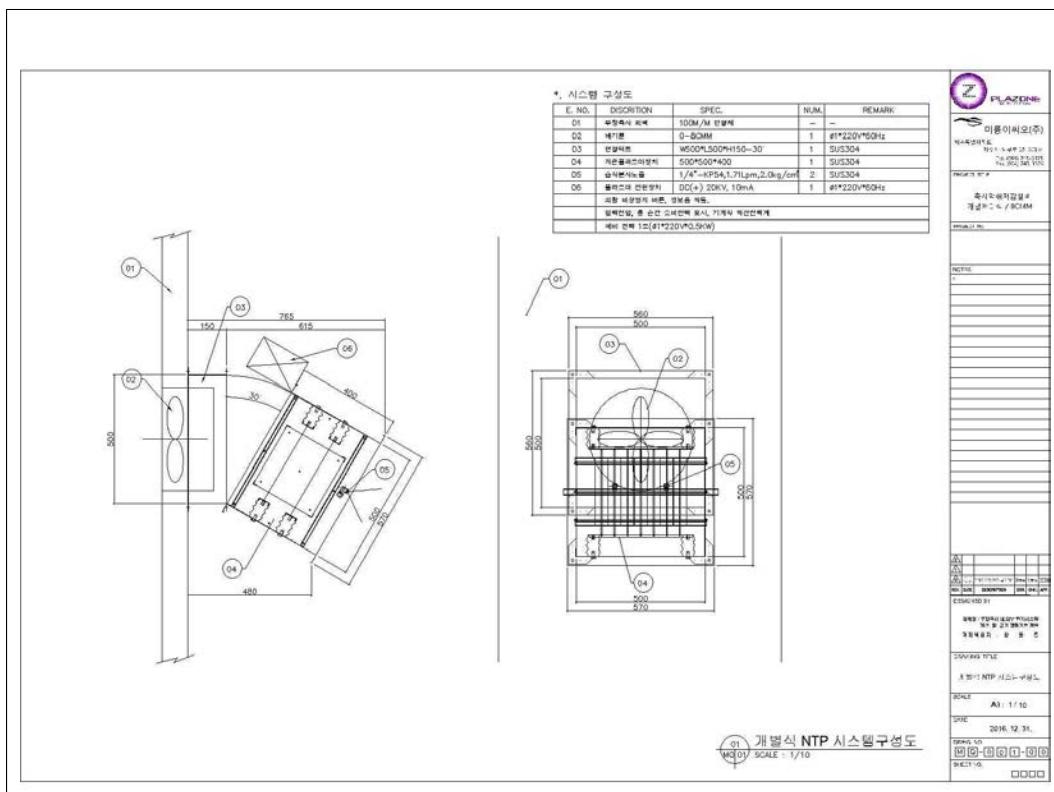
MPS-09 상하날개판



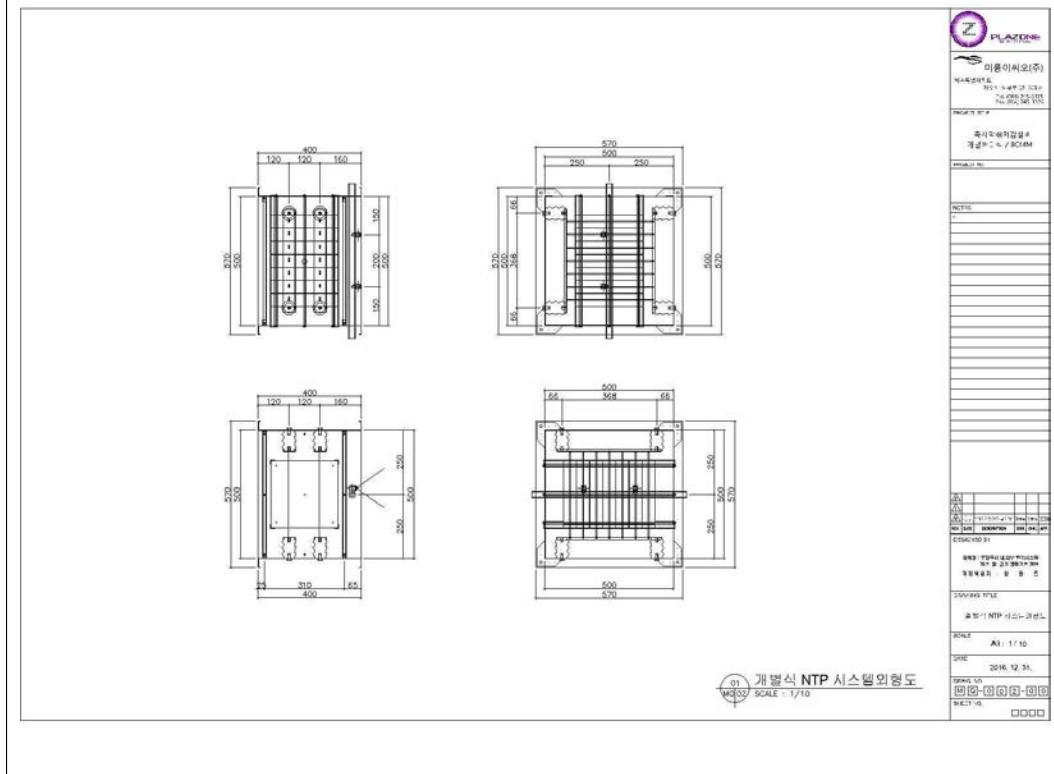
MPS-10 캡볼트

- 개별처리식 공기정화시스템 표준화 설계도면

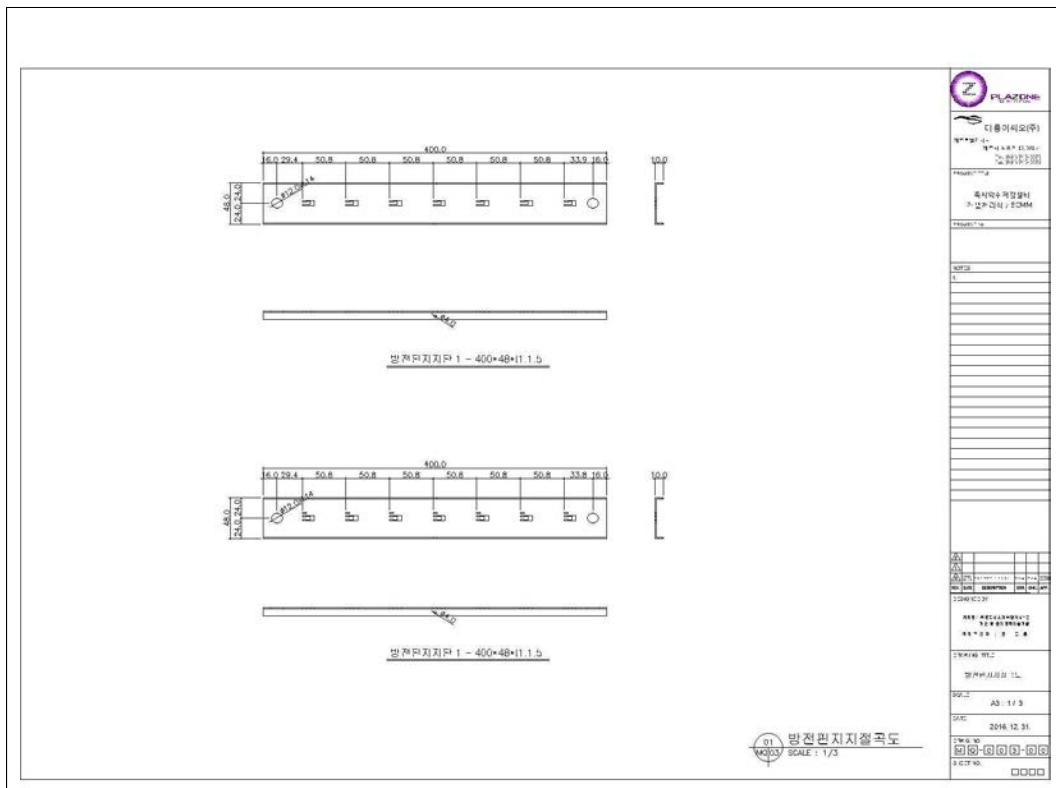
<p style="text-align: center;">< 과제명 : 무창축사 내,외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발 ></p> <p style="text-align: center;">축 사 악 취 저 감 설 비-개별처리식</p> <hr/> <p style="text-align: center;">[저온플라즈마 + 습식세정장치]</p> <p style="text-align: right;">2016. 12. 31.</p> <p style="text-align: center;">  미 풍 이 씨 오 주 식 회 사 </p> <p style="text-align: center;">개별처리식 - 표지</p>																																																																																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">도면목록표</th> <th colspan="3" style="text-align: center;">주 기 사 항</th> </tr> <tr> <td style="width: 15%;">도면번호</td> <td style="width: 40%;">도 면 명</td> <td style="width: 15%;">획 칙</td> <td style="width: 15%;">도면번호</td> <td style="width: 40%;">주 기 사 항</td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td>M0 - 001</td> <td>개별처리장설비-기계설비</td> <td>1 / 10</td> <td>P008308</td> <td>이전다양</td> <td>(1) 무창축사 내,외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발</td> </tr> <tr> <td>M0 - 002</td> <td>개별처리장설비-스텐 구조도</td> <td>1 / 10</td> <td></td> <td>대회복수</td> <td>(2) 무창축사 내,외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발</td> </tr> <tr> <td>M0 - 003</td> <td>방진문지붕과도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>예산사업명</td> <td>개별처리장설비-기계설비설계</td> </tr> <tr> <td>M0 - 004</td> <td>부부증과 천상재도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>주제내용</td> <td>개별처리장설비-기계설비설계</td> </tr> <tr> <td>M0 - 005</td> <td>부부증과 천상재도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>내용설명</td> <td>개별처리장설비-기계설비설계</td> </tr> <tr> <td>M0 - 006</td> <td>복연증과 천상재도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td>M0 - 007</td> <td>접지문부재도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td>M0 - 008</td> <td>불리기어도상재도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td>M0 - 009</td> <td>부부증과 천상재도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td>M0 - 010</td> <td>방진문부재도</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td>M0 - 011</td> <td>자자증 천상재(너트)</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td>M0 - 012</td> <td>고집증연 애자(연통복)</td> <td>1 / 2</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td>M0 - 013</td> <td>전증부재부재도</td> <td>1 / 4</td> <td></td> <td>제작기한</td> <td>2016. 12. 31. (제작일)</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="height: 100px;"></td> </tr> </table>		도면목록표			주 기 사 항			도면번호	도 면 명	획 칙	도면번호	주 기 사 항		M0 - 001	개별처리장설비-기계설비	1 / 10	P008308	이전다양	(1) 무창축사 내,외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발	M0 - 002	개별처리장설비-스텐 구조도	1 / 10		대회복수	(2) 무창축사 내,외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발	M0 - 003	방진문지붕과도	1 / 2		예산사업명	개별처리장설비-기계설비설계	M0 - 004	부부증과 천상재도	1 / 2		주제내용	개별처리장설비-기계설비설계	M0 - 005	부부증과 천상재도	1 / 2		내용설명	개별처리장설비-기계설비설계	M0 - 006	복연증과 천상재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)	M0 - 007	접지문부재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)	M0 - 008	불리기어도상재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)	M0 - 009	부부증과 천상재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)	M0 - 010	방진문부재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)	M0 - 011	자자증 천상재(너트)	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)	M0 - 012	고집증연 애자(연통복)	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)	M0 - 013	전증부재부재도	1 / 4		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)						
도면목록표			주 기 사 항																																																																																														
도면번호	도 면 명	획 칙	도면번호	주 기 사 항																																																																																													
M0 - 001	개별처리장설비-기계설비	1 / 10	P008308	이전다양	(1) 무창축사 내,외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발																																																																																												
M0 - 002	개별처리장설비-스텐 구조도	1 / 10		대회복수	(2) 무창축사 내,외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발																																																																																												
M0 - 003	방진문지붕과도	1 / 2		예산사업명	개별처리장설비-기계설비설계																																																																																												
M0 - 004	부부증과 천상재도	1 / 2		주제내용	개별처리장설비-기계설비설계																																																																																												
M0 - 005	부부증과 천상재도	1 / 2		내용설명	개별처리장설비-기계설비설계																																																																																												
M0 - 006	복연증과 천상재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
M0 - 007	접지문부재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
M0 - 008	불리기어도상재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
M0 - 009	부부증과 천상재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
M0 - 010	방진문부재도	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
M0 - 011	자자증 천상재(너트)	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
M0 - 012	고집증연 애자(연통복)	1 / 2		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
M0 - 013	전증부재부재도	1 / 4		제작기한	2016. 12. 31. (제작일)																																																																																												
<p style="text-align: center;">개별처리식 - 목차</p>																																																																																																	



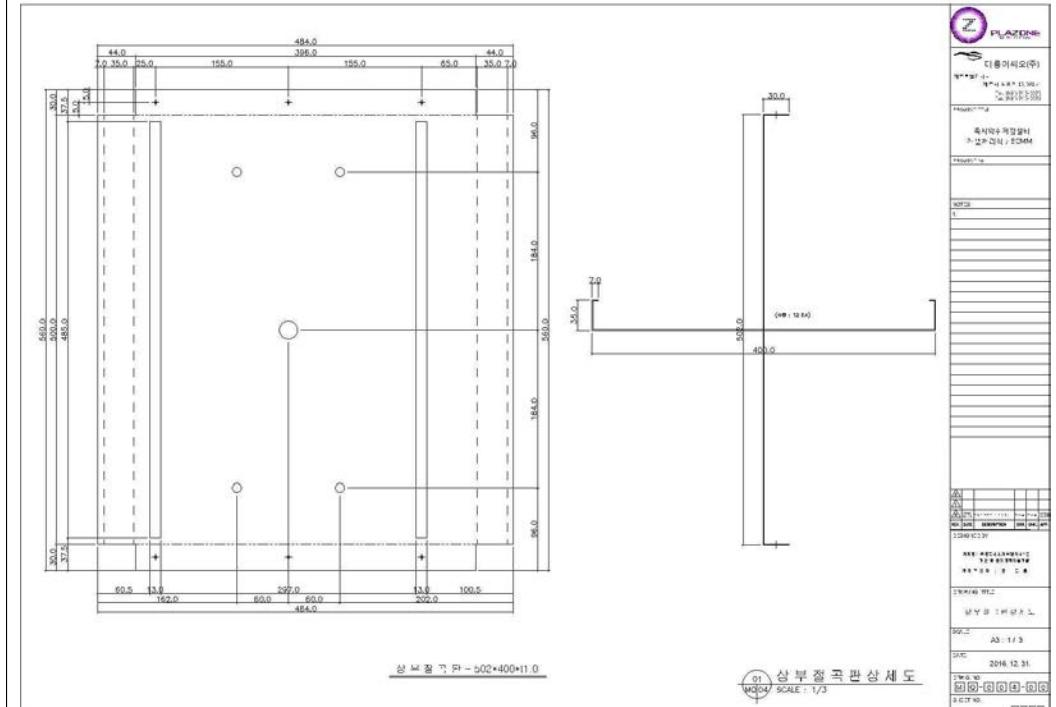
MQ-01 시스템구성도



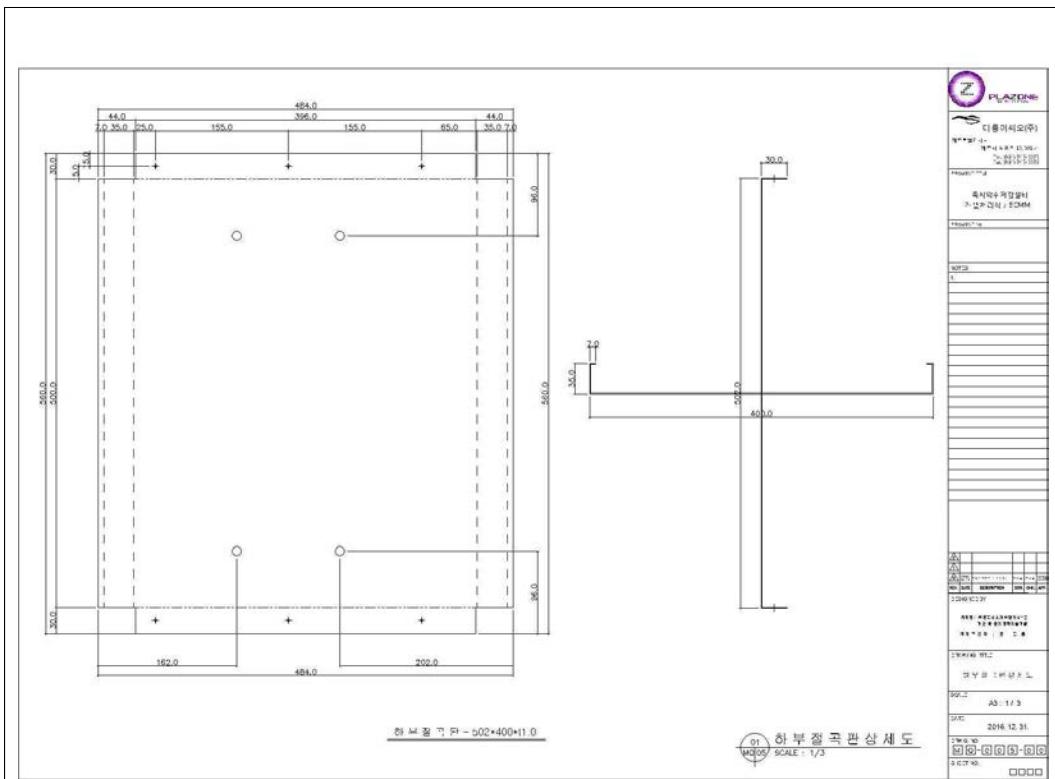
MQ-02 시스템외형도



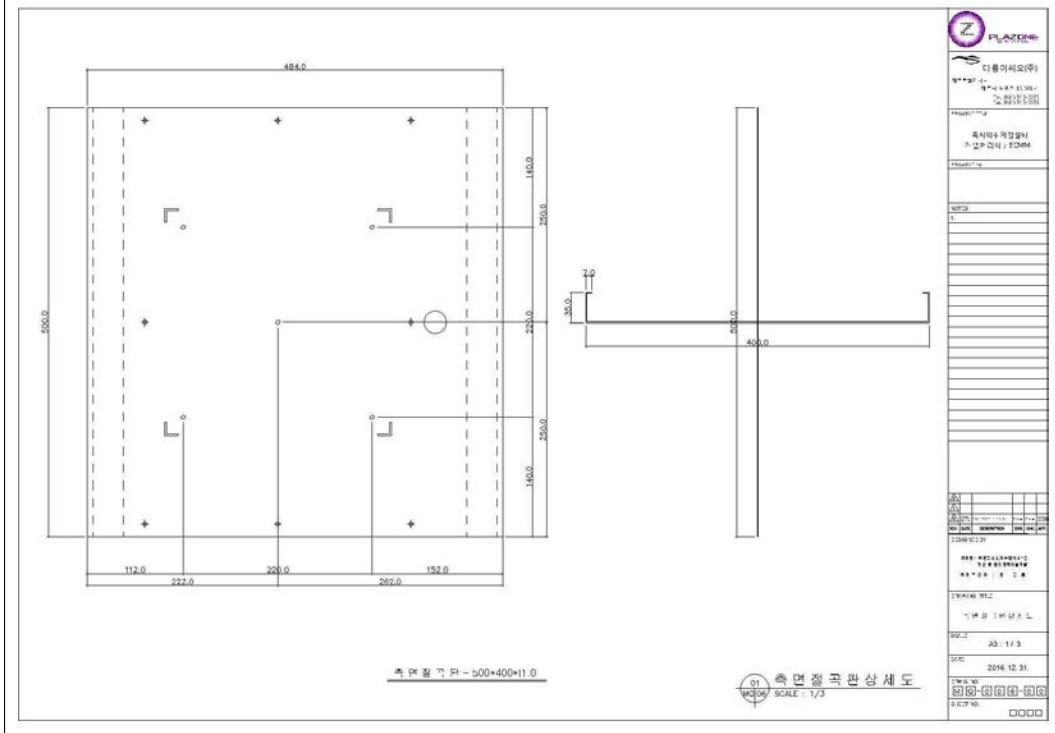
MQ-03 방전판지지자도



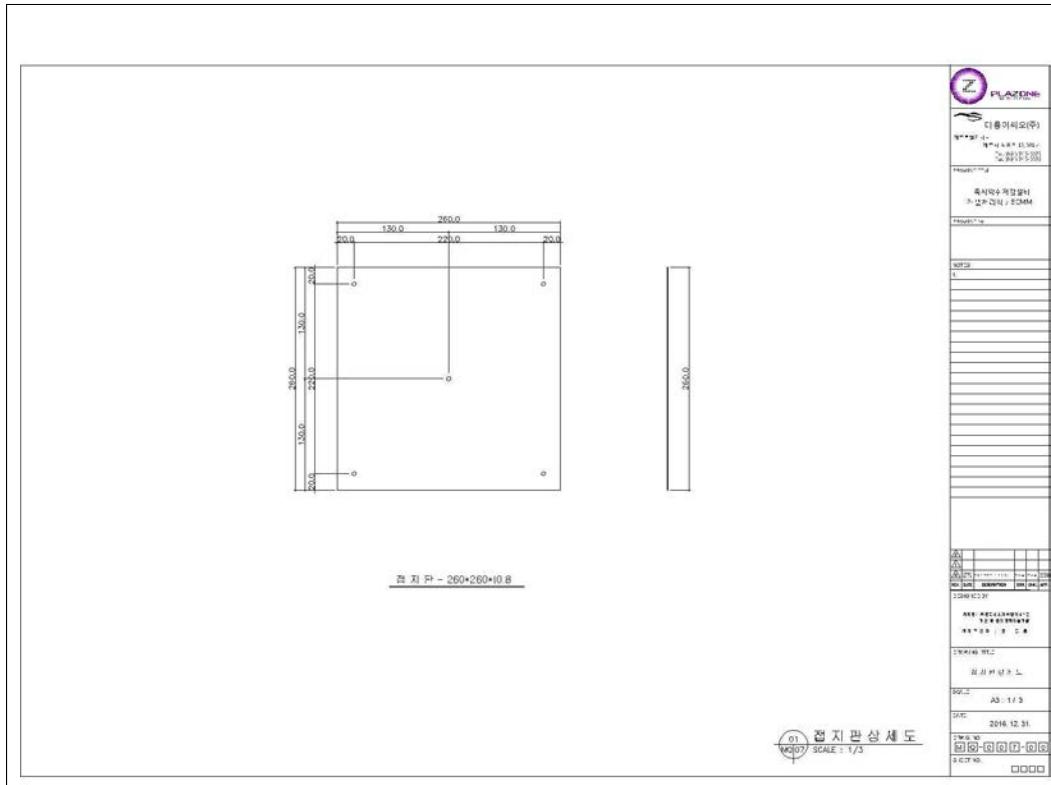
MQ-04 상부절곡판상세도



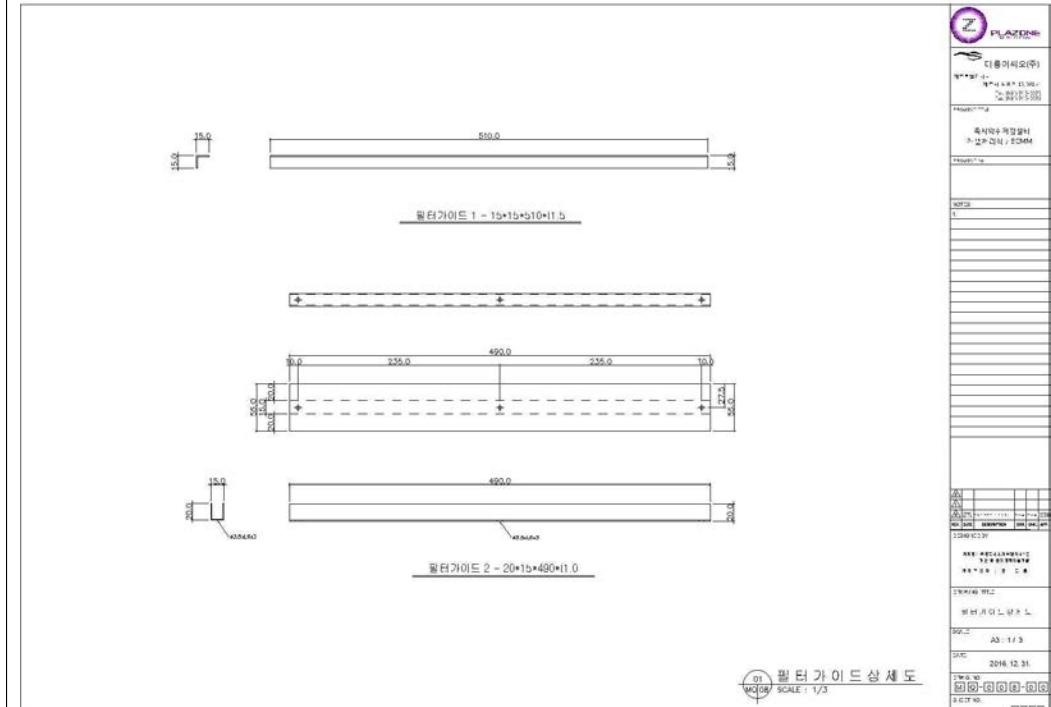
MQ-05 하부 절곡 판상 세도



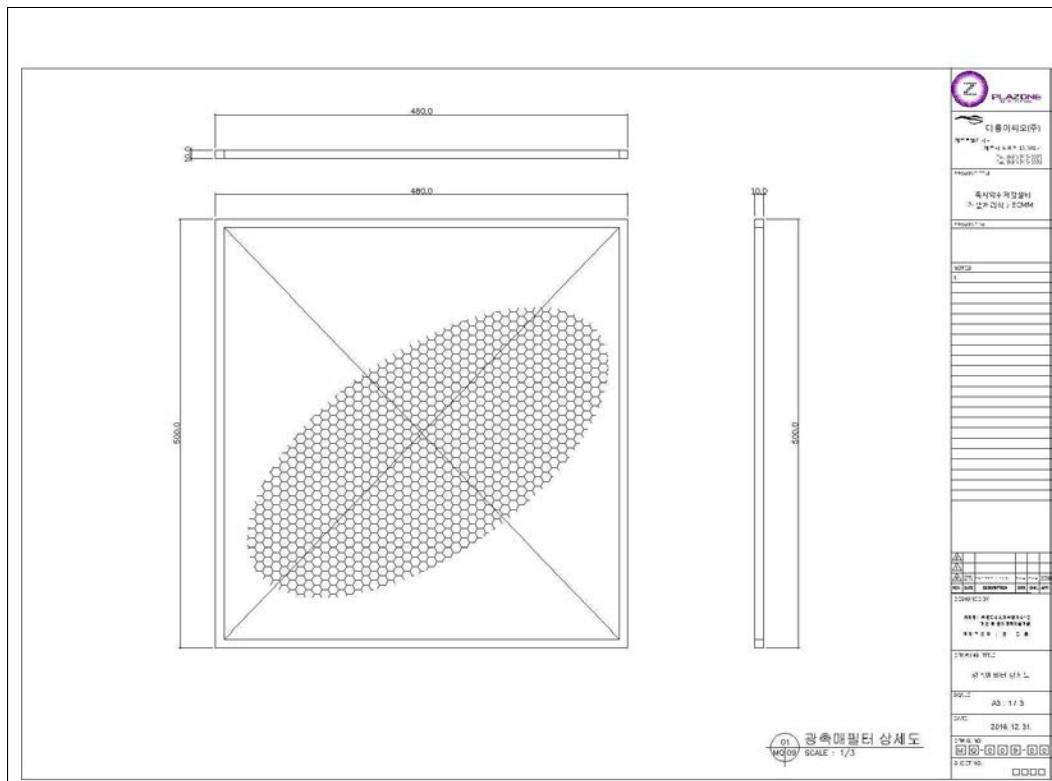
MQ-06 측면 절곡 판상 세도



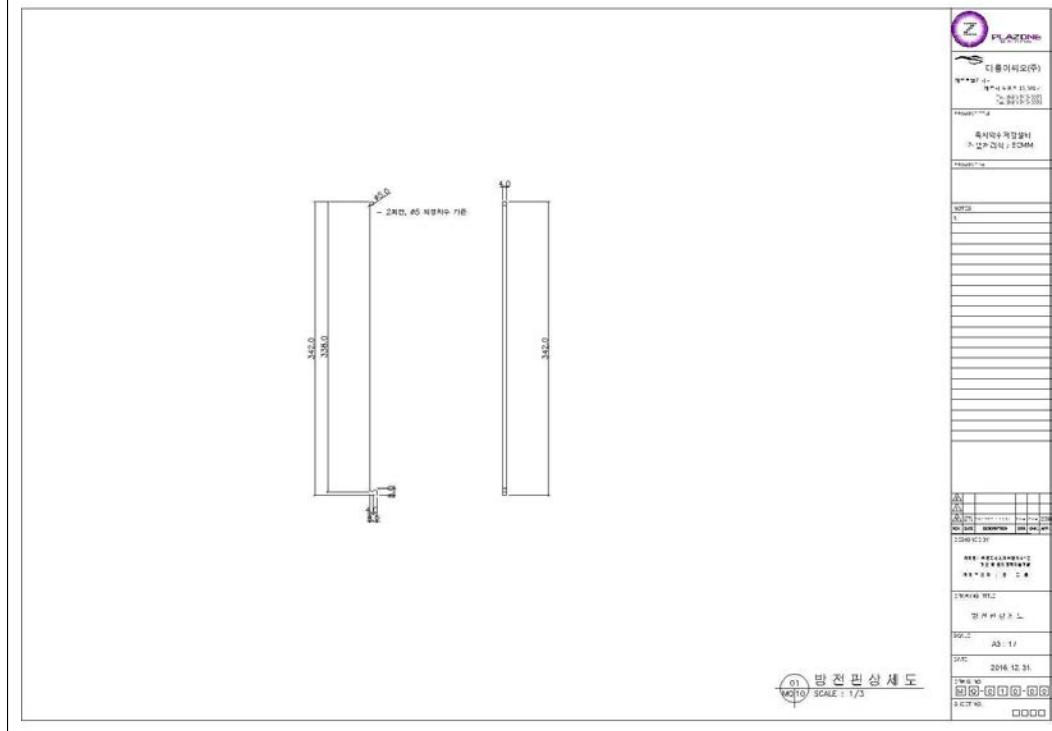
MQ-07 접지판상세도



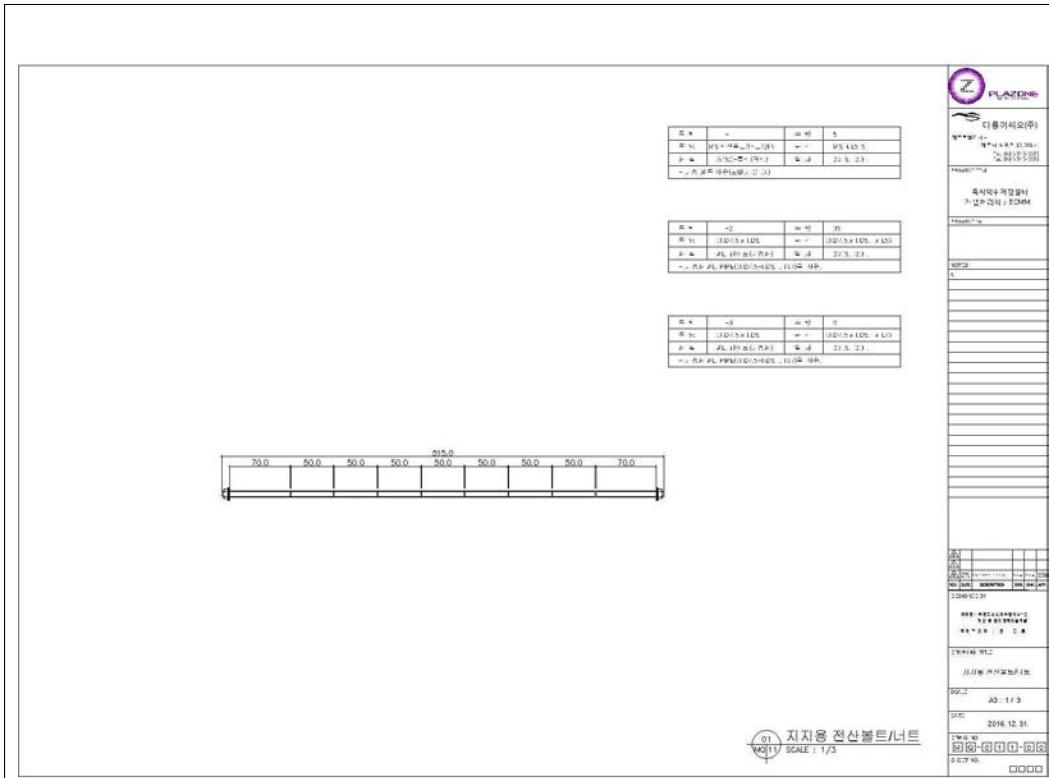
MQ-08 필터가이드상세도



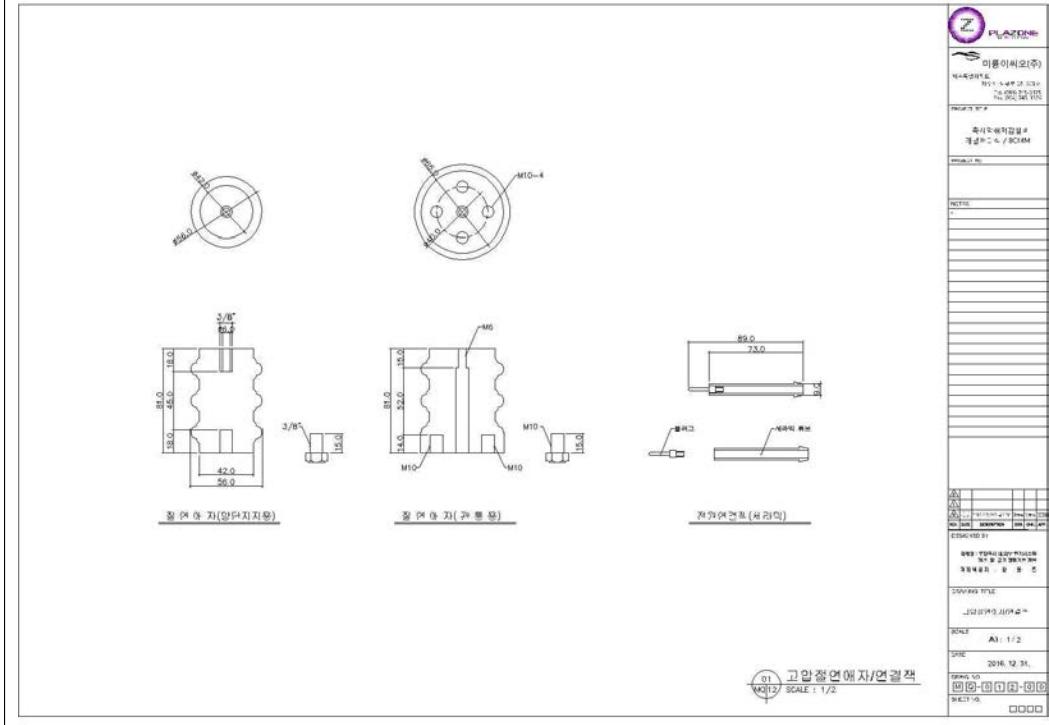
MQ-09 필터상세도



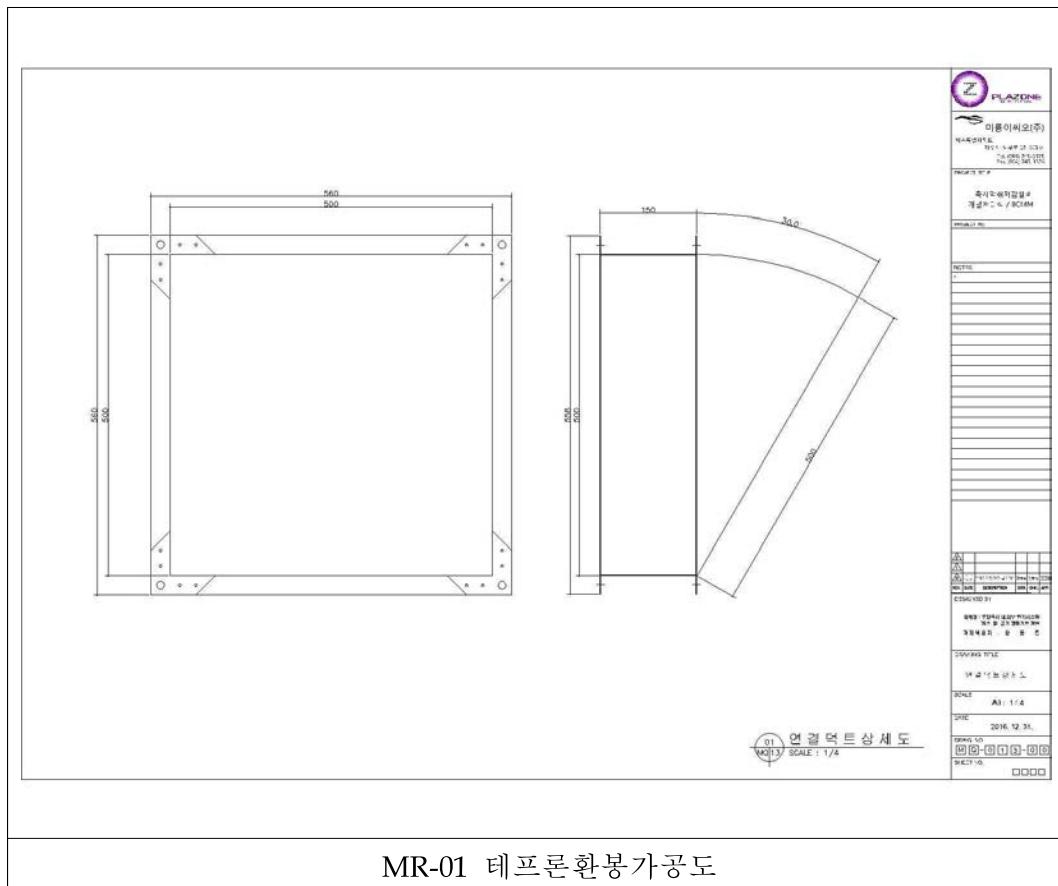
MQ-10 방전판상세도



MQ-11 지지용볼트너트



MQ-12 고압절연애자 연결재



첨부 2.

1. 미릉-130402(2013.04.05.)

PLAZONE

Non-Thermal Plasma

우) 690-708 제주특별자치도 제주시 노령동 1534 제주한리대학 하이테크센터 1121호 / Tel. 064) 745-3975 Fax. 064) 745-3976

문서번호 : 미릉 - 130402

시 행 (2013. 04. 05.)

수 신 : 농촌진흥청
국립축산과학원 기획조정과
참 조 :

제 목 : “협동파제 과제책임자 변경” 승인 요청

1. 귀 청의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 농촌진흥청 농업과학기술개발 공동연구사업 운영규정 제 16조에 준하여
3. 15대 어젠다 연구개발사업 ‘무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발(PJ0085082013)’과 관련하여, 아래와 같이 협동파제 과제책임자 변경을 요청하오니 승인하여 주시기 바랍니다.

사업명	연구개발과제	협동파제명	과제책임자		사유
			변경 전	변경 후	
국책기술 개발사업	무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기정화기술 개발	무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취유출방지 필터링 기술	송준익	박규현	협동파제 책임자 이직

붙임 : 협약변경 승인요청서 1부.끝.

미릉이씨오주식회사 대표장동



信息와 技術로 보답하는 기업

2. 미릉-131001(2013.10.15.)

PLAZONE

Non-Thermal Plasma

우) 630-708 제주특별자치도 제주시 노형동 1534 제주한리대학 하이테크센터 1121호 / Tel. 064) 745-3375, Fax. 064) 745-3376

문서번호 : 미릉 - 131001

시 행 (2013. 10. 15.)

수 신 : 농촌진흥청
국립축산과학원 기획조정과
참 조 :

제 목 : “협동연구과제 과제책임자 변경” 알림

1. 귀 청의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 농촌진흥청 농업과학기술개발 공동연구사업 운영규정 제 16조에 준하여 17 어젠다 연구개발사업 ‘무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발(PJ0085082013)’과 관련하여, 아래와 같이 변경을 요청하오니 조치하여 주시기 바랍니다.

- 아 래 -

주관과제명	협동과제명	연구수행기간	과제책임자		변경사유
			변경전	변경후	
무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기정화기술 개발	(제1협동) 무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취유출방지 필터링 기술 개발	2012.02.01. ~2016.12.31(5년)	박규현	황옥화	연구책임자 이직
무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기정화기술 개발	(제2협동) 무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기시스템 기술개발	2012.02.01. ~2016.12.31(5년)	박규현	황옥화	연구책임자 이직

- 붙임 : 1. 협약변경 승인요청서(제1협동) 1부.
2. 협약변경 승인요청서(제2협동) 1부.글.

미 름 이 씨 오 주 식 회 사 대 표 장 동 룡



信賴와 技術로 보답하는 기업

미릉ECO (주)

3.

기획조정과-1346(2015.3.2)

첨부3.0. 국민과의 약속



국립축산과학원



수신 미륭이씨오(주)(장동룡 대표)

(경유)

제목 2015년 농촌진흥청 공동연구사업 재협약 승인 알림(장동룡)

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 2014년 어젠다 연구과제 평가결과에 대한 제재조치(연구운영과-933, 2015.2.23.),
농촌진흥청 농업과학기술 연구개발사업 운영규정(훈령 제1028호)과 관련됩니다.

3. 2014년 연구과제 평가결과에 대한 조치로 아래와 같이 과제를 조정하는 내용의
재협약을 승인하오니 과제책임자는 과제수행에 만전을 기하여 주시기 바랍니다.

○ 2014년 평가결과 조치사항 : 제2협동과제 중단

○ 과제변경 및 재협약 내용

구 분	변경 전			변경 후		
	과제명	책임자	'15년 연구비 (백만원)	과제명	책임자	'15년 연구비 (백만원)
주 관	무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기정화기술 개발	장동룡 (미륭이씨오)	200	무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기정화기술 개발	장동룡 (미륭이씨오)	150
1 세 부	무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발	장동룡 (미륭이씨오)	100	무창축사 내·외부 환기시스템 개선 및 공기 정화기술 개발	장동룡 (미륭이씨오)	100
1 협 동	무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 악취 유출방지 필터링 기술 개발	황록화 (축산원)	50	무창축사 외부 오염공기 유입 및 내부 냄새 유출방지 필터링 기술 개발	황록화 (축산원)	50
2 협 동	무창돈사 및 무창계사 내부 분뇨 유래 가스제거 환기 시스템 기술 개발	황록화 (축산원)	50	조기 종결		

끌.



국립 출산과학원장

농업연구사

농업연구관 **한국화**

★기획조정과 전결 2015. 3. 24.
과장 류성렬

創立社

시행 기획조경과-1346 (2015. 3. 24.) 절승

국립환경과학원 주소: 경기도 안성시 화천로 1500 / 웹사이트: www.nies.go.kr

전화번호 063-238-7127 팩스번호 063-238-7148 /kwchang@kda.go.kr / 대구미 공개

제품의 개발과 국수를 원하시는 늘고 생활을 편리해집니다

제 13 장 참고문헌

- Artemov, A.V., Bulba, V.A., Voshchinin, S.A., Krutyakov, Y.A., Kudrinskii, A.A., Ostryi, I.I., Pereslavtsev, A.V., 2012. Catalytic Transformations of Gaseous Products of Plasma Treatment of Solid Wastes and Hydrocarbon Raw Materials. Russ J Gen Chem. 82, 791–800.
- Costa, T.M.H., Gallas, M.R. Benvenutti, E.V. Da Jornada J.A.H., 1999. Study of nanocrystalline γ -Al₂O₃ produced by high-pressure compaction. J. Phys. Chem. B 1999, 103, 4278–4284.
- Gandhi, M.S., Mok, Y.S., 2012. Decomposition of trifluoromethane in a dielectric barrier discharge non-thermal plasma reactor. J Environ Sci. 24, 1234–1239.
- Hamelmann, F., Heinzmann, U., Szekeres, A., Kirov, N., Nikolova, N., 2005. Deposition of silicon oxide thin films in TEOS with addition of Oxygen to the plasma ambient: IR spectra analysis. J Optoelectron Adv M. 7, 389–392.
- Hensel, K., Martisovits, V., Machala, Z., Janda, M., Lestinsky, M., Tardiveau, P., Mizuno, A., 2007. Electrical and optical properties of AC microdischarges in porous ceramics, Plasma Process. Polym. 4, 682–693.
- Kim, H.H., Ogata, A., Futamura, S., 2008. Oxygen partial pressure-dependent behavior of various catalysts for the total oxidation of VOCs using cycled system of adsorption and oxygen plasma. Appl Catal B-Environ. 79, 356–367.
- Kusic, H., Koprivanac, N., Locke, B.R., 2005. Decomposition of phenol by hybrid gas/liquid electrical discharge reactors with zeolite catalysts. J Hazard Mater. 125, 190–200.
- Liao, W.T., Wei, T.C., Hsieh, L.T., Tsai, C.H., Shih, M., 2005. Reaction mechanism of ethylene oxide at various oxygen/ethylene oxide ratios in an RF cold plasma environment. Aerosol Air Qual Res. 5, 185–203.
- Miranda, B., Diaz, E., Ordonez, S., Vega, A., Diez, F.V., 2007. Oxidation of trichloroethene over metal oxide catalysts: Kinetic studies and correlation with adsorption properties. Chemosphere. 66, 1706–1715.
- Roland, U., Holzer, F., Kopinke, F.D., 2005. Combination of non-thermal plasma and heterogeneous catalysis for oxidation of volatile organic compounds Part 2. Ozone decomposition and deactivation of α -Al₂O₃. Appl Catal B-Environ. 58, 217–226.
- Song, Y.H., Kim, S.J., Choi, K.I., Yamamoto, T., 2002. Effects of adsorption and temperature on a non-thermal plasma process for removing VOCs. J Electrostat. 55, 189–201.
- Vandenbroucke, A. M., Morent, R., Geyter, N. D., Leys, C., 2011. Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement. J. Hazard. Mater. 195, 30–54.

- Wang, T., Lu, N., Li, J., Wu, Y., Su, Y., 2011. Enhanced degradation of P-nitrophenol in soil in a pulsed discharge plasma-catalytic system. *J Hazard Mater.* 195, 276– 280.
- 국립축산과학원. 2012. 국립축산과학원 시험연구보고서.
- 국립축산과학원. 2015. 양돈장 냄새저감 기술 및 우수사례.
- 남기홍. 2004. 세 가지 서로 다른 화학제재를 깔짚에 첨가 시 육계 생선성, 계사 내 암모니아와 이산화탄소 가스 발생에 미치는 영향. *한국가금학회지.* 31(4):213-219.
- 농림축산식품부. 2014. 지속가능한 친환경 축산 종합대책.
- 농림축산식품부. 2015. 가축분뇨발생량 통계자료.
- 농림축산식품부. 2016. 농림축산식품부 시행지침.
- 송준익, 전중환, 박규현, 유용희, 김두환. 2011. 이산화염소 가스분무에 의한 양돈장 악취저감 효과. *축산시설환경학회지.* 17:43-50.
- 송준익, 전중환, 이준엽, 박규현, 조성백, 황옥화, 김두환. 2012. 이산화염소 가스분무에 의한 퇴비장 악취저감 효과. *축산시설환경학회지.* 18:1-6.
- 오제범, 2015. 악취방지법의 이해 및 양돈시설 악취관리방안. 제4차 축산냄새 해결방안 마련을 위한 포럼.
- 장영기, 정봉진, 김정, 송기봉, 김호정, 유용희. 2010. 축산시설의 축종별 악취물질 농도 특성과 악취도 평가. *환경영향평가.* 19(1):29-38.
- 환경부. 2011. 가축사육 제한구역 지정기준 권고안.
- 환경부. 2012. 악취방지법.
- Artemov, A.V., Bulba, V.A., Voshchinin, S.A., Krutyakov, Y.A., Kudrinskii, A.A., Ostryi, I.I., Pereslavtsev, A.V., 2012. Catalytic Transformations of Gaseous Products of Plasma Treatment of Solid Wastes and Hydrocarbon Raw Materials. *Russ J Gen Chem.* 82, 791-800.
- Barber, K.S., Graser, T.J., Jernigan, S.R., McGiverin, B.J., Ramaswamy, S. 1998. Enterprise-wide requirements reuse and evolution using the systems engineering process activities methodology(SEPA). *AJIS* special edition.
- Barber SD. 1998. Analysis and prevention of usable fiber loss from a fine paper mill. PhD Thesis. Virginia Tech.
- Cooke GD, Welch EB, Peterson SA, Newroth PR. 1986. Lake and reservoir restoration. Butterworths, Ann Arbor Science Book. Boston, MA, USA.
- Costa, T.M.H., Gallas, M.R. Benvenutti, E.V. Da Jornada J.A.H., 1999. Study of nanocrystalline γ - Al_2O_3 produced by high-pressure compaction. *J. Phys. Chem. B* 1999, 103, 4278-4284.
- DeLaune PB, Moore Jr. PA, Daniel TC, Lemunyon JL. 2004. Effect of chemical and microbial amendments on ammonia volatilization from composting poultry litter. *Journal of Environmental Quality* 33:728-734.
- Gandhi, M.S., Mok, Y.S., 2012. Decomposition of trifluoromethane in a dielectric barrier discharges non-thermal plasma reactor. *J Environ Sci.* 24, 1234-1239.
- Hamelmann, F., Heinzmann, U., Szekeres, A., Kirov, N., Nikolova, N., 2005. Deposition of

- silicon oxide thin films in TEOS with addition of Oxygen to the plasma ambient: IR spectra analysis. *J Optoelectron Adv M.* 7, 389–392.
- Hensel, K., Martisovits, V., Machala, Z., Janda, M., Lestinsky, M., Tardiveau, P., Mizuno, A., 2007. Electrical and optical properties of AC microdischarges in porous ceramics, *Plasma Process. Polym.* 4, 682–693.
- Hobbs, J.P., Pain, B.F., Kay, R.M., Lee, P.A. 1996. Reduction of odorous compounds in fresh pig slurry by dietary control of crude protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 74:508–514.
- Hoff SJ, Dong L, Bundy DS, Xin H, Harmon J, Li X. 1997. Odor removal using biomass filters. In *Livestock Environment V. Proceedings of the Fifth International Symposium.* Vol. 1. ASAE. St. Joseph. MI. USA. pp.101–110.
- Hwang OK, Cho SB, Han DW, Lee SR, Kwag JH, Park SK. 2016. Effect of storage period on the changes of odorous compound concentrations and bacterial ecology for identifying the cause of odor production from pig slurry. *PLOS ONE.* 11(9):e0162714.
- Jacobson LD, Clanton CJ, Schmidt DR, Radman C, Nicolai RE, Fanni KA. 1997. Comparison of hydrogen sulfide and odor emissions from animal manure storages. *Proc. of Ammonia and Odour Emissions from Animal Production Facilities*, eds. JAM Voermans and G. Monteny. 405–412.
- Kim, H.H., Ogata, A., Futamura, S., 2008. Oxygen partial pressure-dependent behavior of various catalysts for the total oxidation of VOCs using cycled system of adsorption and oxygen plasma. *Appl Catal B-Environ.* 79, 356–367.
- Kusic, H., Koprivanac, N., Locke, B.R., 2005. Decomposition of phenol by hybrid gas/liquid electrical discharge reactors with zeolite catalysts. *J Hazard Mater.* 125, 190–200.
- Liao, W.T., Wei, T.C., Hsieh, L.T., Tsai, C.H., Shih, M., 2005. Reaction mechanism of ethylene oxide at various oxygen/ethylene oxide ratios in an RF cold plasma environment. *Aerosol Air Qual Res.* 5, 185–203.
- Miranda, B., Diaz, E., Ordonez, S., Vega, A., Diez, F.V., 2007. Oxidation of trichloroethene over metal oxide catalysts: Kinetic studies and correlation with adsorption properties. *Chemosphere.* 66, 1706–1715.
- Moore Jr PA, Daniel TC, Edward DR, Miller DM. 1995. Effects of chemical amendments on reduce ammonia volatilization from poultry litter. *Journal of Environmental Quality.* 24:293–300.
- Nakaue HS, Koelliker JK, Pierson ML. 1981. Studies with clinoptilolite in poultry. 2. Effect of feeding broilers and the direct application of clinoptilolite(zeolite) on clean and re-used broiler litter on broiler performance and house environment. *Poultry Science* 60:1221–1225.
- Nicolai RE, Clanton CJ, Janni KA. 2002. Ammonia removal and nitrogen accumulation in biofilter media. In *Proceedings of USC-TRG Conference on Biofiltration*, 119–129. Newport Beach, California. October 31–November 1.
- Parkhurst CR, Hamilton PB, Baughman GR. 1974. The use of volatile fatty acids for the control of microorganism in pine sawdust litter. *Poultry Science* 53:801–806.

- Roland, U., Holzer, F., Kopinke, F.D., 2005. Combination of non-thermal plasma and heterogeneous catalysis for oxidation of volatile organic compounds Part 2. Ozone decomposition and deactivation of α -Al₂O₃. *Appl Catal B-Environ.* 58, 217–226.
- Salito M. 2002. Air permitting issues for livestock waste management. In *Proceedings 2002 National Poultry Waste Management Symposium*. eds Patterson, P.H., Blake, J.P. and Roberson, K.D., Auburn University Printing Service. Auburn University, AL 36894, USA. pp. 153–159.
- Song, Y.H., Kim, S.J., Choi, K.I., Yamamoto, T., 2002. Effects of adsorption and temperature on a non-thermal plasma process for removing VOCs. *J Electrostat.* 55, 189–201.
- Spoelstra, S.F. Simple phenols and indoles in anaerobically stored piggery wastes. 1977. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 28:415–423.
- Sutton, A.L., Kephart, K.B., Verstegen, M.W., Canh, T.T., Hobbs, P.J. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *Journal of Animal Science.* 77:430–439.
- Vandenbroucke, A. M., Morent, R., Geyter, N. D., Leys, C., 2011. Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement. *J. Hazard. Mater.* 195, 30–54.
- Wang, T., Lu, N., Li, J., Wu, Y., Su, Y., 2011. Enhanced degradation of P-nitrophenol in soil in a pulsed discharge plasma-catalytic system. *J Hazard Mater.* 195, 276– 280.
- Williams, A.G., Evans, M.R. 1981. Storage of piggery slurry. *Agricultural Wastes.* 3:11–321.
- Zahn, J.A., DiSpirito, A.A., Do, Y.S., Brooks, B.E., Cooper, E.E., Hatfield, J.L. 2001. Correlation of human olfactory responses to airborne concentrations of malodorous volatile organic compounds emitted from swine effluent. *Journal of Environmental Quality.* 30:624–634.

주 의

1. 이 보고서는 농촌진흥청에서 시행한 「친환경 안전 농축산물 생산 기술개발 사업」의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농촌진흥청에서 시행한 「친환경 안전 농축산물 생산 기술개발 사업」의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.