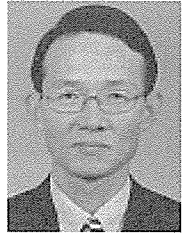


Plasma 살균 탈취 플랜트

최현구 | 플라즈마에너지자원(주) 연구소장
 해외 고급인력 초빙 과학자
 에너지 관리공단 전기분과 평가 전문위원
 환경부 폐기물 소각 전문위원



1. 머리말

2005년 2월 악취방지법(제정 2004. 2. 9 법률 제 7170호)이 발효됨에 따라 우리나라도 그 동안 민원 차원에서 문제제기에 그쳤던 생활 및 산업에서 발생하는 각종 악취(공해물질 포함)방지대책이 새로운 전환점을 맞이하게 되었다. 이를 계기로 환경부도 기존의 “악취방지” 대책을 강화하는 동시에 쾌적한 국토환경을 형성하기 위한 정책을 본격적으로 시작하는 해로 평가하고 여러 가지 대책을 수립·실시하고 있다.

악취방지법 제2조에 의하면 “악취”라 함은 “황화수소·메르캅탄류·아민류 그 밖에 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새를 말한다”라고 정의하고 있다. 이를 부연하여 말하면 생활환경을 둘러싼 여러 가지 종류의 냄새 가운데 사람에게 불쾌감을 주는 경우에 따라서는 구토나 두통 등 인체의 생리적인 영향을 미쳐 생활환경을 해치는 냄새를 「악취」라고 부른다.

최근 우리나라도 웰빙 문화가 점차 보편화되면서 생활 환경에서 쾌적성(Amenity)을 추구하는 경향이 점차 확

대되고 있는데 「냄새」도 이를 구성하는 하나의 요소로 주목을 모으게 되었다. 그러나 냄새에 대한 사람의 느낌은 다양하기 때문에 냄새물질을 기기 등으로 계측하는 것만으로 파악한다는 것을 곤란하다. 왜냐하면 냄새와 함께 떠올리는 개인의 기억이 여러 가지로 교차함으로 종합적으로 판단하여야 하기 때문이다. 이것이 바로 개인에 의한 경험차이가 냄새에 대한 선호도 의 차이로 나타나는 가장 큰 이유인 것이다.

이러한 냄새의 특징을 고려할 때 우리들의 생활을 더욱 쾌적하게 하기 위해 우선 “불쾌한 냄새(악취)”를 줄일 수 있는 상황을 만들어 쾌적한 생활을 즐길 수 있는 환경을 보전 및 창출해 나가는 것이 중요하다고 할 수 있다.

환경부에서는 지금까지 주변 생활환경에서 악취를 줄이기 위해 많은 노력을 해왔으며 악취방지법의 제정으로 국민생활 환경 개선의 실현에 박차를 가하고 있다. 이를 구체적으로 살펴보면 지정악취물질의 공고와 이를 배출하는 사업장을 명시화하고, 나아가 국민생활환경을 개선하기위하여 악취관리지역을 국가산업공단과 지방산업공단(지방자치단체 위임)으로 구분/지정하여 악취방지 대책을 더욱 강화하고 있는 실정이다.

2. 환경부 지정악취물질과 악취의 규제기준

악취방지법에 의한 지정악취물질과 그 규제기준을 살펴보면 다음과 같다.

지정악취물질(제2조 관련)

종류	적용시기
1. 암모니아 2. 메틸머캅탄 3. 황화수소 4. 다이메틸설파이드 5. 다이메틸다이설파이드 6. 트라이메틸아민 7. 아세트알데하이드 8. 스타이렌 9. 프로피온알데하이드 10. 뷰티르알데하이드 11. n-발레르알데하이드 12. i-발레르알데하이드	2005년 2월 10일 부터
13. 톨루엔 14. 자일렌 15. 메틸에틸케톤 16. 메틸아이스뷰티르케톤 17. 뷰티르아세테이트	2008년 1월 1일 부터
18. 프로피온산 19. n-뷰티르산 20. n-발레르산 21. i-발레르산 22. i-뷰티르알코올	2010년 1월 1일 부터

배출허용기준 및 엄격한 배출허용기준의 설정범위

(제8조제1항관련)

2-1. 복합악취

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

2-2. 지정악취물질

구분	배출허용기준(ppm)		엄격한 배출허용 기준의 범위(ppm)
	공업지역	기타지역	공업지역
1. 암모니아	2 이하	1 이하	1~2
2. 메틸머캅탄	0.004 이하	0.002 이하	0.002~0.004
3. 황화수소	0.06 이하	0.02 이하	0.02~0.06
4. 다이메틸설파이드	0.05 이하	0.01 이하	0.01~0.05
5. 다이메틸다이설파이드	0.03 이하	0.009 이하	0.009~0.03
6. 트라이메틸아민	0.02 이하	0.005 이하	0.005~0.02
7. 아세트알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05~0.1
8. 스타이렌	0.8 이하	0.4 이하	0.4~0.8
9. 프로피온알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05~0.1
10. 뷰티르알데하이드	0.1 이하	0.029 이하	0.029~0.1
11. n-발레르알데하이드	0.02 이하	0.009 이하	0.009~0.02
12. i-발레르알데하이드	0.006 이하	0.003 이하	0.003~0.006

비고

1. “복합악취”라 함은 두 가지 이상의 악취물질이 복합적으로 존재하면서 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새를 말한다.

3. 악취방지기술 현황

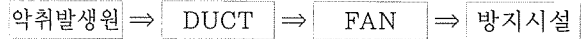
악취 및 VOCs 제거기술은 크게 흡착법 등 물리적 처리기술, 세정법 등 화학적 처리기술 그리고 바이오 필터 등 생물학적 처리기술 등으로 대별되고 있다. 이들 기술은 사업장에서 발생하는 악취의 특성 및 발생량 등 현장 여건에 따라 선택적으로 사용되고 있는데 그 성능과 특징 등을 표로서 정리하면 다음과 같다.

3-1. 악취발생과 제어기술

악취발생	암모니아	메틸머캅탄	황화수소
제어기술	O ₃ 산화법	O ₃ 산화법	약액세정법
	약액세정법	흡착처리법	흡착처리법
	흡착처리법	미생물처리법	미생물처리법
	미생물처리법		

악취발생	이황화메틸	트라메틸아민	아세트알데히드
제어기술	약액세정법	약액세정법	O ₃ 산화법
	흡착처리법	흡착처리법	미생물처리법
	미생물처리법	미생물처리법	

3-2. 악취제어 FLOW



3-3. 악취처리방법과 특성

처리방법	성능	특징	문제점	대상악취	비고	
연소법	직접 연소법	조건설정이 적절하면 고성능을 발휘한다.	악취성분은 CO ₂ 와 H ₂ O로까지 분해한다.	운전관리에 소홀하면 NOx를 발생시킨다.	모든 가연성 악취	거의 모든 분야에 적용되고 제거능력이 우수하다.
	촉매 연소법	촉매 피독을 일으키지 않는 GAS에 고성능을 발휘한다.	처리GAS는 고온이기 때문에 대기확산성이 크다.	촉매가 고가이며 촉매 성능이 시간의 경과에 따라 성능이 저하된다.	촉매 피독물을 함유하지 않은 가연성 악취	촉매 연소는 2차 공해가 없다. 흡착법에 비하여 촉매 수명이 길다.
흡착법	활성탄법	가장 일반적이고 보편적이다.	고농도의 악취 제거에는 부적합하다.	활성탄으로 흡착되는 악취	흡착제에 따라 탈취력이 틀려짐	
미생물법	바이오필터	2차 오염물질이 없다.	설치면적이 크다. 보온이 필요하다.	거의 모든 악취	거의 모든 분야에 적용되고 제거능력이 우수하다.	
세정법	수세법	설치가 간단하고 운전 비용이 저렴하다.	적용 범위가 좁다.	도시 하수 분뇨 식품 가공 등 관련 악취	폐수가 발생한다.	
	약액세정법	수세법에 의해 적용 범위가 넓고 고성능이다.	복합취기의 처리가 곤란하며 약액에 의한 부식방지대책이 필요하다.	탄화 수소계 이외의 단순악취	폐수가 발생한다.	
화학산화 분해법	오존산화법	안전 관리비가 저렴하고 대용량의 GAS 제거에 고성능을 발휘한다.	오존 단독으로는 적용 범위가 적고 성능이 불충분하다.	탄화 수소계 이외의 단순악취	타설비의 후처리 설비로 좋다.	

4. 악취방지 신기술 개요

4-1. 개요

당사가 개발한 악취방지 처리기술은 기체상태인 각종 악취물질을 위에서 언급한 개별적인 처리기술과는 확연히 차별화된 플라즈마 아크를 이용하여 악취물질을 제거하

는 신기술로서 플라즈마 아크 + O₃ 산화법 + 광촉매를 결합하여 완성한 기술이다. 즉, 플라즈마 아크기술과 광촉매 화학기술 및 O₃ 화학기술의 장점만을 결합하여 1차적으로 인체에 유해한 악취물질을 제거하고, 오존보다 10배 더 강력한 살균력을 가진 OH라디칼을 포함하는 다양한 산화원자, 분자, 이온을 발생시켜 각종 휘발성 유기화합물(VOCs), 악취원(냄새유발물질), 세균 및 잔유 악

취물질을 최단 시간내 실시간으로 산화분해 연소시키는 방식이다.

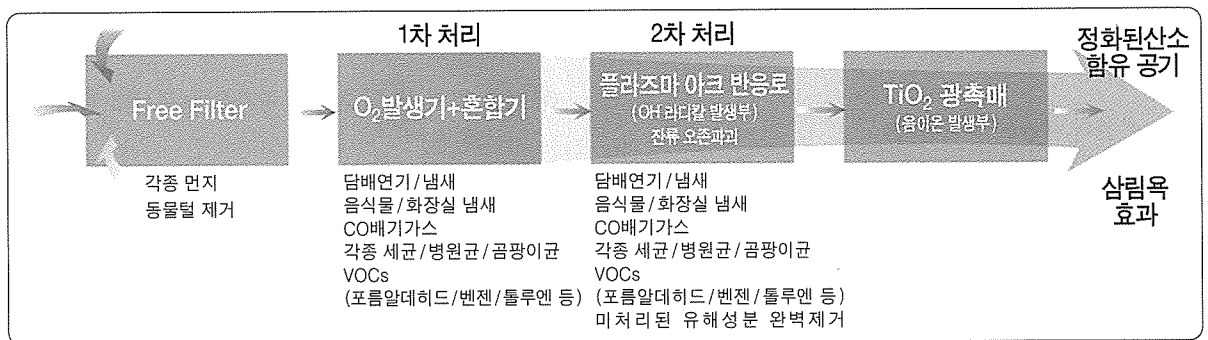
여기에서 말하는 플라즈마 아크(Plasma Arc)란

- ① 소뿔형의 두개 이상의 전극사이에 고전압, 저전류를 통과시킬 때, 전극 사이에서 주기적으로 슬라이딩하면서 발생하는 아크 불꽃 방전이며
- ② 고온의 플라즈마 아크 특성과 저온의 플라즈마 아크 특성을 동시에 가지고 있어 필요한 라디칼, 이온, 원

자, 전자를 쉽게 얻을 수 있는 장치로서

- ③ 유해가스를 직접 아크와 접촉 반응시켜도 전극 냉각이 필요 없고, 전극소모가 거의 없으며 플라즈마 아크 반응온도를 용이하게 조절할 수 있는 기술적 특징을 가지고 있다.

이러한 기술에 따른 악취방지 시스템의 처리공정을 간단히 도시하면 아래와 같다.



4-2. 개발제품의 공인기관 테스트 시험성적서

가. 한국기계연구원 시험성적서

(성적서 번호 : 2005254821)

① 시험목적

한국공기청정기 협회 규격(KACA-1998-01, 실내용 공기청정기)에 의하여 공기청정기의 탈취효율을 시험하는데 있다.

② 시험대상품 및 시험장비 구성

- 시험대상품 : 플라즈마에너지자원 공기청정기 1종 1대
PERI-AIR20 모델(1대)
- 시험장비 구성 : 탈취시험 챔버(4.07m³), 가스발생장치 등
- 시험대상 가스 : 암모니아(NH₃), 아세트알데히드(CH₃CHO), 초산(CH₃COOH)

③ 시험방법 및 절차

- 시험조건 : 본 시험의 온도와 상대습도에 대한 시험조건은 표1에 나타나 있다.

〈표 1 시험조건〉

항목	PERI-AIR20	
	온도(℃)	상대습도(%)
탈취시험	26	60

- 탈취시험 : 본 시험은 한국공기청정기 협회 규격(KACA-1998-01 규격)부록2의 1~5항의 절차에 따라 챔버내에 암모니아(NH₃), 아세트알데히드(CH₃CHO), 초산(CH₃COOH)을 각각 10~13ppm 범위내의 농도를 공급한 후의 초기가스농도를 측정하고 시험체를 정격풍량으로 30분간 운전시킨 후의 잔류가스농도를 측정한다.

④ 시험결과

- 탈취시험 : 각 가스에 대한 제거율은 암모니아 100%, 아세트알데히드 50%, 초산 80% 이다. 모델에 대한 탈취효율은 70%이며, 다음의 공식으로 산출한다.

$$\eta_t = \frac{\eta_1 + 2\eta_2 + \eta_3}{4}$$

- η_t = 탈취효율 (%)
- η_1 = 암모니아제거율 (%)
- η_2 = 아세트알데히드 제거율 (%)
- η_3 = 초산제거율 (%)

나. 부산대 시험성적서(잠정)

① 대상물질 및 실험방법

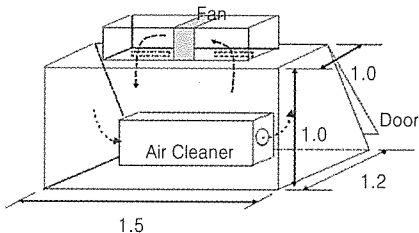
- 대상물질
- 탈취효율 : Hydrogen sulfide, methylmercaptan, toluen

- 항균실험 : 대기중 일반 미생물

○ 실험장치

- 탈취효율 : 외부와 차단된 chamber 내부에 공기청정기를 설치한 후, 각 대상악취를 공기중에 살포하고 시간경과에 따른 탈취효율을 측정하였음.
- 항균실험 : Chamber 내부에 미생물 배양용 plate를 설치한 후 공기청정기 운전 전, 후의 미생물 수를 측정함. Plate는 1시간 노출 후 48시간 배양(30℃)

〈그림. 실험장치 개략도〉



○ 실험조건 : 상대습도 60%, 온도 20℃

○ 악취농도 분석

- toluene : VOC analyzer

- 그 외 : 검지관

○ 각 악취성분의 제거율 $\eta(\%)$ 의 산출은 다음의 식에 의함.

$$\eta = (1 - \frac{C}{C_0}) \times 100$$

C_0 : 초기가스농도(ppmv),

C : 잔존 가스농도(ppmv)

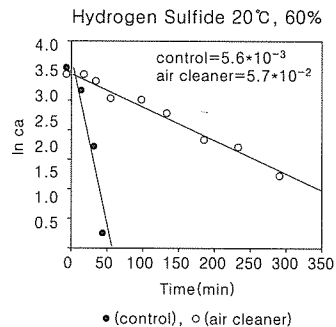
② 제품 탈취 및 항균성능 평가결과(부산대 화학공학과 실험실)

7. 탈취성능 평가

(1) Hydrogen sulfide

Control		Air cleaner	
Time (min)	Conc. (ppmv)	Time (min)	Conc. (ppmv)
0	28	0	35
10	27	11	31
28	26	22	24
61	21	44	9
95	18	57	2.5
134	15		
190	10		
213	9		
293	6		

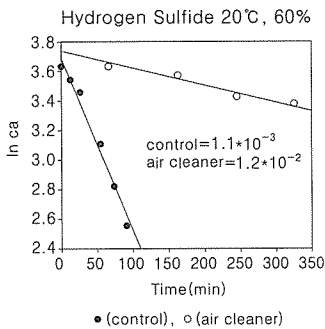
※탈취효율 : 57분 운전시, 약 93%



(2) Methylmercaptan

Control		Air cleaner	
Time (min)	Conc. (ppmv)	Time (min)	Conc. (ppmv)
0	42	0	38
67	38	13	35
165	35	25	32
252	31	55	22
332	29	73	17
		95	13

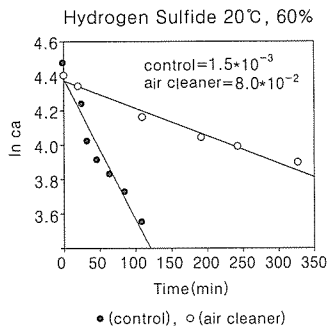
※탈취효율 : 95분 운전시, 약 66%



(3) Toluene

Control		Air cleaner	
Time (min)	Conc. (ppmv)	Time (min)	Conc. (ppmv)
0	84	0	90
14	81	21	74
57	77	33	62
97	70	44	56
165	62	57	52
210	60	73	48
284	55	94	42

※탈취효율 : 94분 운전시, 약 53%

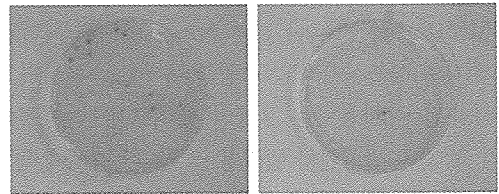


ㄴ. 항균성능 평가

구분	공기청정기 off	공기청정기 on	제거율 (%)
미생물 수(cfu*)	22	1	95

*cfu : Colony Forming Unit

〈그림. 미생물 배양 사진〉

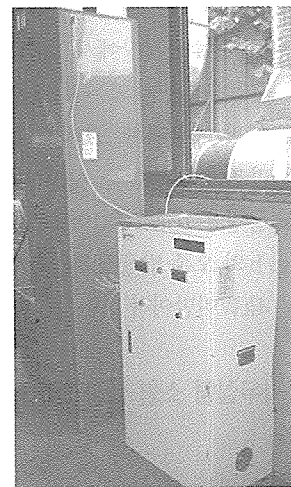


〈공기청정기 off〉

〈공기청정기 on〉

5. 플라즈마 탈취 살균 플랜트 설비 적용사례

가. 서울시 가락동 소재 농수산물 시장(강동기업)에 설치된 플라즈마 탈취 살균 플랜트 설비



〈그림. 강동기업 설치 실증플랜트(반응로 및 콘트롤) 사진〉

(1) 생선포장용 페스티로폼 처리공정

서울시 가락동 소재 수산시장에서 발생하는 생선포장용 페스티로폼을 처리하는 압출기(Expanded Poly-

styrene extruder) 2기에서 200~250℃로 가열 압출할 때 발생하는 유독성 악취가스(styrene 증기) 및 스팀 처리를 위한 산업용 플라즈마 탈취살균장치가 설치·가동되었다. 일일 6~10시간 조업으로 40일 연속 가동(300시간)하는 동안 작업 첫날부터 종래에 문제되었던 악취에 의한 민원문제를 완전 해결했다. 처리 가스량은 18 CMM(cubic meter per minute)이고 처리된 가스는 외부로 배출시키지 않고 공장 내부로 순환시키고 있다. 사용된 장치용량은 3기의 플라즈마 발생장치와 15g/h의 오존 발생기와 별집형 알루미늄 담체에 광촉매 코팅을 한 광촉매층을 사용했다. 사용된 전력 소비량은 880W였다. 잔류 오존 냄새는 감지되지 않았고 농도는 0.03ppm이하로 추정되었다. 플라즈마 반응로 내부 가스 체류시간은 최소 1초였고 전체 덕터 라인 내 체류시간은 약 3~5 초였다.

(2) 생선 부산물 처리공정

서울시 가락동 소재 수산시장에서 발생하는 생선 부산물을 처리하는 공정에서 발생하는 다양한 악취(암모니아, 이황화수소, 메틸 메르캅탄, 트리메틸아민 등)를 제거할 수 있는 플라즈마 탈취살균 시스템을 공급하였다. 동 시스템의 처리용량은 100CCM이고 16개의 플라즈마 발생장치와 60g/h의 오존 발생장치가 사용되었으며, 총 에너지 사용량은 4kW미만이다.

나. 가정 및 사무실형 소형 플라즈마 탈취살균정화기

(1) 새로 입주한 아파트 설치사례

서울시 대치동 소재 43평형, 목동 소재 60평형, 성수동 소재 33평형 등 다양한 면적의 새로 입주하는 아파트에 소형 플라즈마 탈취살균정화기를 설치하여 새로 입주시 발생하는 각종 유해 VOCs, 포르말린, 가구냄새 등을

정화하였다. 또한 각종 요리냄새, 담배연기 제거에도 탁월한 효과를 보였다.

(2) 새로 인테리어한 사무실 설치사례

서울시 남대문로 소재 관공서 사무실에 소형 플라즈마 탈취살균정화기를 설치하여 새로 인테리어 하는 과정에서 발생하는 각종 유해 VOCs, 포르말린, 가구냄새 등을 정화하였다.

6. 맺음말

1) 플라즈마 산화 방식에 의한 본 페리 플라즈마 탈취 살균 시스템을 유해 악취 가스 발생 산업 현장에 적용 시 기존 활성탄 흡착식, 또는 소각식 대비 경제적이고 효율적인 탈취 효율을 기대할 수 있다.

2) 각종 오염(유기, 무기성)가스가 포함된 공기는 플라즈마 아크에 의해 생성된 전자, 이온, 활성 원자, 분자, 자외선, OH 라디칼을 포함한 활성입자(active species)에 의해 탈취, 살균되어 인체에 무해한 신선한 공기로 전환된다.

3) 오존은 상온에서 반응성이 낮지만 광촉매로 코팅된 플라즈마 아크 반응로에서 순간적으로 산화력이 강한 활성 산소 및 OH 라디칼로 전환되면서 고효율의 탈취, 살균 효과를 낸다. 95% 이상의 살균효과를 얻었음.

4) 탈취 살균하는데 기계적 필터를 사용함이 없이도 오존, 플라즈마에서 형성된 활성입자와 오직 저온의 촉매 화학반응에 의해서만 이루어지기 때문에 장비의 소형화 및 에너지 절감 등으로 경제적인 이점이 크다.

5) OH 라디칼(radical)을 발생시키는 수단으로 별도의 자외선 발생 램프를 사용하지 않아도 된다.

6) 플라즈마 발생장치 구조가 단순하고 운전 조작이 용이하며 동시에 전극소모가 거의 없어 유지보수비가 매우 저렴하다.

7) 잔류오존은 플라즈마 아크 반응로에서 순간적으로 파괴시킬 수 있기 때문에 전처리 오존 처리 농도를 최대한 높여도 배출가스 잔류오존 농도를 안전 규제치 훨씬 이하로 쉽게 조절할 수 있다.

8) 플라즈마 아크 반응로를 나온 미량의 잔류오존 및 질소산화물(NOx)은 복합 활성탄 촉매필터를 거치면서 잔류 오염가스를 제거한 뒤 산소로 전환되어 처리 정화된 가스는 순환해서 사용 할 수 있기 때문에 에너지 절약과 대기 오염방지를 동시에 할 수 있다.

※ 결론적으로 다음과 같은 환경적, 기술적, 경제적 기대 효과가 예상된다.

(1) 환경적 효과

- 악취물질 및 VOCs, 유해세균의 효율적인 제거로 주거환경 및 작업환경 개선
- 악취 및 VOCs 배출량 감소로 2차 대기오염 물

질의 생성 차단

- 기기 자체의 부피가 작아 특별한 설치 공간이 필요치 않으며, 대기질 개선의 극대화
- 본 기술의 상용화를 통해 악취 및 VOC 발생지역에 대한 기술적 대안 제시

(2) 기술적 효과

- 본 기술을 기반 기술로 폐수 등의 수처리, 토양복원, 대규모 공기정화 등 다양한 환경기술 분야에 확대
- 국내·외적으로 강화되는 악취 및 VOCs 배출규제에 대한 적극적 대처
- 상온, 상압 처리 기술이기 때문에 경제적 처리 가능

(3) 경제적 효과

- 설비의 소형화로 설치면적 적게 소요
- 낮은 에너지 소모 및 유지관리의 용이성에 따른 경제적 이익

문의사항 :

TEL : (02)3282-3532

H · P : 016-871-0210(최현구 연구소장)

E-Mail: hkchoi@plasma21.com

「월간 '환경기술인」

- 구독방법 : 무통장 입금 기본(지로용지 납부 가능)
- 구독료 : 6만원(1년)
- 구입문의 : (02)852-2291(연합회 사무국)