

환경친화형 농촌화장실의 적용가능성 평가 연구

강방훈 · 조순재 · 김상범 · 김혜민

농업과학기술원 농촌생활연구소

Evaluation of Application possibility of Environment-friendly Rural Toilet

Kang, Bang-Hun · Cho, Soon-Jae · Kim, Sang-Bum · Kim, Hye-Min

National Rural Living Science Institute, NIASI

ABSTRACT : This study was conducted to evaluate the application possibility of environment-friendly rural toilet developed by NRLSI (National Rural Living Science Institute). The evaluation tests of rural toilet consist of composting efficiency, component analysis of odor, and economic efficiency. The test showed that the remaining quantity of wastes was only 14.7% during 10 months. The ammonium gas, main component of ill oder, was not measured, and the other components of oder were significantly detected less than those in pit toilet. The saved PVC (Present Value Cost) of the toilet management cost for thirty years is about 2,457,000 wons compared with flushing toilet supported by a single sanitation facility.

Key words : Application, Environment-friendly rural toilet, Evaluation

1. 서론

농촌가구의 화장실유형은 수세식 56.4%, 재래식 36.0%, 개량식 7.2%, 기타 0.3%로 되어있으며, 여기서 개량식은 2, 3조식 푸세식과 포말세척식 등을 포함한다(농촌생활연구소, 2002). 수세식화장실의 보급률이 증가되고 있는 실정이지만 농촌지역에서 집밖까지 지하처리되지 않은 경우가 42.6%(농촌생활연구소, 2002)에 달해 화장실 오수에 의한 수질오염의 위험성이 크며, 지난 200년동안 공중위생을 개선한 획기적 발명품으로 인식되어온 수세식 화장실이 최근에는 생태계 파괴에 일조를 한 최악의 발명품이라는 비판을 받고 있어(최수명과 윤광식, 2002), 이로 인한 농촌지역의 수질오염은 점점 심화될 우려가 있어 대책 마련이 시급한 실정이다.

이러한 농촌지역의 수질오염 경감을 위해 미국, 캐나다 등 북미지역은 물론이고 유럽과 아시아 여러 나라에서는 대책마련의 하나로 자연발효형 퇴비화 화장실을 설치하여 용수 및 동력절약 뿐만 아니라 환경오염 저감에 크게 기여하고 있다(Riggle, 1996, 윤광식 등,

2000). 자연발효형 퇴비화 화장실은 호기성 방식을 사용함으로써 악취 제거는 물론이고, 퇴비화를 통해 분뇨의 부피가 감소되어 유지관리에 대한 부담이 적은 장점을 가지고 있다. 일반 수세식 화장실처럼 용수가 필요하지 않고, 인체고형 폐기물의 95%가 수분과 이산화탄소로 분해되어 배기구를 통해 대기중으로 증발, 방출되고 약 5% 만이 무해한 토양 구성물질로 변성되는 현장처리시스템으로 평가받고 있다(한국 클리버스, 1998).

농촌화장실 이용실태 및 수요조사(조순재, 2000)에 의하면 재래수거식 화장실의 문제점으로 냄새 73.6%, 불결 63.8%, 해충 60.9%를 들고 있다. 이러한 문제점 해결을 위해 화장실 개량이 필요하며 농촌지역의 특성에 맞게 농촌환경의 오염방지와 농촌의 화장실 문화개선을 도모할 수 있는 환경친화형 화장실 개량 요구가 89.1%로 나타났다.

이러한 요구에 부응하여 농촌생활연구소에서는 자연발효 원리를 이용한 화장실 7개유형을 개발하여 환경친화형 농촌화장실이라 명명하였다(조순재, 2000). 본 연구에서는 개발된 환경친화형 농촌화장실의 조기 실용화를 위해 적용가능성 평가와 이용후 만족도평가를 실시하여 환경친화형 화장실의 적용가능성을 검증하고, 이를 통해 화장실 방류수로 인한 농촌지역의 수질 및

Corresponding author : Kang, Bang-Hun
Tel : 031-299-0513
E-mail : ipmkbh@rda.go.kr

토양오염을 예방하고 깨끗하고 쾌적한 화장실 환경을 조성하여 농촌 삶의 질을 향상하기 위해 본 연구를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 환경친화형 농촌화장실 적용가능성 분석

환경친화형 농촌화장실의 적용가능성 평가는 농촌생활연구소(조순재, 2000)에서 개발된 모델<그림 1>을 사용하여 분뇨발효상태 실측, 냄새발생 및 성분분석, 경비절감효과에 대한 경제성 분석을 실시하였다.

가. 분뇨발효성능을 알아보기 위해 분뇨발효상태 관찰과 고형물 잔류량 실측을 수행하였다. 분뇨투입기간은 2000. 8. 21~11. 21일까지이고, 마지막 사용후 1주일일이 경과한 2000. 11. 26일 1차 조사를 하였고, 2001. 8. 5일 2차 조사를 실시하였다.

나. 화장실의 냄새발생은 환경친화형화장실 농가(경기도 화성군 서신면 전곡리 홍사역)와 재래 수거식화장실 농가(경기도 화성군 서신면 전곡리 홍의강) 각 1개소의 대변실 변기구에 암모니아 간이측정기(TG-2400 KA, Bionics Instrument Co.)를 설치하여 2001. 4. 26~7. 21일까지 총 18회 암모니아 발생량을 측정하였다. 또한 후각에 의한 관능검사를 2001. 7. 26~27일 4명을 대상으로 3점 척도로 조사하였다. 냄새성분 분석은 활성탄 흡착방식의 가스포집기(HS-7, Komoto Electronic Co.)를 이용하여 환경친화형화장실 3개소와 재래 수거식화장실 3개소에서 2001. 7. 26~7. 28일까지 가스를 포집하여 GC 분석을 통하여 성분 분석을 수행하였다.

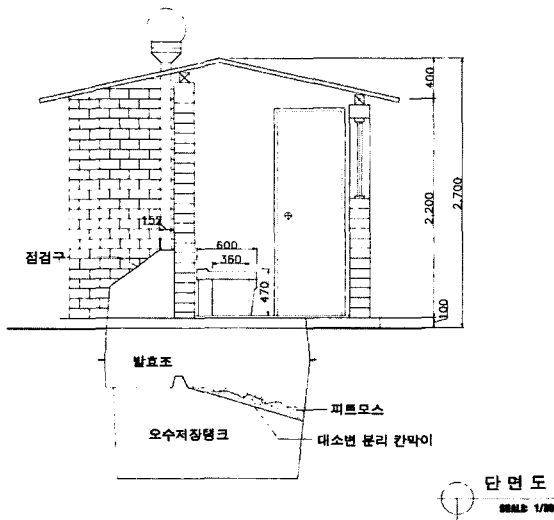


그림 1. 환경친화형 농촌화장실 단면도(조순재, 2000)

다. 환경친화형 농촌화장실의 경제성 분석은 내구연한 30년동안 운영비를 기준으로 하여 수세식화장실과의 PVC(Present Value Cost)를 비교 산출하였다. 사용된 수식은 아래와 같으며, 이때 적용된 할인율은 2, 5, 7% 수준이었다.

$$PVC = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

(T: 내구연한, t: 시간(연도), r: 할인율, Ct: 연간운영비)

2. 환경친화형 농촌화장실 시공능가의 이용 후 평가

2001년과 2002년 환경친화형 농촌화장실이 설치된 57호 농가주와 14개마을 대표를 대상으로 2001. 7. 10 ~ 2002. 11. 19 기간동안 면접설문조사를 통해 화장실구조 및 형태, 사용 및 관리현황, 시공방법 및 공사비, 이용 후 만족도, 기술적 문제 및 보완사항들을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 환경친화형 농촌화장실 적용가능성 분석

가. 분뇨발효성능 분석

분뇨발효상태 조사결과 고형잔류물은 분뇨투입후 약 10개월후인 2001. 8. 5일 14.7%가 잔량으로 남아있었다 <표 1>. 좀 더 많은 시간을 두고 관찰이 이루어졌다면 5% 만이 토양 구성물질로 변성된다는 결과(한국 클리버스, 1998)와 유사한 결과를 얻을 수 있을 것으로 추정되었다. 이를 통해 환경친화형 농촌화장실은 분뇨탱크에 산소와 통기성 매질을 공급하여 호기성 미생물에 의해 분뇨를 자연 분해시키는 자연발효화장실의 원리에 의해 효과적으로 작용하고 있는 것을 알 수 있다.

나. 화장실 냄새발생 및 냄새성분 분석

암모니아 간이측정기(TG-2400KA, Bionics Instrument Co.)를 이용하여 환경친화형화장실 모델농가와 재래 수거식화장실 농가에서 암모니아를 측정된 결과 환경친화형 농촌화장실에서 암모니아가 전혀 측정되지 않은

표 1. 분뇨투입 및 고형잔류물 증량 측정

분뇨투입 기간	분뇨 투입물량		고형물 잔류량	
	분뇨	매질	'00. 11. 26	'01. 8. 5
2000. 8. 21 ~11. 21	대변 34 kg 소변 146 l	통기성매질 1.5 kg(0.5×3회)	9.0 kg (26.5%)	5.0 kg (14.7%)

* 분뇨투입량 산출 : 대변량 500g × 사용회수, 소변량 200cc × 사용회수

반면, 재래 수거식화장실에서는 3.47~4.43ppm의 발생량을 보였다<표 2>. 또한 4명을 대상으로 후각에 의한 화장실 냄새 관능검사를 실시한 결과 재래식화장실은 2.6점, 환경친화형 화장실은 0점(무취)의 결과를 보였다<표 3>. 활성탄 흡착방식의 가스포집기(HS-7, Komoto Electronic Co.)를 이용하여 포집된 가스의 성분을 GC 분석한 결과 메틸아세테이트가 2.67ppm으로 소량 측정되었으나 이외 성분들은 사람이 관능적으로 감지하지 못하는 미량으로 발생함을 알 수 있다<표 4>.

다. 환경친화형 농촌화장실의 운영경비절감효과 분석

환경친화형 농촌화장실의 운영경비 절감효과를 알아보기 위하여 내구연한 30년동안 운영비를 기준으로 하여 수세식화장실과의 PVC를 비교한 결과(할인율 2% 적용) 단독정화조 수세식화장실보다 개소당 약 2,457천원의 비용절감 효과가 있었고, 하수처리 수세식화장실보다 개소당 약 615천원의 비용절감효과가 있었다<표 5, 6>.

표 2. 암모니아 발생조사(암모니아 간이 측정기 TG-2400 K 이용) (단위 : ppm)

구 분	'01. 4. 26 ~5. 31	'01. 6. 3 ~6. 25	'01. 7. 1 ~7. 21	평균
환경친화형 화장실	0.0	0.0	0.0	0.0
재래식화장실	3.47	4.43	3.96	3.95

표 3. 후각에 의한 화장실 냄새 관능검사

구 분	환경친화형 화장실	재래식화장실
재래식화장실	0.0	2.6

* 악취강도별 점수 : 강 3점, 중 2, 약 1, 무취 1

표 4. 냄새성분종합분석(GC 이용) (단위 : ppm)

구 분	메틸아민	케틸아세테이트	암모니아	메틸메테르캅탄	프로판아민	디메틸설파이드
	환경친화형 화장실	0.17	2.67	0	0.74	0.54
재래식 화장실	2.36	5.26	3.90	1.92	1.59	0.86

표 5. 환경친화형화장실과 수세식화장실의 초기비용 비교(당해년도) (단위:천원)

구 분	고정비용	운영비	합 계	
환경친화형 화장실	3,000	12	3,012	
수세식 화장실	하수처리식	3,000	38.3	3,038.3
	분뇨수거식 (단독정화조)	3,000	117	3,117

표 6. 환경친화형화장실과 수세식화장실의 PVC 비교 (단위:천원)

구 분	할인율(2%기준)	5%기준	7%기준	
환경친화형화장실(A)	280.8	196.5	160.9	
수세식 화장실	하수처리식(B)	896.1	627.1	513.6
	분뇨수거식(C)	2,737.4	1,915.6	1,568.9
대 비	B-A	615.3	430.6	352.7
	C-A	2,456.6	1,719.1	1,408.0

* PVC 산출 : 내구연한 30년, 운영비기준 산출

위의 분석결과는 공동하수처리장설치비, 하수처리비용 등이 포함되지 않았으며, 또한 환경보전 효과를 경제적으로 환산하지 않은 점 등을 감안할 경우 환경친화형화장실의 경제적 이익은 이보다 훨씬 더 클 것으로 사료된다.

2. 환경친화형 농촌화장실 시공농가의 이용 후 평가

2001년 및 2002년 환경친화형 농촌화장실이 설치된 57호 농가와 14개 마을을 대상으로 면접설문조사를 통해 화장실 시공 및 사용현황, 이용후 만족도, 기술적 문제 및 보완사항들을 조사한 결과는 표 7, 그리고 그림 2와 3에 나타나 있다.

환경친화형 화장실은 농가의 외부독립형으로 설치된 농가가 다수(56.1%)였으며, 일부 농가부속사에 설치된 농가(28.1%)와 주택내부에 설치된 사례(7.0%)도 있다. 마을단위에서는 마을의 공공장소인 마을회관(64.3%)에 많이 설치가 되었으며, 그외 버스승강장(14.3%)과 농업단지(14.3%)에 설치가 되었다.

표 7. 환경친화형 농촌화장실의 시공 및 사용현황 (단위 : %)

구 분	시공농가	시공마을
시공 동기	농업기술센터권유 63.2%, 환경보전 22.8, 공사비지원 3.5, 기타 10.5	환경보전 71.4%, 농업기술센터권유 21.4, 공사비지원 7.2
위 치	내부형 35.1% (부속사 28.1, 주택 7.0), 외부독립형 56.1, 기타 8.8	마을회관 64.3%, 농업단지 14.3, 버스승강장 14.3, 기타 7.1
공사비	300만원미만 31.5%, 300~400만원 47.4, 400~500만원 15.8, 500만원이상 5.3	400~500만원 71.4%, 500만원이상 28.6
사 용	매우잘사용 43.9%, 잘사용 35.1, 보통 17.5, 잘사용하지않음 3.5	매우잘사용 35.7%, 잘사용 57.1, 잘사용않음 7.2
사 용 인원	2인이하 29.8%, 3~4인 40.4, 5~6인 19.3, 7인이상 10.5	10인이하 21.4%, 10~20인 57.1, 20~50인 14.3, 50인이상 7.2

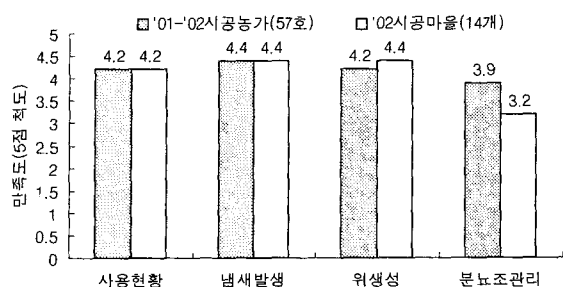


그림 2. 환경친화형 농촌화장실의 이용후 만족도

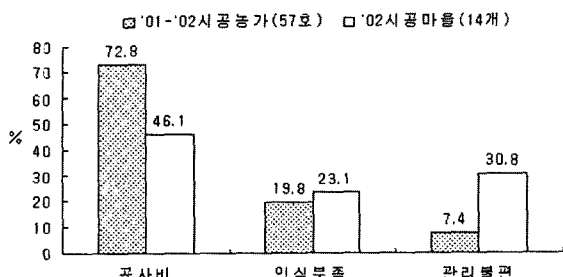


그림 3. 환경친화형 농촌화장실의 개량상의 문제점

환경친화형 농촌화장실의 설치동기는 시공농가인 경우 농업기술센터 권유(63.2%)와 환경보전(22.8%)이 가장 많은 비율을 차지하여 농업기술센터의 역할과 환경보전에 대한 인식교육의 기능이 매우 중요하게 나타났다. 시공마을인 경우는 환경보전에 대한 동기(71.4%)가 가장 많았고 농업기술센터 권유(21.4%) 순으로 마을의 환경보전에 대한 인식의 중요성과 대책마련에 많은 노력을 기울이고 있음을 알 수 있다. 앞으로 환경보전에 대한 교육이 충실히 이루어질 경우 화장실에 대한 인식변화는 긍정적으로 변화될 것(Wynia 등, 1993)으로 기대된다. 환경친화형 화장실의 사용현황은 시공농가의 79%이상, 시공마을의 92.8%이상 잘 사용하는 편이었다.

그림 2는 환경친화형 화장실에 대한 만족도 조사결과(5점 : 매우만족)이다. 시공농가에서는 사용현황은 4.2, 냄새발생 4.4, 위생성 4.2, 분뇨조관리 3.9점이고, 시공마을에서는 사용현황 4.2, 냄새발생 4.4, 위생성 4.4 그리고 분뇨조관리 3.2점으로 악취제거효과나 위생면에서는 높은 만족도를 보였으며 분뇨조관리면에서 보통 수준으로 나타났다. 이는 수세식 화장실과 비교하여 통기성 매질 투입 등 분뇨조 관리의 번거로움을 걱정한 것으로 사료된다.

화장실 이용상의 문제점으로는 화장실 분뇨조 관리구에서의 분뇨고형물 수거작업 불편, 변기 미관 개선, 교반작업의 불편함 등의 의견이 나왔다. 개선사항으로는 자가 생산이 가능한 통기성매질 제조법 개발, 마을

공동화장실용 분뇨조 개발, 마을공동화장실의 지속적 관리 및 관리비용 문제해결방안, 화장실 공사비 부담으로 국비 지원 등의 의견이 나왔다.

화장실 개량상의 문제점으로는 농가의 공사비부담(72.8%)이 가장 큰 문제로 대두되었으며 그 외 인식부족(19.8%)과 관리불편(7.4%)으로 나타났고, 마을단위인 경우는 공사비부담(46.1%), 관리불편(30.8%), 그리고 인식부족(23.1%)으로 나타났다. 마을에 설치된 경우 관리주체의 불확실성으로 인해 관리불편을 우려하여 제기한 것으로 생각된다. 추후 농촌지역의 환경친화형 화장실 개량에 있어서 경제적부담 해소가 가장 큰 과제로 나타나 환경친화형 화장실의 개량촉진을 위한 관련 제도의 개선과 정부의 적극적인 예산지원 대책의 필요성이 제기되었다. 또한 마을에 설치된 화장실의 관리방안에 대한 지속적인 연구의 필요성도 함께 제기되었다.

IV. 요약 및 결론

화장실 방류수로 인한 농촌지역의 수질 및 토양오염을 예방하고 깨끗하고 쾌적한 화장실 환경조성으로 농촌 삶의 질 향상의 필요성에 의해 개발된 환경친화형 농촌화장실의 적용가능성 평가와 이용 후 평가를 실시하였다.

환경친화형 농촌화장실 적용가능성 평가는 분뇨발효상태 실측 검정, 화장실 냄새발생 및 성분분석, 경제성 분석을 수행하였다. 분뇨투입 약 10개월 후 고형의 분뇨잔류물은 14.7%가 남아 호기성 미생물에 의해 분뇨가 자연 분해되는 원리에 의해 효과적으로 작동되고 있음을 알 수 있었다. 암모니아 간이측정기를 이용하여 냄새발생을 측정된 결과 환경친화형 농촌화장실에서는 전혀 측정되지 않았으며, 활성탄 흡착방식의 가스포집기를 이용하여 포집된 가스의 성분을 GC 분석한 결과 메틸아세테이트 등의 성분들이 사람이 관능적으로 감지하지 못하는 미량의 수준으로 발생하였다. 환경친화형 농촌화장실의 경비절감효과를 알아보기 위해 내구연한 30년동안 운영비를 기준으로 하여 PVC값을 계산한 결과 단독정화조 수세식화장실보다 개소당 약 2,457천원의 비용절감 효과가 있었다.

환경친화형 농촌화장실에 대한 만족도 조사결과(5점 : 매우만족) 사용현황이 4.2, 냄새발생 4.4, 위생성 4.2~4.4, 분뇨조관리 3.9~3.2점으로 악취제거효과나 위생면에서는 높은 만족도를 보였으며 분뇨조 관리는 보통 수준으로 나타났다. 화장실 개량상의 문제점으로는 공사비부담이 가장 큰 문제로 대두되었고, 그 외 인식부

족과 관리불편으로 나타나 환경친화형 화장실의 개량 촉진을 위한 관련 제도의 개선과 정부의 적극적인 예산지원 대책의 필요성이 제기되었다.

본 연구 결과 환경친화형 농촌화장실의 적용가능성이 분뇨발효성능, 냄새발생, 경제적 비용절감 측면에서 높게 평가가 되었고, 이용 후 만족도도 높게 나타남을 알 수 있었다. 또한 환경친화형 화장실에 대한 정부의 제도 및 예산지원과 인식변화를 위한 홍보 및 교육활동을 통해 화장실의 보급확대가 이루어져야 된다는 요구가 높게 나타났다. 이는 세계 13억 인구가 깨끗한 물을 사용하지 못하고 있으며, 두배가 넘는 인구가 위생 시설의 혜택을 입지 못하고 있는(Eid, 2000) 실정을 감안할 때 시대적으로 꼭 필요한 과제이며, 이를 통해 화장실 방류수로 인한 농촌지역의 수질 및 토양오염 예방으로 농촌지역의 생태환경이 보전되고, 화장실 분뇨를 친환경적으로 처리함으로써 농가 및 국가의 오폐수 처리를 위한 예산이 경감되며, 깨끗하고 쾌적한 화장실 환경조성으로 농촌 삶의 질 향상이 이루어질 것이라 사료된다.

참고문헌

1. 농촌생활연구소, 2002, 2002 농촌생활지표 조사 보고서 : 83
2. 윤광식, 최수명, 한경수, 2000, 농촌지역 수질보전을 위한 퇴비화 화장실 이용, 농촌계획 6(1) : 38-43
3. 조순재, 2000, 환경친화형 농촌화장실 모델개발 연구 : 2000년도 농촌생활과학 시험연구보고서, 농촌생활연구소 : 530-553
4. 조순재, 2001, 환경친화형 농촌화장실의 성능평가 및 실용화 연구 : 2001년도 농촌생활과학 시험연구보고서, 농촌생활연구소 : 355
5. 최수명, 윤광식, 2002, 외국의 환경친화형 자연발효 퇴비화 화장실의 설치·활용소개, 농어촌과 환경 76 농어촌기반공사 : 132-140
6. 통계청, 2000, 농업총조사(<http://www.nso.go.kr>)
7. 한국 클리버스, 1998, 자연발효화장실 기술자료집
8. Riggle, D., 1996, Technology Improves for Composting Toilet, Biocycle : 39-43
9. Eid, Uschi, 2000, Sustainable water management - A global challenge for the 21st century, Proceedings of the International Symposium, 30-31 Oct, 2000, Germany : 7-10
10. Wynia, Wendy, Anne Sudar, and Gray Jones, 1993, Recycling Human Waste : Composting Toilet as a Remedial Action Plan Option for Hamilton Harbour, Water Poll. Res. J., Canada 28(2) : 355-368