

돈 슬러리 발효증발 퇴비화 시스템의 온실가스 배출량 측정

박치호 · 윤태한 · 김재환

축산기술연구소

Measurement Emission of Greenhouse Gases from Composting Process for Pig Slurry

Park, C. H., Yoon, T. H. and Kim, J. H.

National Livestock Research Institute, RDA, Suwon 441-350, Korea

Summary

This study was performed for measuring the emission of greenhouse gases, CH₄, N₂O, from the composting process for pig slurry. For the experiment the benchscale pilot plant was designed by 1m³ volume reactor with a closed type and operated; sawdust 142kg filled before input slurry, slurry about 10~20 ℓ inputed per day(total 380 ℓ), air supplied 5 ℓ/min for 24 hours, mixing time 10min./day and 1 time a day.

From the total experiment period(30days), the amount of VS degradation and emission CH₄, N₂O were 10.9kg-VS and 1,582.4g-CH₄, 68.1g-N₂O respectively. Based on VS inputed the emission of CH₄, N₂O were 15.3(g-CH₄/kg-VS_{input}), 0.7(g-N₂O/kg-VS_{input}), and based on VS degraded were 145.2(g-CH₄/kg- VS_{removed}), 6.2(g-N₂O/ kg-VS_{removed}).

서 론

기후변화 협약(United Framework Convention on Climate Change : UNFCCC)은 1992년에 온실가스의 대기중 농도를 안정화시킬 목적으로 채택되었다. 1997년 12월 교토의정서(Kyoto Protocol)에 의하면 미국, 일본, EU 등 선진국들은 2010년까지 1990년 온실가스 배출대비 평균 5.2% 삭감하기로 하였다. 선진국들의 의무강화가 타결 되므로써 다음으로 선진개도국의 의무분담이 제기될 것이 예상되며, 특히 한국과 같은 선진 개도국들에 대해서는 이러한 압력이 보다 가시화 될 것

으로 보인다. 이에 따라 우리나라는 기후변화협상 선진국 의무에 상응하는 의무를 부담하지는 못하더라도 자발적인 온실가스 저감 노력을 대내외에 천명해야 할 당위성이 커지고 있으며, 2013년 감축의무를 부여받는 것으로 예상하고 있다. 온실가스는 지구환경 문제임과 동시에 국가간 무역·경제와 밀접한 관계가 있어서 모든 자료가 객관적인 통계가 필요하고, 가장 우선적으로 이루어져야 할 것은 감축 노력 이전에 배출량 통계가 확립되어야 한다.

지구온난화 관련 온실가스는 여러 종류가 있으나 가축분뇨 분야에서는 CH₄와 N₂O에

주목이 필요하다. IPCC의 보고에 의하면 CO₂보다 약 10배의 온실효과를 초래하는 CH₄의 가축분뇨로부터의 발생량은 25Tg/year로서 지구전체 발생량 중 약 5%를 차지한다고 하였다. 이 밖에도 최근 CO₂보다 약 250배 정도의 온실효과를 초래하고 오존층 파괴 물질로도 알려진 N₂O도 가축분뇨로부터 상당량 발생된다고 보고되고 있다.

가축분뇨처리에서의 온실가스 배출량 산정은 IPCC에서 메탄만을 기준으로 한 배출계수(annual emission factor for animal type, EF) 산정에 의해 이루어 졌으며, 국내에서 수행된 관련 연구는 통상부와 에너지경제연구원 주관으로 수행된 “기후변화협력관련 국가보고서(95)”와 “기후변화협력 대응 실천계획 수립을 위한 연구(97)”로 이들 또한 IPCC에서 제시 해 놓은 값들을 기초로 배출량이 산정 되었다. 메탄배출계수(EF)값 산출에 있어서 하나의 계산 인자인 가축분뇨처리시설별 메탄전변율(methane conversion factors for each manure management system “j” by climate region “k”, MCFjk,)은 같은 시스템이라 하더라도 처리방법(처리물의 종류, 즉 고형축분, 슬러리, 그리고 톱밥 등 부자재 혼입 여부, 산소공급방법, 처리기간 등)과 그 지역의 기온에 의해 크게 좌우 되므로 국가간 배출량의 상당한 차이를 나타내게 하는 중요한 factor이다.

현재 국내 전체 양돈농가의 60% 설치 이용율을 보이는 “돈 슬러리 발효증발 퇴비화 시스템(퇴비화 시설을 이용한 슬러리 처리방법)”은 해외에서는 찾아 볼 수 없는 국내만의 처리방법으로서 온실가스 배출량 통계작성을 위해 인용 할 수 있는 연구결과는 선무한 실정이다. 따라서 한국의 가축분뇨처리에서 발생하는 온실가스 발생량 통계를 위해서는 다른 분뇨시스템 보다 우선적으로 “돈 슬러리 발효증발시스템”에 대한 배출량 구명이 필요하며, 본 연구에서 이를 수행하였다.

재료 및 방법

돈 슬러리 발효증발처리와 가스포집을 위해 밀폐형 퇴비화시설을 유효용적 1m³의 Bench scale(photo 1, 2)로 제작하였으며, 충전 재료로서는 톱밥을 사용하였다. 톱밥의 성상은 Table 1에 나타낸 것처럼 수분 약 38%, 현물 중 유기물(VS)은 약 61%이었다. 그리고 건물이 약 62%인 점을 감안하면 건물의 대부분(약 99%)이 유기물임을 알 수 있다. 실험에 사용한 슬러리는 함수율 약 95%, 유기물 약 4.3% 이었다. 그리고 건물이 약 5.0%인 점을 고려하면 건물의 약 86%가 유기물로서 현물 뿐만 아니라 건물의 유기물 함량이 톱밥보다 낮음을 알 수 있다.

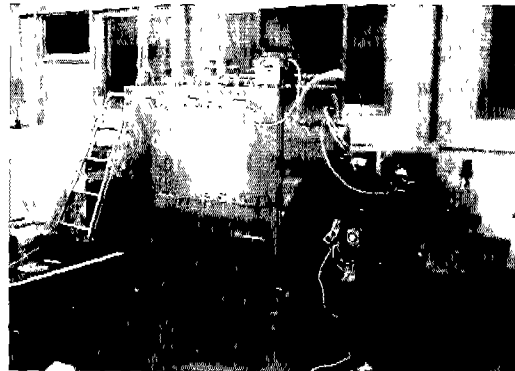


Photo 1. Bench scale closed composter.

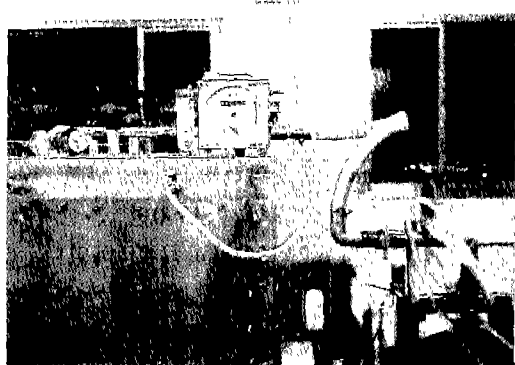


Photo 2. Measuring the amount of emission gas.

실험과정을 요약하면, 1m³의 발효상에 톨밥을 채우고(142kg) 톨분뇨 슬러리를 매일 혹은 2일에 1번씩 20~30 l 투입하였다. 그리고 발효상의 산소공급은 약 5 l/min의 양으로 상향류(발효상 바닥으로 주입하여 상부로 배출되게 함)로 행하였으며, 교반은 로타리석으로 1.5rpm 속도로 매일 10분간 행하였다. 실험에 사용한 톨밥 및 슬러리의 성상과 운전조건을 Table 1 및 Table 2에 나타냈다.

실험은 약 1개월간 수행하였으며, 이 과정에서 발생하는 CH₄과 N₂O는 매일 1회 채취하여 Gas Chromatography로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 발효상 온도 변화

발효상에서의 온도변화는 발효상의 미생물이 부재 및 슬러리 중 유기물을 분해하는 과정에서 발생하는 분해열에 기인한다. Fig. 1에 약 1개월간의 실험기간동안 발효상 및 외부 온도의 경시변화를 나타내었다. 발효상의 온도는 실험시작 후 10~15일에 60℃ 전후로 피크치를 나타내었다. 그 후 발효상 온도는 급격히 저하하다 20일 이후부터는 약 30~35℃로 비교적 일정한 수준을 유지하였다. 20일 이후에도 발효상의 온도를 30~35℃로 유

지할 수 있었던 것은 슬러리의 격일 투입으로 열 발생원인 유기물이 계속 공급되었기 때문으로 여겨진다. 그리고 실험기간동안 외부 온도는 4~14℃ 범위로서 평균 9℃이었다.

2. 발효상 수분 및 고형물 변화

발효상 함수율의 경시변화를 Fig. 2에 도시하였다. 함수율은 정도의 차는 있으나 실험일수가 경과함에 따라 점점 증가하였다. 특히 침출수가 발생되기 시작한 11일째 이후부터도 함수율은 적은 폭이지만 점점 증가하고 있다. 따라서 슬러리 투입량을 줄이지 않고 발효상의 함수율을 미생물 성장의 최적함수율 65~70%로 유지시켜 보다 높은 유기물 분해율을 얻기 위해서는 과잉의 수분을 신속

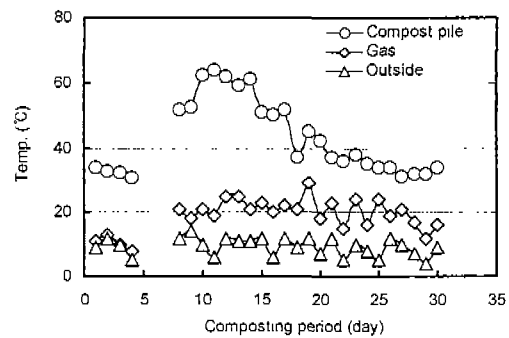


Fig. 1. Change of Compost Temperature.

Table 1. Characteristics of Sawdust and Slurry

(Unit : %)

Item	Input	Moisture	TS	VS	FS	TN
Sawdust	142	38.0	62.0	61.1	0.9	0.084
Slurry	380	95.0	5.0	4.3	0.7	0.196

Table 2 Operating Conditions of the Composter

Sawdust (kg)	Slurry (l/day)	Air (l/min)	Mixing (times/day)	Mixing time (min/times)
142	10~20	5	1	10

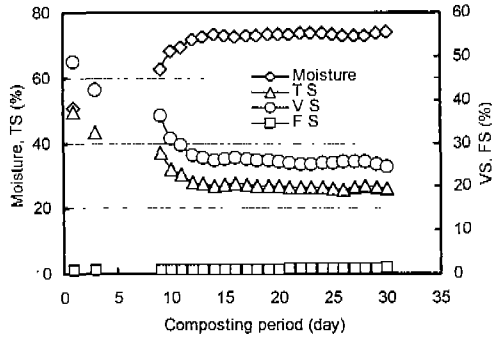


Fig. 2. Change of Compost Moisture and solid.

하게 배출시킬 수 있는 대책 마련이 필요하다.

발효상의 유기물(VS)의 경시변화를 살펴보면 함수율의 증가로 인해 점점 감소한다. Fig.으로는 도시하지 않았지만 고형물(TS)중의 유기물 함량은 실험초기에는 98.6%(툽밥)이었으나 유기물 함량이 상대적으로 낮은 슬러리의 지속적인 투입과 미생물의 분해로 인하여 실험 종료시에는 94.5%로 약 1개월의 실험기간동안 4.1% 감소하였다.

3. 발효상 질소 함량 변화

발효상 잔류물의 질소 함량은 Fig. 3에 도시한 것처럼 실험일수가 경과함에 따라 증가하는 추세를 보이고 있다. 이는 툽밥보다 질소의 함량이 상대적으로 높은 슬러리의 지속적인 투입이 기인한 것으로서 실험 종료시에는 1.1%까지 증가하였다.

4. 온실가스 발생

온실가스 발생량의 경시변화를 Fig. 4에 도시하였다. 온실가스 발생량의 경시변화와 Fig. 1의 발효상 온도의 경시변화를 비교하여 살펴보면 메탄과 아산화질소 모두 발효상의 온도가 50~60℃로 비교적 높았던 10~15일

전후에 많이 발생하였다. 그 후 발효상 온도가 급격히 저하하는 기간에는 발생량은 모두 저하하나 메탄의 경우가 그 정도가 현격하다. 그리고 발효상 온도가 32℃ 전후로서 비교적 일정한 25일 이후에는 메탄발생량에는 큰 변화가 없으나 아산화질소의 경우 발생량은 큰폭으로 증가한다. 이는 메탄 생성균보다 아산화질소 생성균이 온도변화에 대한 충격이 적으며, 충격 후 회복도 빠르기 때문으로 생각된다.

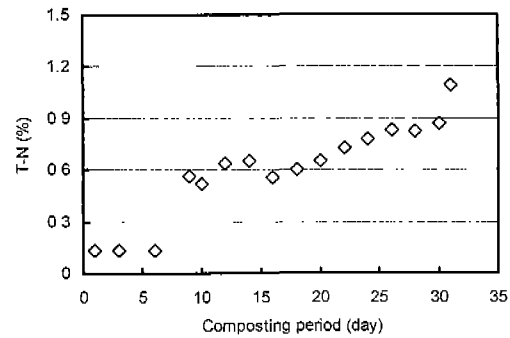


Fig. 3. Change of Nitrogen Content in Compost.

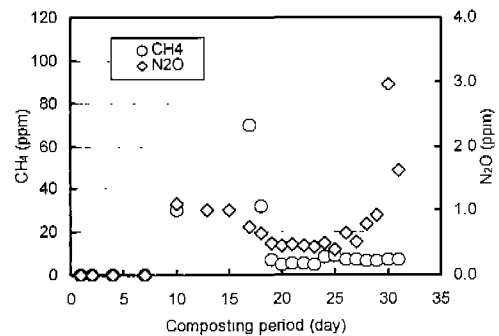


Fig. 4. Change of CH₄ Emission in Composting.

5. 침출수 발생량

약 1개월의 실험기간동안 발효상에는 약 380kg(수분 : 360.8kg)의 슬러리가 투입되었으

며, 이 기간동안 침출수는 124.4kg(수분 : 123.7kg) 발생되었다(Fig. 5). 즉 침출수는 투입 슬러리량의 33%(수분량으로서는 34%)가 발생되었다. 그러나 여기서 주의해야 할 점은 슬러리 형태로 투입된 나머지 수분은 모두 증발된 것이 아니고 대부분 발효상에 잔존하였으며, 증발 수분량은 5.8kg에 불과하였다. 따라서 실험일수가 경과함에 따라 투입된 대부분의 수분은 침출수로서 배출되리라 생각된다.

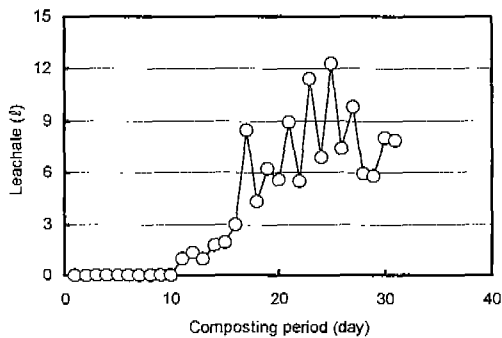


Fig. 5. Change of Leachate Quantity.

6. 침출수의 고형물 함량 변화

실험개시 11일째 처음 발생된 침출수중의 총고형물은 0.03%로서 아주 낮았으나 약 일주일 동안은 급격하게 증가하여 17일째에는 0.59%로 발생초기 침출수보다 약 20배 증가하였다(Fig. 6). 침출수중 유기물과 무기물의 경시변화도 총고형물의 경시변화와 유사한 경향을 보이고 있다. 침출수가 발생한지 1주일 후의 총고형물은 0.5% 전후로 비교적 일정하며, 그 중 유기물이 약 40%, 무기물이 약 60% 정도이다.

7. 침출수의 질소 함량 변화

Fig. 7에 도시한 침출수중의 질소 농도의 경시변화를 Fig. 3에 도시한 발효상 잔류물의

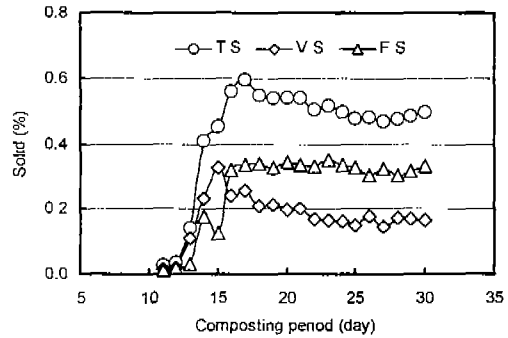


Fig. 6. Change of Solid Content in Leachate.

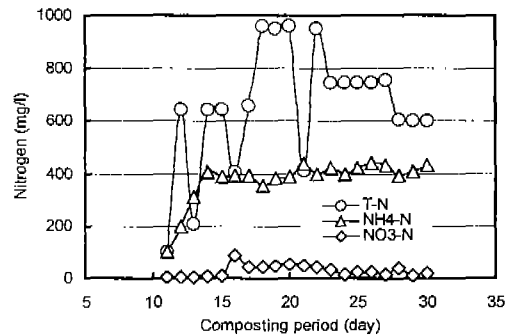


Fig. 7. Change of Nitrogen Content in Leachate.

질소농도와 비교해 보면 슬러리의 지속적인 투입으로 발효상 잔류물의 질소농도가 높아짐에 따라 침출수중의 전질소 농도도 높아짐을 알 수 있다. 그러나 25일 이후의 침출수중의 질소농도는 발효상 잔류물의 질소농도는 높아짐에도 불구하고 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 25일 이후 발생가스중의 아산화질소농도가 높았던 것(Fig. 7)과 관련시켜 보면 활발한 탈질(N_2O 나 N_2 가스로 배출)에 기인한 것으로 생각되며, 그리고 고형물중의 질소보다는 용존성질소가 우선적으로 탈질된다는 것도 추론 할 수 있다.

발생된 침출수의 질소농도는 평균 369mg/l로서 이중 암모니아성 질소가 369mg/l로서 절반이상을 차지하였다.

8. 물질수지

발효상에 투입된 톱밥 및 슬러리의 각 성분량을 Table 3에 정리하였다. 실험초기 발효상에는 142kg의 톱밥이 충전되었으며, 약 1개월간의 실험기간동안 380kg의 슬러리가 투입되었다. 발효상 투입물을 성분별로 살펴보면 건물(TS)은 총 107.2kg, 유기물(VS)과 질소(TN)는 각각 103.2kg, 0.86kg 투입되었다. Fig. 3에서 Ratio는 발효상 투입물중 슬러리가 차지하는 비율로서 수분의 대부분은 슬러리로서, 유기물의 대부분은 톱밥으로서 투입된다는 것을 알 수 있다.

발효상 유출물의 성상을 Table 4에 나타내었다. 여기서 Sample은 분석을 위해 격일로 14번에 걸쳐 발효상으로부터 채취된 시료로서 성상은 평균치로 나타내었다. 침출수의 성상도 운전 10일째부터 20일간에 걸쳐 발생된 침출수를 매일 분석하여 평균치로 나타내었다. 그리고 퇴비의 성상은 실험종료시 발효상 잔류물을 모두 채취, 혼합하여 분석한 결과이다.

발효조로 부터 유출물은 Table 5에 정리한

것처럼 분석을 위한 시료채취로서 3.4kg, 침출수 및 퇴비로서 각각 124.4kg, 377.7kg 유출되어 총 505.4kg 유출되었다. 그리고 Table 3에 정리한 발효상 투입물량과 비교해 보면 약 1개월간의 실험기간동안 16.6kg이 감소하였다. 감소량을 성분별로 살펴보면 유기물이 10.9kg 감소하였으나, 수분은 5.8kg 밖에 감소하지 않았다. 본 실험에서 수분증발량이 적은 것은 가스 포집을 위한 밀폐형 발효상으로 실험하였기 때문에 발효상에서 증발한 수분의 상당량은 발효조 벽면에서 응결, 낙하하여 발효상으로 되돌아 왔기 때문이라 생각된다. 그리고 생물분해가 불가능한 무기물(FS)의 경우 투입량보다 배출량이 약간 많은 것은 분석오차에 기인한 것으로 사료된다.

9. 온실가스 발생량

Table 6에 온실가스 발생량을 나타냈다. 실험기간 동안 메탄 발생량은 1,582.4g으로서 총 투입 TS량당 발생량으로 환산하면 14.8 (g-CH₄/kg-TS), 분해된 VS량당 발생량으로 환산하면 145.2(g-CH₄/kg-VS_{removed})이다.

Table 3. The Amount of Components Inputed in Composting Reactor

(Unit : kg)

Item	Total	Moisture	TS	VS	FS	TN
Sawdust	142.0	54.0	88.0	86.8	1.2	0.119
Slurry	380.0	360.8	19.2	16.4	2.8	0.774
Total	522.0	414.8	107.2	103.2	4.0	0.863
Ratio	72.8	87.0	17.9	15.9	69.4	86.2

Table 4. Characteristics of Leachate and Compost

Item	Moisture	TS	VS	FS	TN
Leachate	99.5	0.5	0.2	0.3	0.057
Compost	74.9	25.1	24.1	1.0	0.274

Table 5. The Amount of Components outputed from Composting Reactor

(Unit : kg)

Item	Total	Moisture	TS	VS	FS	TN
Sample	3.4	2.4	1.0	0.9	0.0	0.006
Leachate	124.4	123.7	0.6	0.3	0.4	0.070
Compost	377.7	282.9	94.8	91.1	3.6	1.035
Total	505.4	409.0	96.4	92.3	4.1	1.111
Removed	16.6	5.8	10.9	10.9	-0.1	-0.2

Table 6. The Amount of Emission CH₄ and N₂O during Composting

Item	Total	TS	VS
Sawdust introduced to reactor(kg)	522.0	107.2	103.2
Slurry introduced to reactor(kg)	380.0	19.2	16.4
Degradation(kg)	-	10.9	10.9
CH ₄ Production (g)	1,582.4		
CH ₄ production to total introduced material (g/kg)	3.0	14.8	15.3
CH ₄ Production to introduced slurry (g/kg)	4.2	82.3	96.2
CH ₄ Production to degraded material (g/kg)	-	145.2	145.2
N ₂ O Production (g)	68.1		
N ₂ O Production to total introduced material (g/kg)	0.1	0.6	0.7
N ₂ O Production to introduced slurry (g/kg)	0.2	3.5	4.1
N ₂ O Production to degraded material (g/kg)	-	6.2	6.2

실험기간동안 N₂O 발생량은 68.1g으로서 메탄의 경우처럼 총 투입 TS당당 발생량으로 환산하면 0.6(g-N₂O/kg-TS), 분해된 VS량당 발생량으로 환산하면 6.2(g-N₂O/kg- VS_{removed})이다.

본 연구결과가 “돈 슬러리 발효증발 퇴비화시스템”의 온실가스 배출량 기준이라고 단언하기에는 더 다양한 처리방법과 반복의 시험성적이 필요하다. 그러나 지금까지 국내에서 관련 연구가 거의 이루어지지 않은 상황에서 본 연구결과가 하나의 경향치로 파악될 수 있고, 앞으로 본 연구와 같은 성적들이

추적되어야만 종합되어 “가축분뇨시스템에 대한 온실가스 배출량 기준”을 만들 수 있을 것이다.

IV. 적 요

액상분뇨 퇴비화시 발생하는 온실가스 발생량을 조사하기 위하여 밀폐된 발효상에 142kg의 톱밥을 채우고 돈분뇨 슬러리를 매일 혹은 2일에 1번씩 20~30ℓ 투입(총 380ℓ)하면서 약 1개월간 다음과 같은 운전조건으로 퇴비화 실험을 하였다. 발효상의 산소

공급은 약 5 l/min 량으로 상향류(발효상 바닥으로 주입하여 상부로 배출되게 함)공기송풍으로 행하였으며, 교반은 1.5rpm 속도로 매일 10분간 행하였다.

실험기간동안 유기물은 10.9kg 분해되었으며, 온실가스중 CH₄는 총 1582.4g, N₂O는 총 68.1g 발생되었다. 투입 VS량당 가스 발생량으로 환산하면 메탄과 아산화질소는 각각 15.3(g-CH₄/kg-VS_{input}), 0.7(g-N₂O/kg-VS_{input}) 분해된 VS량당 발생량으로 환산하면 145.2 (g-CH₄/kg-VS_{removed}), 6.2(g-N₂O/kg-VS_{removed}) 발생되었다.

인 용 문 헌

1. UNEP, WMO, OECD, IEA. 1995. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Vol. 3. 4.33-4.41.
2. 畜産技術協會. 1996. 畜産における 온실가스의發生制御 第1集. 61-71.
3. 축산기술연구소. 1995. 기후변화협력관련 국가보고서 작성 및 대응전략연구(축산부문). 26-35.
4. 에너지경제연구원. 1997. 기후변화협력 대응 실천계획 수립을 위한 연구. 227-257.