

# 바이오가스發電의 전개

## 1. 머리말

지구온난화방지와 미이용(未利用)에너지의 유효이용이 시급한 과제로 되어 있는 최근의 지구환경 하에서 재인식된 처리법 중 혐기성(嫌氣性)처리가 있다. 이 처리의 장점은 ① 호기성(好氣性)처리에 비하여 에너지소비량이 적고, ② 배수 및 폐기물이 갖는 잠재에너지를 메탄가스라고 하는 유효한 에너지로 변환할 수 있으며, ③ 오니(汚泥)의 감량화·안정화가 가능하다는 점 등을 들 수 있다. 이 방법은 그 동안 약간 오래된 처리기술로 취급되어 왔으나 환경문제와 에너지회수효과의 양면에서 그 유효성이 다시 각광을 받게 된 것이다.

본고에서는 신에너지 중에서 바이오가스 발전을 들어 축산배설물의 처리·이용에 있어서의 메탄발효(發酵)시스템, 마이크로터빈을 사용한 하수소화(下水消化)가스 발전, 가스정제(精製)기술 등 미쓰비시電機의 대처노력에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 바이오가스發電에 대하여

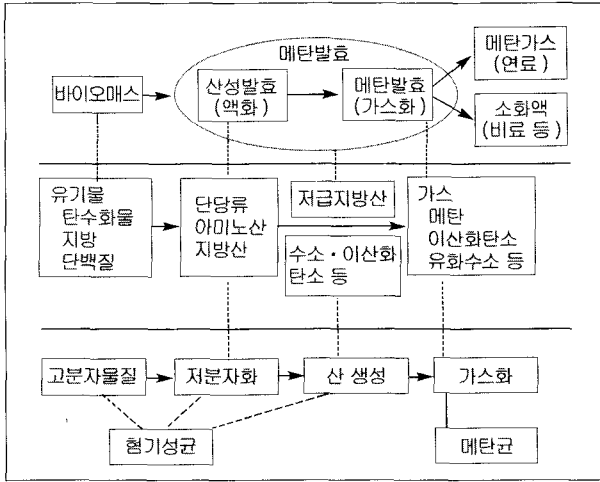
### 가. 바이오매스資源

바이오매스는 「태양에너지를 저장한 생물체」로, 모든

식물과 동물이 이 범주에 드는 재생가능한 에너지원으로 수확과 재생의 밸런스가 유지되는 한 고갈되지 않으며, 태워도 대기 중의 이산화탄소농도를 높이지도 않는다. 이와 같은 바이오매스는 목질계(木質系)와 식료계(食料系)로 대별되며 스웨덴 등의 북유럽에서는 공장의 폐자재나 삼림 벌채에 의한 나뭇가지 등의 잔재를, 태국 등 동남아시아에서는 왕겨·목재조각·사탕수수찌꺼기 등을 가스화·연소시켜 발전하는 방식이다. 또 덴마크나 독일 등에서는 축분(蓄糞)·농산폐기물·가정쓰레기 등을 메탄발효시켜 바이오가스(消化가스)를 생성, 지역난방의 열원과 소규모발전의 연료로 하는 방식(바이오가스플랜트)이 정착되어 바이오매스자원의 유효이용이 도모되고 있다.

### 나. 메탄發酵

바이오매스의 유기물은 혐기성균(嫌氣性菌)에 의하여 분해되어 메탄가스가 생성된다. 그 원리를 그림 1에 표시한다. 유기물 중의 탄수화물, 단백질, 지방은 우선 혐기성균에 의하여 가수분해되어 저(低)분자의 유기산이 생성된다. 이 유기산을 메탄균이 이용하여 메탄, 이산화탄소 등을 생성한다. 이와 같이 메탄발효에 있어서는 혐기성균



〈그림 1〉 메탄발효의 원리

과 메탄균의 공동활동으로 액화와 가스화가 동시에 진행되어 메탄가스를 생성하고 있다.

### 다. 바이오가스發電

일반적으로 바이오매스자원을 싼 비용으로 1개소에 대량으로 집적하는 것은 그 수집·수송상 곤란한 경우가 많아 필연적으로 지역분산형의 소규모처리시설이 되지 않을 수 없다. 또 종래의 주류인 가스엔진에 의한 발전방식에서는 그 유지관리의 번거로움, 비용 대 효과의 문제로 널리 보급되지 못하였다. 바이오가스 이용에 관하여는 앞으로 단지 보일러용 열원으로서만이 아니라 소규모발전

에 적합한 마이크로가스터빈이나 연료전지 등 소용량 발전장치의 연료로서의 용도가 크게 기대된다. 특히 일본에서는 지금부터의 소규모 분산형전원으로서 마이크로가스터빈의 발전기능과 터빈배열이용(온수, 증기, 공조)을 조합한 고효율 마이크로터빈·코제너레이션 시스템이 주목되어 실용화단계를 맞이하고 있다. 이와 같은 마이크로가스터빈에는 배기가스로 급기를 예열하는 재생사이클방식과 희박(希薄)에비혼합연소방식을 채용함으로써 ① 발

전효율이 높고 ② 대기오염원이 되는 질소산화물(NOx 가스)의 배출농도가 극히 낮으며 ③ 유지관리가 용이하다는 우수한 특징을 가지게 되었다. 동사에서는 미국 캡스턴사의 마이크로터빈 발전기를 베이스로 환경에 조화된 분산형에너지 시스템을 마이크로 터빈시스템으로 구축하고자 그것의 어플리케이션기술의 개발에 힘쓰고 있다.

## 3. 畜産糞尿 종합이용시스템

### 가. 축산환경 정비

폐기물의 처리와 에너지문제에 대처해 온 동사는 약 30년 전에 이미 새로운 에너지로서 하수오니(下水汚泥)소화가스 발전시스템의 개발, 가축배설물에 의한 메탄발효와 발생가스에너지를 이용한 가스발전을 조합한 발전시스템을 개발·판매하여 왔다.

최근 환경기본법 시행 후, 폐기물처리에 관한 규제는 강화되고 축산에 관해서도 1999년 11월의 「가축배설물법」의 시행으로 보다 효율적인 축산배설물 처리시스템의 요구가 높아졌다.

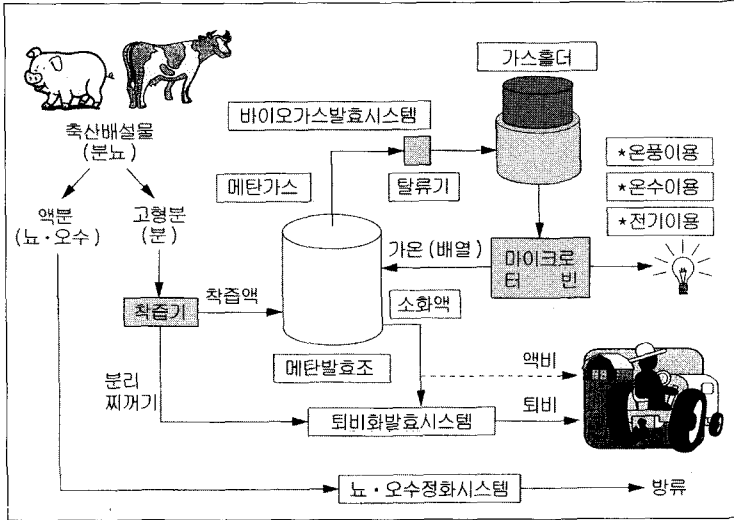
그래서 동사에서는 종래의 시스템에 새로 마이크로터빈 등의 신기술을 가하여 버전업한 「가축분뇨종합이용시스템」을 개발하였다.

### 나. 가축분뇨 종합이용시스템

가축분뇨 종합이용시스템은 주로 ① 바이오가스발효시스템, ② 뇨(尿)·오수정화(汚水淨化)시스템, ③ 퇴비화(堆肥化)발효시스템의 3개의 시스템으로 구성되어 있다(그림 2 참조).

#### (1) 바이오가스 발효시스템

축산용의 심플한 메탄발효시스템으로 소량의 착즙액(搾汁液)으로 다량의 유기물을 발효조에 투입할 수 있



〈그림 2〉 축산분뇨 종합이용시스템의 개요

기 때문에 메탄발효의 가온(加溫)에 필요한 가스량을 증가시키지 않고 효율 좋게 발효메탄가스를 발생시킬 수 있다. 겨울에도 발생가스의 80% 이상이 이용될 수 있다.

(2) 尿·汚水 정화시스템

기존의 활성오니처리법보다 기계를 많이 사용하지 않고 간단한 회분식활성오니법(回分式活性汚泥法)에 의한 시스템으로, 여러 가지 개량을 가하여 축사의 노·오수정화전용으로 개발한 것이다.

(3) 堆肥化 발효시스템

메탄발효조(槽)에서 배출되는 소화액을 착즙기(搾汁機)에 건 후 분리찌꺼기나 톱밥, 왕겨를 사용하여 퇴비와 토양개량재를 만들 수 있는 시스템이다. 퇴비발효조는 태양열이 퇴비화미생물을 활발하게 활동시키는 천저(淺底) 타입으로, 쪼거나 교반(攪拌)도 심플한 기계로 경제적으로 할 수 있다.

또한 발효메탄가스라도 충분히 연소시킬 수 있는 마이

크로터빈에 의한 코제너레이션시스템에 의하여 전기·온수·온풍을 생산할 수 있어 보다 경제적인 시스템을 구성할 수 있다.

다. 시스템사례

돼지 300마리 규모를 대상으로 하는 시스템 설계조건을 표 1에 표시한다. 분량(糞量)은 1일당 6t, 노·오수량은 1일당 21t을 처리·이용하는 시스템이 된다.

주요 시스템의 개요를 표 2에 표시한다. 바이오가스발효시스템은 착즙기, 메탄발효조, 가스홀더, 마이크로터빈 등으로 구성되어 있다. 노·오수정화시스템은 진동채, 발기조(拔氣槽) 등으로, 퇴비화발효시스템은 교반발효

〈표 1〉 설계조건

항 목	설계조건
대상규모	돈3000두
축사관리방식	분뇨 분리
분뇨량	6t/일
노·오수량	21t/일

〈표 2〉 주요시스템의 개요

주요시스템 명	주요 기기·장치
바이오가스 발효시스템	분뇨 수입조
	노·오수수입조
	착즙기
	메탄발효조
	탈유장치
	가스홀더
노·오수정화시스템	발기조
퇴비화발효시스템	교반발효조
관 리 실	운전·제어·감시장치

〈표 3〉 에너지와 퇴비 생산량

항 목	에너지와 퇴비생산량
분뇨수입량	27t/일
가스발생량	330m <sup>3</sup> /일 (메탄농도 60%)
발 전 량	517kWh/일
퇴비생산량	8.4t/일

조, 탈취조 등으로 구성되어 있다. 이 시스템에서의 에너지 및 퇴비생산량을 표 3에 표시한다. 발효메탄가스는 330 m<sup>3</sup>/일(메탄농도 60%) 발생하므로 이 가스를 사용하여 마이크로터빈으로 발전하면 517kWh/일의 발전량이 생산된다. 또 퇴비생산량은 8.4t/일이다.

종래의 축산환경 보전에 관한 기술은 콤팩트화를 목표로 보다 고성능으로 개발되었다. 앞으로도 고성능보다는 심플하고 보통의 성능이라도 농가의 관리 정도로 계속 사용할 수 있는 시스템을 개발·구축해 나갈 예정이다.

#### 4. 마이크로터빈에 의한 下水消化가스發電

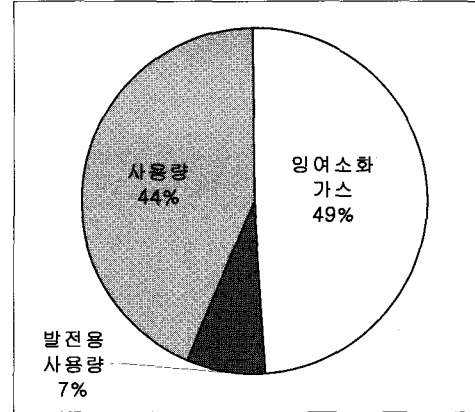
##### 가. 消化가스의 이용실태

하수처리장에서의 소화가스 이용실태를 1998년도판 하수도통계에 의하여 조사하였다.

그림 3에 소화가스의 사용량 내역을 표시하였으나, 전국에서 발생하는 소화가스 중 발전용으로 사용되는 것은 겨우 7%에 지나지 않는다. 또 그밖에 사용되는 44%는 거의가 소화조 가온용(加溫用)보일러, 소각로 등의 보조연료로 사용되고 있다. 유효하게 이용되지 못하고 처분되는 잉여가스는 49%에 달하며 주로 연소처분되고 있다.

소화가스의 이용이 1/2에 머무는 이유로는

- ① 유효하게 이용하는 방법이 없다
- ② 가스의 성분이 이용에 적합하지 않다



〈그림 3〉 소화가스 이용 실태

③ 이용하기 위한 사용량과 발생량이 밸런스를 이루지 못한다

는 등을 생각할 수 있다.

표 4에는 소화가스 발생량으로 구분한 처리장수와 소화가스발전이 이루어지고 있는 처리장수를 표시하였다.

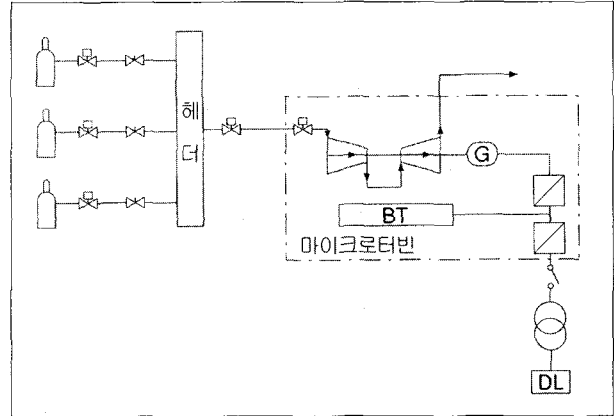
이 표에서 알 수 있듯이 가장 많은 것은 연간발생량 500(천m<sup>3</sup>/년) 규모인데, 소화가스발전 등 적극적인 유효이용이 도모되고 있는 것은 1000(천m<sup>3</sup>/년) 이상의 발생량을 갖는 대규모 처리장에 한정되어 있다.

〈표 4〉 소화가스발전 시설현황

소화가스발생량(천m <sup>3</sup> /년)	처리장 수	소화가스발전
1 미만	2	0
5 미만	2	0
10 미만	3	0
50 미만	29	0
100 미만	29	1
500 미만	123	1
1000 미만	38	1
5000 미만	60	10
5000 이상	9	5
합 계	295	18

〈표 5〉 마이크로터빈의 기본사양 예(Capstone사 제품)

최대출력	30kW
발전효율	27%(LHV)
연료유량	440MJ/h
대응가스발열량	약 14~48MJ/m <sup>3</sup> (N) (NHV)
배기가스온도	261℃
배기가스에너지	305MJ/h
소음치	65dB (A) 기축 10m
치 수	W762×H1942×D1518mm



〈그림 4〉 실험시스템의 개요

### 나. 마이크로가스터빈의 소화가스발전 가능성 검증결과

표 5에 Capstone사제 LOW BTU 타입 마이크로터빈의 기본사양을 나타내었다. LOW BTU란 저발열량의 의미이며 소화가스 등 발열량이 낮은 가스에 대응하는 것이다. 소화가스를 마이크로터빈의 연료로 이용함에 있어서 최초의 과제는 그 발열량에 있다. 소화가스는 메탄농도 50~60% 정도의 가스이며 그 발열량은 도시가스(13A)의 약 1/2 정도밖에 안된다.

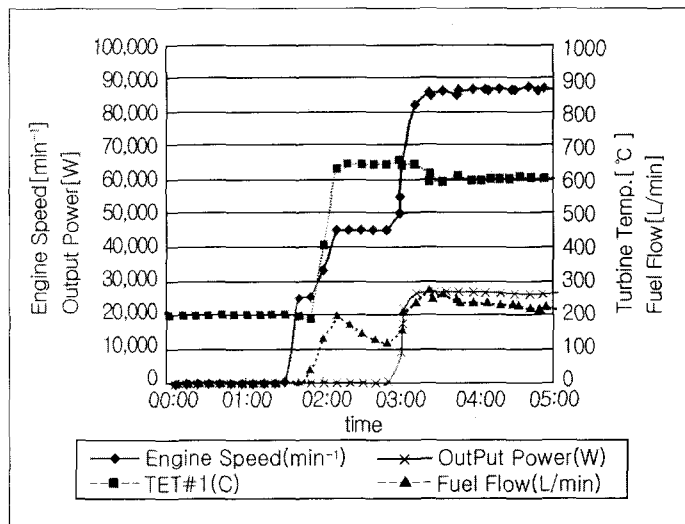
동사에서는 실제의 소화가스에 의한 발전에 앞서 소화가스를 모의한 가스에 의한 예비실험을 하였다. 실험에 사용한 회로를 그림 4에, 실험결과를 그림 5에 표시한다. 실험은 대략 CH<sub>4</sub>:CO<sub>2</sub> = 6:4로 조정된 가스를 사용하여 실시하였다.

가스공급압력을 헤더관(管) 출구에서 설정하여 마이크로터빈을 기동한다. 터빈은 기동후 25,000 min<sup>-1</sup>에서 착화하고 45,000min<sup>-1</sup>에서 난기운전을 한다. 그후 출력지령을 줌으로써 증속하여 설정한 부하에 대한 출력을 낸다.

이들의 동작은 도시가스 또는 등유를 연료로 하는 경우와 완전히 같은 동작이며 발열량이 낮은 소화가스에 의해서도 충분히 운전가능함을 확인

할 수 있었다.

마이크로터빈은 소화가스와 같은 저발열량가스를 사용하더라도 충분히 운전가능하다. 또 소비가스량은 대략 표 6과 같이 될 것으로 예상되며 보다 많은 처리장에 소화가스의 유효활용을 위한 발전을 제안할 수 있을 것으로 보고 있다.



〈그림 5〉 마이크로터빈 동작특성

〈표 6〉 마이크로터빈의 소비가스량

시간당 (m <sup>3</sup> /h)	일 량 (m <sup>3</sup> /day)	연간 소비량 (천m <sup>3</sup> /Year)
20	480	163

현재 동사에서는 작년부터 시행하고 있는 검증시험(실제의 소화가스에 의한 발전검증플랜트)에 의해 운전노하우의 축적, 경제성의 향상 등을 목표로 하는 개발을 계속하고 있다.

이 개발을 통하여 빨리 하수소화가스발전시스템의 구축을 추진해 갈 예정이다

## 5. 消化가스의 가스精製装置

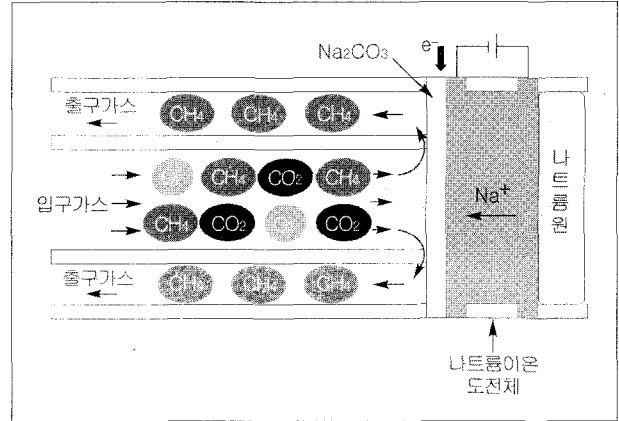
### 가. 가스精製에 대하여

하수소화가스는 약 60%의 메탄을 함유하는 유용한 에너지원이다. 그것의 유효한 이용법으로 가스엔진, 가스터빈, 연료전지 등을 사용한 발전이 알려져 있다.

소화가스는 약 40%의 CO<sub>2</sub> 가스를 포함하기 때문에 메탄농도가 도시가스에 비해 낮아 체적당 발열량이 저위(低位)이다. 이것은 각종 발전장치의 효율을 악화시키는 원인이 된다.

이들의 문제를 해결하기 위해서는 소화가스 중에 포함되는 약 40%의 CO<sub>2</sub>를 제거하지 않으면 안된다. 즉 상대적으로 메탄의 농도를 높이는 것이 바람직하다. 이렇게 하면 소화가스 저장탱크의 소형화도 기할 수 있다는 이점도 있다.

동사에서는 CO<sub>2</sub>를 포함한 소화가스에서 CO<sub>2</sub>만을 선택적으로 흡장(吸藏)하고, 흡장된 CO<sub>2</sub>를 재차 방출하는 시스템을 고안하였다. 여기서는 실험의 일례를 들어 본다.



〈그림 6〉 NASICON 반응원리

### 나. 가스精製装置의 원리

원리도를 그림 6(흡장용)에 표시한다.

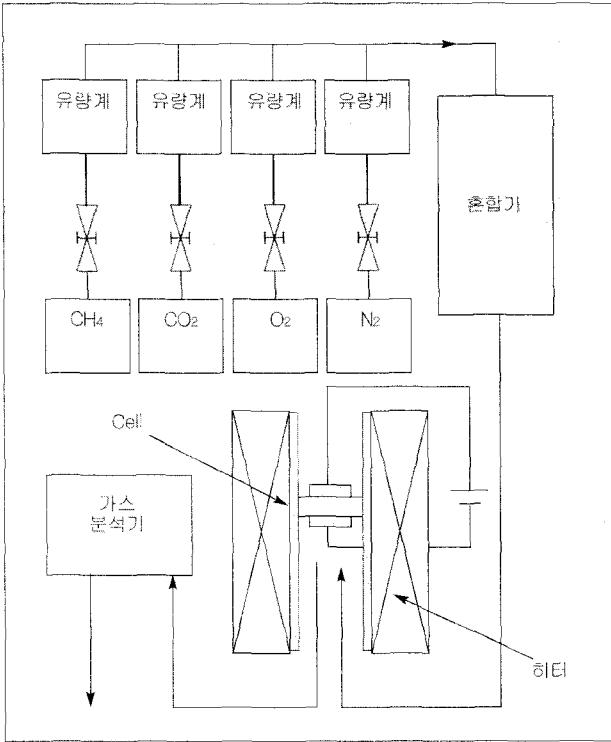
반응기는 고체전해질로 나트륨이온 도전체인 NASICON (Na-Super Ionic Conductor)을 사용, 양전극에는 백금을 사용하였다. 이 반응기를 전기로에서 소정의 온도까지 가온하고 전위를 건다. 마이너스극측에 소화가스를 투입하면 가스 중에 포함된 CO<sub>2</sub>는 전해질을 통과하여 온 나트륨이온과 미리 혼합한 O<sub>2</sub>와 (1)의 반응을 일으켜 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>의 형태로 전해질 표면에 석출되어 흡장된다.

주성분인 메탄가스는 반응을 일으키지 않고 반응기로부터 거의 100%로 농축되어 방출된다. 생성된 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>는 전극의 +, -를 바꾸어 넣음으로써 분해되어 반응기 안에 농축된 소량의 CO<sub>2</sub>가 방출되기 때문에 회수는 용이하다.



### 다. 실험장치와 실험결과

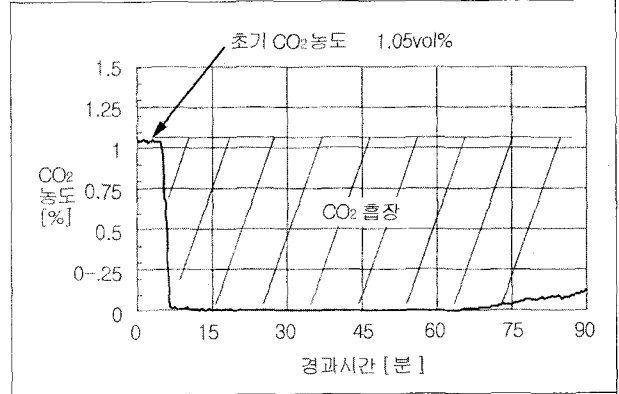
그림 7에 CO<sub>2</sub> 흡장실험장치의 개념도를 표시한다. 이



〈그림 7〉 실험장치 개념도

장치에서는 여러 가지의 가스를 혼합하여 반응가스성분을 조절할 수 있어, 모의소화가스성분의 측정이 가능하다. 장치는 소형셀을 사용하였기 때문에 CO<sub>2</sub> 농도는 실제의 소화가스보다 아주 낮게 조정하였다. 이번에 제시하는 실험에서는 CO<sub>2</sub> 농도가 약 1%가 되도록 각종 가스를 혼합하고 총유량이 1 ℓ/min가 되도록 조정하였다. 소정의 온도까지 승온한 반응기에 상기 가스를 도입하고 전해질의 양단에 전위를 걸어 CO<sub>2</sub>를 흡장시켰다.

그림 8에 CO<sub>2</sub> 흡장실험결과를 표시한다. 종축은 반응후의 CO<sub>2</sub> 농도, 횡축은 반응시간이다. 초기농도 약 1%인 CO<sub>2</sub>는 전위를 걸고 나서 2분 정도 지나자 0%로 되어 CO<sub>2</sub>가 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>로서 100% 흡장되었다. 100% 흡장시간은 약 1시간 계속되었으며 이때의 흡장효율은 약 92%였



〈그림 8〉 CO<sub>2</sub> 흡장실험 결과

다. 이 결과는 본 시스템이 소화가스의 메탄농축장치로서 이용가능함을 시사하는 것으로 현재 스케일업을 위한 개발에 노력을 경주하고 있다.

## 6. 맺음말

동사의 신에너지, 특히 바이오가스 발전에 대한 대처에 대하여 축산배설물로부터의 메탄발효시스템, 마이크로터빈에 의한 소화가스발전시스템, 그리고 가스정제기술 등을 기술하였다. 금후에도 고객의 현장실태에 맞는 저코스트로, 심플한 시스템의 개발에 노력할 예정이다.

이 원고는 일본 明電時報에서 번역, 전재한 것입니다. 본고의 저작권은 (株)明電숨에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.