

제1차년도  
중간보고서

축산분뇨 및 액비처리를 위한 연속발효 시스템 개발

Development of a Continuously Aerated Bio-Reactor(CABR)  
System for Livestock waste treatment

1995. 12.

연구기관  
(주) 과학축산

농림수산부





# 요 약 문

## I. 제 목

축산분뇨 및 액비처리를 위한 연속발효 시스템 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

최근 가축의 다두화 사육규모로 인한 축산분뇨의 환경오염 문제가 커다란 사회문제로 대두되고 있다. 과거의 소규모 축산시설에서 발생하는 가축분뇨는 대부분 주변 농경지에 유효한 비료원으로 이용되어 농업에 있어 가축분뇨는 매우 중요한 위치를 차지하였지만, 축산농가와 경종농가가 분리되어 별도의 농업형태를 발전시켜온 작금의 현황은 가축분뇨가 더 이상 유효 비료원이 아닌 정화처리 대상으로 취급되어진 것이다.

그러나 가축분뇨를 정화처리 하기 위해서는 상당한 재정적 투자와 관리의 효율성이 전제되어 실제 축산농가 현장에 이러한 정화기술을 접목시키는 것은 매우 어려운 것이 사실이다. 특히 정화처리 시설의 관리가 미흡함으로서 축산농가 주변의 수계방류 및 무원칙적인 농지 분뇨투기는 하천오염 및 토양오염의 원인이 되기 때문에 가축분뇨의 적절한 처리가 시급히 요구되어진다.

이러한 국내 사정을 고려하여, 국내 적합한 가축분뇨 처리방법의 개발조건을 든다면, 가축분뇨는 가급적이면 정화방류형태보다는 각 농가에서 일체 방류가 되지 않는 무방류처리 형태가 가장 이상적이다. 현재 국내에 소개된 가축분뇨의 무방류 처리기술은 ① 톱밥발효방식, ② 석회안정화건조방식, ③ 진공고온건조방식, ④ 메탄발효방식, ⑤ 화력건조방식 등이 있

으나, 각 방식의 단점으로 ① 톱밥등 수분조절제 수급어려움, ② 넓은 건조처리장 면적 확보, ③ 시설비의 고가, 부자재 수급, 건조처리물의 미부숙화, ④ 2차정화처리시설 부담, ⑤ 높은 연료비 부담, 건조처리물의 미부숙화 등이 지적되고 있어, 본 연구에서는 이미 국내 많은 축산농가에 보급되어 있는 가축분뇨액상저류조 시설의 일부 공정을 개선한 연속폭기식 고온액상발효조(Continuously Aerated Bio-Reactor, 이하CABR)를 국내 축산농가에 설치, 현장에서의 적용가능성과 문제점을 밝혀, 국내에 적합한 무방류처리기술을 개발하고자 한다.

### **Ⅲ. 연구개발내용 및 범위**

#### **1. 연속발효 시스템 개발**

- 가. 연속발효시스템 촉진용 발효균주 배양기술 확립
- 나. CABR(Pilot scale)의 양돈장 현장설치 및 최적운전조건 도출
- 다. CABR 부속발효 액상물(이하 Efflux) 공시재료 제작
- 라. CABR(Full scale)의 중규모 양돈장내 설치, 제작 완료

#### **2. 부속발효액상물의 농지환원기술 개발**

- 가. 농지환원 실험시설 설치
- 나. Efflux의 화학성분 분석
- 다. Efflux의 수경재배 이용성 검토
- 라. Efflux의 토경재배 이용성 검토

### **Ⅳ. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의**

#### **1. 연속발효 시스템 개발**

- 가. CABR에 첨가되는 발효촉진 균주의 배양 및 대량생산에 필요한 기초 기술자료를 습득하였다.

- 나. CABR(Pilot scale)를 소규모 양돈장에 설치, 운영하여 최적의 운전조건을 도출하기 위한 물리, 화학, 생물학적 실험이 수행되었고 각 조건에 따른 특성이 분석되었다.
- 다. 부숙발효액상물의 비료자원화를 위한 공시재료로서 CABR로부터 Efflux가 제조되었다.
- 라. CABR의 최적운전조건 실험후 보다 실제적인 현장에 접목을 위해 중규모 양돈장(양돈 3,000두규모)에 CABR(Full scale)를 설치, 제작 완료하여 현재 계속적인 연구가 진행중이다.

## 2. 부숙발효액상물의 농지환원기술개발

- 가. 발효액상물의 수경, 토경재배시 비료이용성을 검토하기위한 재배시설(비닐하우스, 150평)이 설치되었다.
- 나. 비료이용성을 위한 기초자료로서 공시재료인 부숙발효액상물(Efflux)의 화학적 성분을 분석, 검토하였다.
- 다. Efflux의 수경재배 실험결과 화학비료에 비해 비료이용성의 우수함이 입증되었다.
- 라. Efflux의 토경재배 실험결과 화학비료에 비해 비료안전성의 우수함이 입증되었다.

## SUMMARY

Recently, large amount of the excrement of livestock has accumulated due to raising a large number of livestock with a restricted area of land available, and they have consequently polluted the environment.

This study was conducted to develop a simple and inexpensive livestock waste treatment system which can reduce waste quantity, malodors and environmental pollution in pig farm.

A pig waste treatment system utilized in this study is a Continuously Aerated Bio-Reactor(CABR) system, which treats concentrated swine wastewater using small amounts of phototrophic bacteria as additive bacterial seeding. Using this plant(Pilot scale), about 40% of the wastewater inputed was evaporated and 87% of total Biochemical Oxygen Demand(BOD) and almost volatile lower fatty acids were removed during thermophilic aerobic digestion for 24h.

Especially, deodorized swine wastewater by-products (called as Efflux) had enough nutrients, N, P and K for growing plant, as well as organic matters. The influence of the efflux on the agronomic value was also studied. When the efflux was applied to Italian ryegrass with high dose, fresh shoot and root weights were significantly greater, and  $\text{NO}_3\text{-N}$  contents of the dried shoot were lower than those of the chemical control plant.

The results of this study indicate that the CABR system is useful for

reduction of livestock waste quantity, deodorization and transformation to useful by-product as an organic fertilizer.

Practical application of CABR system(Full scale) to more big scale pig farm and recycling technique development of the efflux for an organic fertilizer will be studied intensively.

# CONTENTS

I . Introduction	
1. Objectives and scope of research .....	9
2. Goals of research .....	11
(1) Final goals of research .....	11
(2) Goals of research for this year .....	11
II . Development of CABR system	
1. Materials and methods .....	14
2. Intermediate results of research .....	19
III . Development of Recycling Technology	
1. Materials and methods .....	23
2. Intermediate results of research .....	28
IV . Expected accomplishment and its application .....	45
V . References .....	50

# 목 차

## 제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위 .....	9
제 2 절 연구개발사업 목표 .....	11
1. 최종연구 사업개발 목표 .....	11
2. 당해연도 연구개발 사업목표 .....	11

## 제 2 장 연속발효시스템 개발

제 1 절 실험내용 및 방법 .....	14
제 2 절 연구개발 중간결과 .....	19

## 제 3 장 부속발효물의 자원화 기술개발

제 1 절 실험내용 및 방법 .....	23
제 2 절 연구개발 중간결과 .....	28

## 제 4 장 기대되는 성과 및 활용성 .....

45

## 제 5 장 참고문헌 .....

50

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구개발의 목적과 범위

최근 가축의 다두화 사육규모로 인한 축산분뇨의 환경오염 문제가 커다란 사회문제로 대두되고 있다.<sup>5)</sup> 과거의 소규모 축산시설에서 발생하는 가축분뇨는 대부분 주변 농경지에 유효한 비료원으로 이용되어 농업에 있어 가축분뇨는 매우 중요한 위치를 차지하였지만, 축산농가와 경종농가가 분리되어 별도의 농업형태를 발전시켜 온 작금의 현황은 가축분뇨가 더 이상 유효 비료원이 아닌 정화처리 대상으로 취급되어진 것이다.

그러나 가축분뇨를 정화처리 하기 위해서는 상당한 재정적 투자와 관리의 효율성이 전제되어 실제 축산농가 현장에 이러한 정화기술을 접목시키는 것은 매우 어려운 것이 사실이다. 특히 정화처리 시설의 관리가 미흡함으로서 축산농가 주변의 수계방류 및 무원칙적인 농지 분뇨 투기는 하천오염 및 토양오염의 원인이 되기 때문에 가축분뇨의 적절한 처리가 시급히 요구되어진다.<sup>4),5),18)</sup>

이러한 여러 여건을 고려하여 볼 때 국내에 적합한 가축분뇨처리방법으로서 다음과 같은 기본조건이 제시된다. 즉 축사환경면에서는 축사내부가 청결하고, 냄새가 없는 사육환경이 되도록 개선이 가능한 방법이 개발되어야 하며, 농·축산농가면에서는 처리시설이 경제적이며 농가에 부담을 적게 주는 방법이 개발되어야 하며, 주변수계환경면에서는 수질오염의 원인이 되는 폐수방류를 가급적 지양한 무방류 형태의 방법이 개발되어야 하며, 지역농업면에서는 안전한 농지환원이 가능하며, 지역경종농가에 비료자원으로 이용이 가능한 기술개발이 되어야 한다.

이상 서술한 바와같이, 가축분뇨는 가급적이면 정화방류형태보다는 각

농가에서 일체 방류가 되지 않는 무방류처리 형태가 가장 이상적이다. 현재 국내에 소개된 가축분뇨의 무방류 처리기술은 ① 톱밥발효방식,<sup>2)</sup> ② 석회안정화건조방식, ③ 진공고온건조방식, ④ 메탄발효방식,<sup>7)</sup> ⑤ 화력건조방식<sup>14)</sup> 등이 있으나, 각 방식의 단점으로 ① 톱밥등 수분조절제 수급어려움, ② 넓은 건조처리장 면적 확보, ③ 시설비의 고가, 부자재 수급, 건조처리물의 미부숙화, ④ 2차정화처리시설 부담,<sup>7)</sup> ⑤ 높은 연료비 부담, 건조처리물의 미부숙화 등이 지적되고 있어, 본 연구에서는 이미 많은 농가에 보급되어 있는 가축분뇨액상저류조<sup>6)</sup> 시설의 일부 공정을 개선한 연속폭기식 고온액상발효조(CABR)의 무방류처리기술을 국내 현장농가에 설치, 현장에서의 적용가능성과 문제점을 밝혀, 국내에 적합한 무방류처리기술을 개발하고자 한다.

## 제 2 절 연구개발사업 목표

### 1. 최종 연구 사업개발목표

#### 가. 연속발효 시스템 개발(Pilot Scale)

- (1) 고온성 발효균주 배양기술 확립
- (2) CABR시스템 최적관리 기술개발(물리, 화학, 생물적 관리)
- (3) CABR 처리액의 세척수 이용효과 분석

#### 나. 발효시스템 현장 연구(Full Scale)

- (1) 중규모 대규모 양돈 농가에 현장적용기술 개발 및 운전조건 확립
- (2) CABR이용에 따른 경제성 분석

#### 다. 부속발효고형물의 육묘상토 개발

- (1) CABR처리 고형물의 육묘상토이용성에 대한 기초기술 개발

#### 라. 부속발효 액상물의 농지환원기술개발

- (1) CABR처리 액상물의 배지경 기초기술 확립
- (2) 시설원에 토양에서의 시용방법 및 효과에 대한 기초기술 개발

### 2. 당해연도 연구개발 사업목표

#### 가. 연속발효 시스템 개발(Pilot Scale)

- (1) 고온성 발효균주 배양기술 확립
- (2) CABR설치(Pilot Scale) 및 운전조건도출 성적검토(물리적 분석)
- (3) 부속발효액상물 이용성 연구위한 공시재료 생산

#### 나. 발효시스템 현장 연구(Full Scale)

- (1) 중·대규모 양돈농가(3,000두 규모)에 CABR(Full-Scale) 제작 및 설치
- (2) CABR(Full Scale)의 현장 운전조건 도출(물리적 분석)
- (3) 부속발효고형물의 상토이용위한 공시재료 생산

#### 다. 부속발효고형물의 육묘상토 개발

- (1) 상토 재배시설 장치 제작(비닐하우스)
- (2) CABR(Full Scale)배출 고형물의 화학적 분석
- (3) 상토로서의 이용특성에 대한 육묘효과의 비교검토

라. 부숙발효 액상물의 농지환원기술개발

- (1) 액비 농지환원 시설제작(비닐하우스)
- (2) CABR(Pilot Scale)배출 액상물의 화학적 분석
- (3) 양액재배로서의 이용성 기초검토(수경재배)
- (4) 액비로서의 이용성 기초검토(토경재배)

## 제 2 장 연속발효 시스템 개발

가축분뇨의 연속발효(CABR) 시스템개발에 대한 연구실험에 있어 대상 가축분뇨는 현재 가장 환경오염에 문제가 되고있는 양돈분뇨를 대상으로 실시하였으며, 1차연도에서는 실제 축산농가에서 CABR pilot 시스템을 설치, 이용하여 양돈 분뇨를 효율적으로 처리할 수 있도록 현장 실험을 실시하였다. CABR pilot 시스템은 양돈 500두 규모를 대상으로 제작되었으므로, 실험실용 반응기와 같이 다양한 처리조건을 변화시키기보다는 농가현장에서 물리적 변화를 중심으로 한 최적의 운전조건을 도출하는데 주안점을 두었다. 한편 CABR 시스템에 접종균주로 이용되는 발효촉진균주인 광합성 세균은 기초배양과 대량배양과정을 거쳐, 본 연구에 이용하였다.

본 1차연도 CABR 시스템개발을 위한 수행과정은 다음과 같은 계획에 의하여 수행되었다.

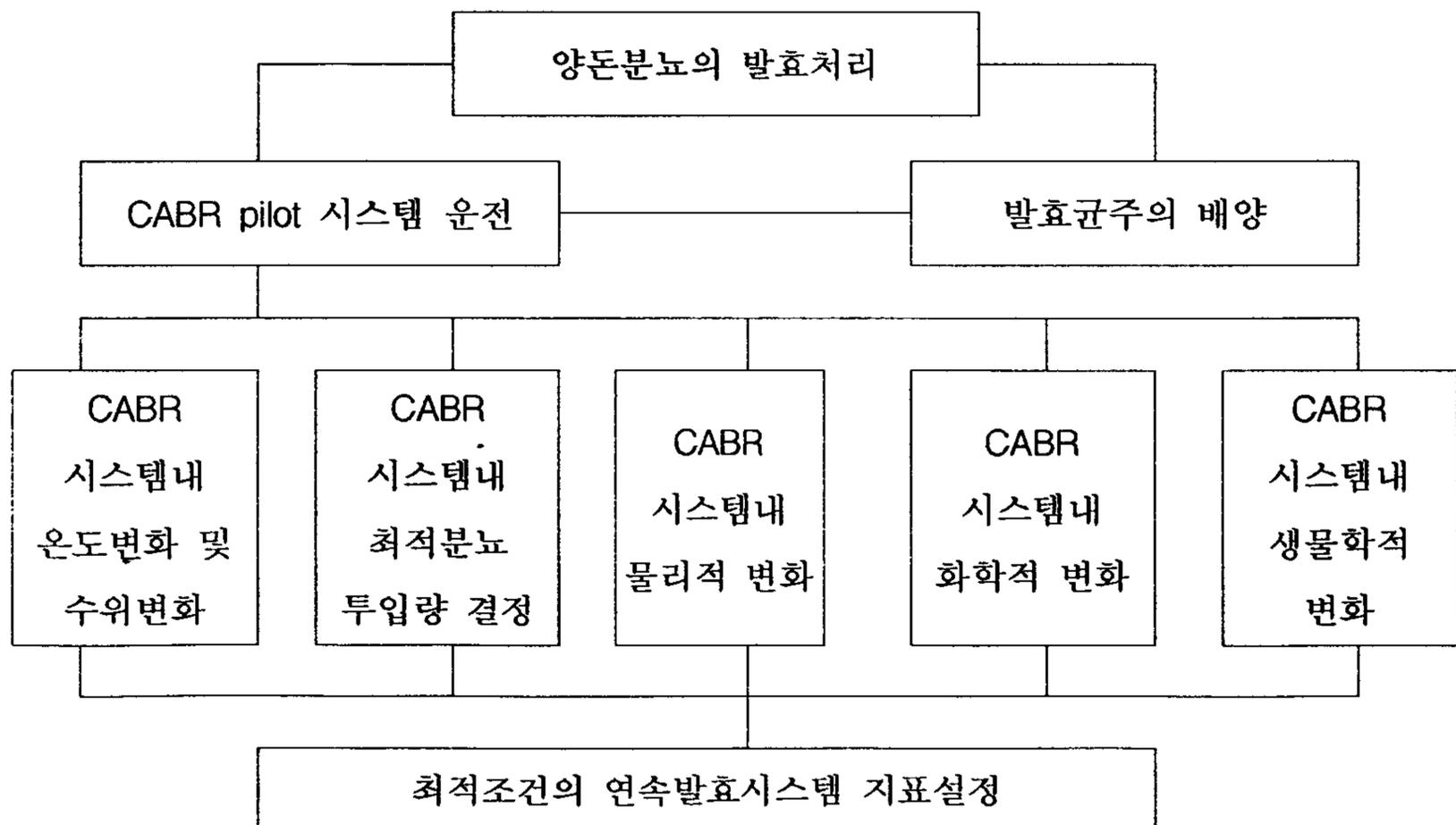


그림 1. 연속발효시스템 개발을 위한 진행계획

## 제 1 절 실험내용및 방법

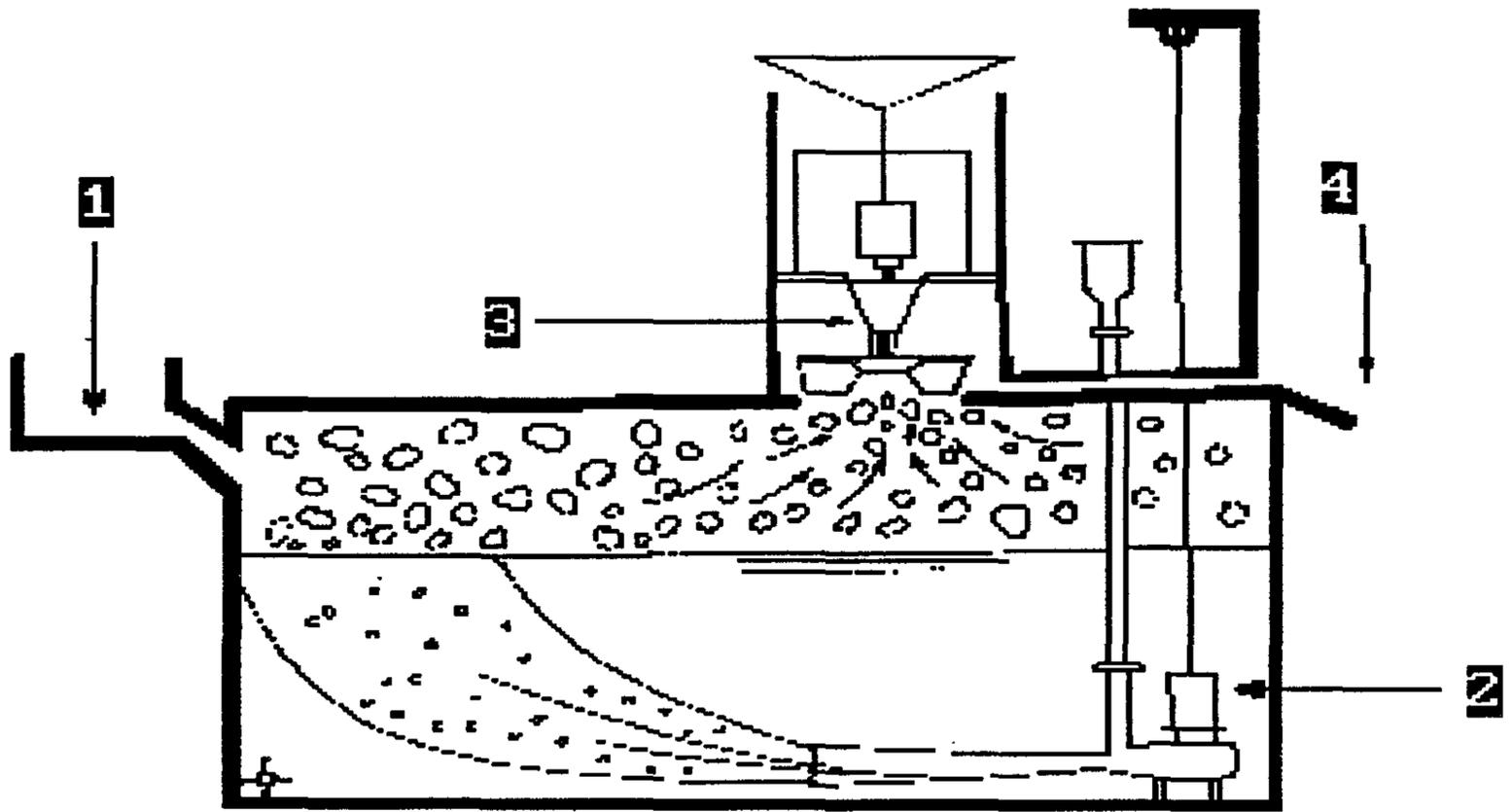
### 1. 연속발효시스템(CABR)

본 실험의 대상폐기물인 양돈분뇨는 양돈 500두 규모의 농장을 대상으로 농가현장에 직접 CABR pilot plant를 설치, 운전하였으며, 연구수행시 가급적 분의 신선도를 유지하면서, 실제 농가에서 직접 분뇨처리에 이용할 수 있도록 매일 가동하는 것을 원칙으로 하였다.

본 연구에 사용된 CABR 시스템의 크기는 가로×세로×높이 각각 3.4m×3.4m×2.0m의 사각형으로 내부는 스테인레스재질로 제작되었다. 펌프의 공기유입량은 65m<sup>3</sup>/h정도이며, 접종균주의 매일 접종량은 투입분뇨 m<sup>3</sup>당 10~30g(10<sup>12</sup>cell/g) 정도이다.

그림 2는 CABR 시스템의 개략도를 나타내고 있다. 1일 분뇨혼액 투입량 2 - 3t을 CABR내에서 폭기처리하면, 동량 또는 그 이상의 액량을 분해증산 또는 기포액으로 배출되어진다. 따라서 매일 돈사로부터 유입하는 분뇨혼액을 CABR에 투입할 수 있게 된다.

본 방법의 특징은 기포에 부착시켜 탈모나 분해불가능한 입상물질을 폭기조외로 배출시키는 것이다. 예를들어 양돈 돈사내로부터 분과 뇨를 무희석 상태로 CABR에 투입하면 CABR내 수중펌프에 의해 강력한 폭기처리가 행하여지고, 이에 동반하여 고온이 발생하며, 다량의 기포가 발생된다. 발생된 기포층은 외부온도와 차단되어 열의 단열효과를 가져다 주는데 이렇게 발생하는 다량의 기포는 소포기에 의해 소포되어 액상화된후 CABR외부로 배출된다. 이과정에서 다량의 기포속에 들어있는 고온의 수증기가 소포되면서 CABR외부로 증산되어 수분의 감량화가 촉진된다.



1. 투입구 2. 컴프레서 3. 소포기 4. 배출구

그림 2. CABR 시스템의 개략도

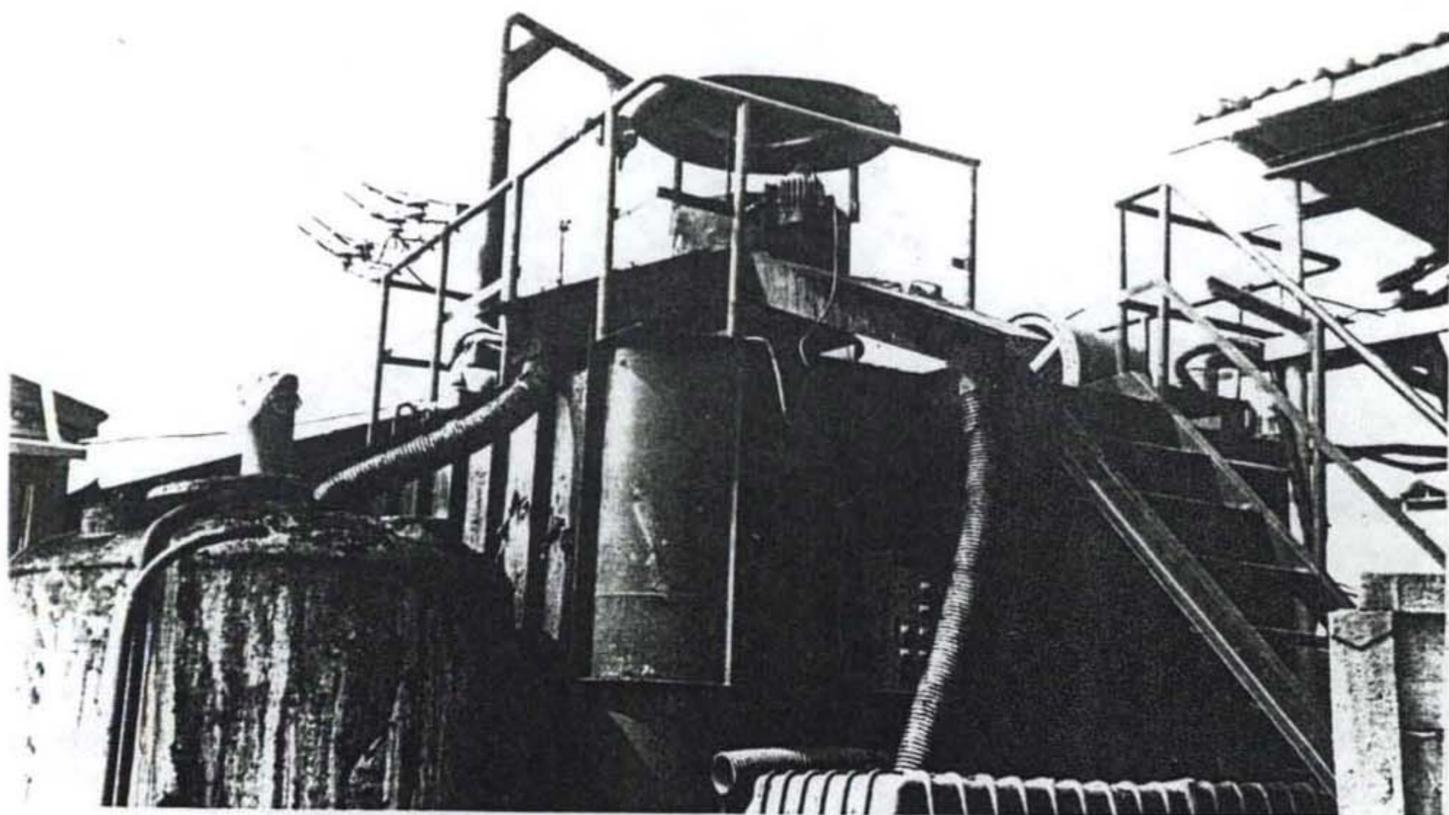


사진 1. CABR pilot plant 시설(500두 양돈장 규모)

## 2. 발효균주의 배양

본 CABR 시스템의 접종균주로 이용되는 광합성세균은 선택배지를 이용하여 자연계내에서 분리한 균주로서, 기초배양시는 Sawada 등<sup>23)</sup>의 배양액 조성성분을 기초로 2.5 l Jar-fermentor(한국발효기)를 이용하여 대량배양용 seed를 제작하고, 발효균주의 대량생산시는 200 l 투명용기(자체제작)를 이용하여 호기, 광 조건하에서 반연속 자연배양한 것을 이용하였다.

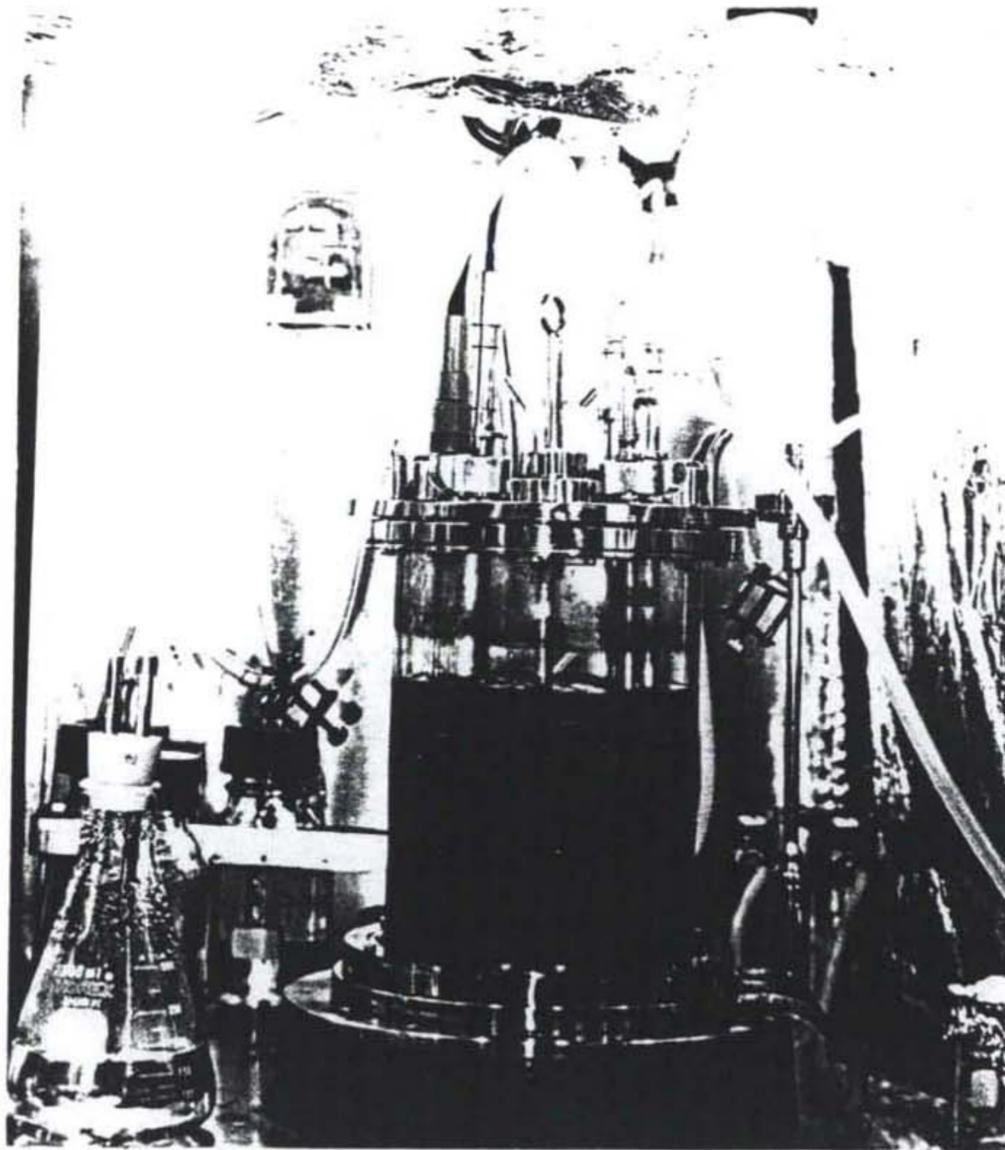


사진 2. 고온분해균주의 대량생산 기술

## 3. 분석방법

CABR 시스템의 연구에 있어서 연속발효과정중 물리, 화학, 생물학적 분석방법은 다음과 같으며, 분석의 빈도는 연구수행시 필요에 따라 임의로 실시하였다.

분석항목은 연속발효처리과정중 온도, pH변화, 1일처리량, 건물량, 회분량, BOD, COD, N, P, VFA, 중온균, 고온균, 사상균, 광합성세균 등으로 항목별 분석 방법은 다음과 같다.

분 석 종 목	분 석 방 법
온 도	Record를 부착한 온도 sensor를 이용하여 연속측정하였으며, 필요에 따라 일부 수동으로 측정함
pH	분뇨의 액상시료를 10분간 균일하게 혼합한 후 pH meter를 이용하여 측정
1일분뇨처리량	CABR 시스템내 분뇨투입후의 수위로부터 24h후 신선분뇨 투입전 수위를 뺀 것으로 CABR 시스템외부로 증발 또는 소포처리된 액 전체량을 의미한다.
건 물 량	시료 약 50g을 105°C Dry oven에서 12시간 이상 건조처리한 후의 잔존량을 측정
회 분 량	건물량을 550°C Muffle furnace로 2시간 이상 강열 감량을 측정
BOD	수질공정시험법 <sup>9)</sup> 에 의거함
COD <sub>Mn</sub>	수질공정시험법 <sup>9)</sup> 에 의거함
Kjel-N	토양화학분석법 <sup>17)</sup>
NH <sub>4</sub> -N	Indophenol blue 법 <sup>17)</sup>
NO <sub>3</sub> -N	Brucine sulfate법 <sup>17)</sup>
P	Metavanadate법 <sup>17)</sup>
VFA	GC-FID <sup>17)</sup>
대 장 균	BGLB MPN 방법 <sup>9)</sup>
중 온 균	30°C, 1/10 분뇨혼합배지 <sup>25)</sup>
고 온 균	50°C, 1/10 분뇨혼합배지 <sup>25)</sup>
사 상 균	토양화학분석법 <sup>17)</sup>
광합성세균	Modified MPN 방법 <sup>21)</sup>

## 제 2 절 연구개발 중간결과

### 1. 연속발효시스템의 운전조건 변화

연속발효(CABR)시스템의 운전조건중 대표적 예를 표 1에 나타내었다. '95년 5월부터 10월말까지 약 6개월간 CABR 시스템을 가동시키면서 분뇨의 투입량, 분뇨투입전후 온도, 발효처리중 온도의 변화 및 폭기처리에 따른 분뇨의 일일 수분처리량을 살펴보면 분뇨투입전후에 따라 온도가 약간(0 ~ 10℃) 떨어지나 폭기처리하면서 전반적으로 50℃이상을 유지, 일시적으로는 65℃까지 매우높은 온도를 유지하기도 했다. 이러한 처리과정중 발생된 기포는 소포기에 의해 CABR 시스템 밖으로 배출되어져 배출액과 소포시 대기중 증산되는 수분의 총량은 적정처리량으로 계산하였다. 적정처리량은 CABR 면적(3.4m×3.4m)당 처리용량으로 계산할 수 있으며, 이 수치는 부숙발효액비생산시 1일 처리량으로 환산할 수 있는 총량이 된다.

표 1. CABR 시스템의 처리 결과

처리 예	온도(℃)		분뇨투입량(t)		처리중 최고온도(℃)	적정처리량 (m <sup>3</sup> /日)	CABR용적당 처리용량(ℓ/m <sup>2</sup> 日)
	투입전	투입후	분	뇨			
1	47	47	1.0	3.0	54	2.8	242
2	48	40	0.5	2.8	53	2.4	207
3	48.5	45	0.5	2.7	57.5	3.5	302
4	49	48.5	0.1	0.9	52	1.0	86
5	51	47	0	1.8	52	1.0	86
6	44	40	0.4	2.6	50	3.1	268
7	47	46	0	2.3	53	2.0	173
8	48	46	0.1	0.9	55	2.0	173
9	48	46.1	0.3	0.7	51	1.0	86
10	46.4	44	0.5	2.0	51.5	1.5	130
11	49.5	43.6	0.5	3.0	58	2.0	173
12	49.5	39.3	0	1.3	50.6	1.5	130

## 2. 연속발효시스템의 물리적 특징

본 CABR 시스템의 운전중 가장 특징적인 것은 고온폭기식처리를 통해 분뇨의 상태를 고온상태로 전환하여 일반 고형퇴비화 방식과 같이 높은 분해효율을 얻고자 하는 것이다. 이러한 고온발효방식은 단순한 공기주입에 따른 호기적 분해촉진 뿐만 아니라, 분뇨중에 함유된 수분의 함량을 가급적 감량화하여 2차 처리시 작업의 난이도를 훨씬 경감케하며, 동시에 악취가 제거되면서 오물감을 없애준다는 점이다.

CABR 시스템을 가동시키면서 연속운전시 대표적인 물리적 변화를 표 2에 나타내었다.

표 2. CABR 시스템의 물리적 변화

분 석 항 목	투입분뇨	배 출 액	$\frac{\text{전배출액}}{\text{전투입분뇨}} \times 100$
분뇨투입량(m <sup>3</sup> )	2.8	1.8	64
분(m <sup>3</sup> )	0.3	-	-
뇨(m <sup>3</sup> )	2.5	-	-
건 물 량(kg)	168	127	76
수분함량(kg)	2,622	1,643	63
회 분 량(kg)	35	24	69
pH	7.0	8.2	-
온 도(°C)	25	40 - 50	-
소포액배출속도(l/h)	-	50 - 240	-
색 도	황 색	흑갈색	-

표 2에 나타난 바와같이 투입분뇨 2.8t중 전체가 CABR 시스템 밖으로 배출되면서 그중 1.8t만이 수분의 형태를 유지할 뿐 나머지 1.0t은 소포기작중 공기중으로 증산되어 약 36%의 증발효과가 있음을 입증하고 있다. 이러한 증산효과는 투입분뇨 및 CABR내 분뇨액상물의 발효조건에 따라 현장에서

다르게 나타나나 적게는 25% - 많을경우는 50%이상의 효과를 보여주고 있다. 수분의 증산효과와 함께 발효부숙처리 액상물의 pH상승현상은 본 처리방법이 고형퇴비화처리와 유사한 mechanism을 보유하고 있음을 시사하고 있다.

### 3. 연속발효시스템의 화학적 변화

CABR 시스템의 운전을 화학적인 관점에서 볼때 가장 주목할 점은 물질적 안정화란 점이다. 즉 물질적 안정화란 저급유기물의 분해반응과 무기물의 유기화 반응을 동시에 의미한다. 저급유기물의 분해반응이란 저급지방산과 같은 악취물질의 제거를 의미하며, 무기물의 유기화란 전질소 성분 가운데 유기태질소의 비율의 상승으로 알 수 있다.

표 3. CABR 시스템의 화학적 변화

분 석 항 목	투 입 분 뇨	배 출 액	$\frac{\text{전배출액}}{\text{전투입분뇨}} \times 100$
	(mg/ℓ)	(mg/ℓ)	(%)
BOD <sub>5</sub>	55,687	11,500	13
COD <sub>Mn</sub>	5,210	5,675	68
Kjel-N	1,937	3,410	110
NH <sub>4</sub> -N	728	457	39
NO <sub>3</sub> -N	53	105	123
P	1,250	2,250	113
Acetic acid	4,687	171	2
Propionic acid	1,187	30	2
Butyric acid	978	11	1
Valeric acid	569	N.D*	0

N.D\* : Not Detected

표 3에 CABR 시스템의 화학적 변화를 나타내고 있다. 부숙처리로 인해 BOD, COD의 경감효과는 각각 87%, 32% 정도이며, 소포배출액의 N, P 농축현상은 CABR시스템의 증산효과로 인한 결과로 사료되어진다. 특히 투입 분뇨중 다량 함유되어 있는 악취성 저급지방산의 저감현상은 본 CABR 시스템의 최대 특징으로 판단되어진다.<sup>22),23)</sup>

#### 4. 연속발효시스템의 생물학적 변화

연속발효처리중 온도상승에 따른 미생물상의 변화를 표 4에 나타내었다. 미생물상의 가장 큰 변화는 투입분뇨에 비해 배출액내에 50℃상에서 생존하는 고온성 세균의 비율이 높게 증가됨을 알 수 있다. 이러한 증가현상은 증온상태에서의 처리후 온도의 상승이 고온 발효균주의 폭발적 증식에 기인함을 간접적으로 시사하고 있음을 말하고 있다. 미생물상의 변화는 금후 처리시간 변화에 따라 구체적으로 연구되어질 예정이다.

표 4. CABR 시스템의 생물학적 변화

분 석 항 목	미생물 균수(cell/ml)	
	투입분뇨	배출분뇨
중 온 균	$3.4 \times 10^7$	$6.5 \times 10^7$
고 온 균	$8.5 \times 10^5$	$2.0 \times 10^7$
광합성세균	$1.1 \times 10^2$	$9.0 \times 10^2$
장 내 세 균	$1.6 \times 10^3$	$3.5 \times 10^2$
사 상 균	6	불검출

## 제 3 장 부속발효물의 농지환원기술개발

최근 집약적 가축사육으로 인한 최대 문제점은 가축분뇨를 처리하는데 환경적으로, 경제적으로 실용적이어야 한다는 점에 있다.<sup>1),3)</sup> 과거에는 소량의 가축분뇨를 비료로서 재이용하여 유기물질의 재순환이라는 자연순환의 원칙에 순응한데 반해, 최근 일시 다량의 분뇨배출은 톱밥이나 왕겨와 같은 부자재를 이용한 퇴비화방식의 필요성을 역설케 하였다. 본 연구에서 이용되고 있는 연속발효(CABR) 시스템은 수분감량화, 악취제거, 물질의 안정화를 이룬 것으로 일체의 부자재를 필요치 않으며, 비료 특히 액비로서 농가에 이용될 수 있어 새로운 분뇨처리물로서 그 이용성이 검토되어야 할 것이다.<sup>19),20)</sup> 과거의 액비방법은 단순한 저장액비방법 또는 간헐적 호기처리를 통해 물질이 안정화되어 있지 못한 이유로 농지환원시 악취의 발산으로 여러 민원의 원인이 된 것은 사실이다. 더구나 미부숙된 액비는 작물의 발아 또는 생육에 악 영향을 미치게 되므로 이러한 현상을 미연에 방지하기 위해서는 반드시 액비이용성에 대해서 다각적으로 검토되어야 한다.<sup>6),11),12)</sup>

본 장에서는 연속발효(CABR) 시스템으로 부속처리된 양돈분뇨의 부속발효물(이하 Efflux)의 비료이용성에 대해 농지환원을 위한 기초자료를 삼고자 수경, 토경재배를 통한 시험 결과를 보고한다.

### 제 1 절 실험내용 및 방법

#### 1. 부속발효물의 준비

부속발효물(Efflux)은 CABR pilot 시스템으로부터 배출된 처리물을 4℃에 냉장보관하여 작물재배시험에 공시재료로 사용되었다.

## 2. 부속발효물의 화학적 성분

Efflux의 화학적 성분은 작물재배에 필요한 영양분의 균형을 보완하기 위해 필수적이다. Efflux의 각 성분의 분석은 제 2 장 CABR시스템의 분석항목에서 밝힌바와 같으며, 단 Ca, Na, Mg 등 무기이온의 분석은 원자흡광광도계를 이용, 분석하였다. Efflux의 원소성분함량은 표 5에 나타내었다.

표 5. CABR 시스템의 발효액비 화학성분

(농도 ppm)

조성성분	농 도	조성성분	농 도
NH <sub>4</sub> -N	457	Mg	740
NO <sub>3</sub> -N	105	Na	384
Org-N	2,953	Fe	234
Total - N	3,515	Zn	50
T-P	1,878	Mn	28
K	1,596	Cu	19
Ca	2,742	Cd	0.002

## 3. 수경재배, 토경재배 시험배양액 준비

Efflux의 원소함량을 기준으로 두가지 형태의 화학비료구(속효성 화학비료구, 완효성 화학비료구)를 설정한 뒤, 속효성 화학비료구를 “CHM”, 완효성 비료구를 “CDU”로 명명하고, Efflux의 수경재배액으로서의 이용가능성을 화학비료구와 비교 검토하였다. Efflux, CHM, CDU 각 수경재배용액의 화학성분은 표6, 표7과 같다.

표 6. 작물재배 배양액의 화학적 조성

Efflux		CDU		CHM	
Component	Content (mg/ ℓ )	Component	Content (mg/ ℓ )	Component	Content (mg/ ℓ )
NH <sub>4</sub> -N	457	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,155	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,155
NO <sub>3</sub> -N	105	KNO <sub>3</sub>	757	KNO <sub>3</sub>	757
Organic-N	2,953	CDU mixed*	6,464	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	2,954
Total-P	1,878	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	6,234	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	8,602
K	1,596	KCl	1,001	KCl	2,473
Ca	2,742	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	16,178	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	16,178
Mg	740	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7,552	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	7,552

\* CDU mixed fertilizer composed of N(8% from CDU and 8% from (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), P(8% from (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) and K(12% from K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

표 7. 작물재배 배양액의 원소함량

Element	Content(mg/ ℓ )		
	Efflux	CDU	CHM
N	3,515	3,515	3,515
NH <sub>4</sub> -N	457	974	974
NO <sub>3</sub> -N	105	2,024	2,541
Organic-N	2,953	517	0
P	1,878	1,878	1,878
K	1,596	1,592	1,586
Ca	2,742	2,742	2,742
Mg	745	745	745

표 7에 나타난 바와 같이 Efflux, CDU CHM 3가지 비료구의 용액을 수경 재배와 토경배지목적으로 각각 희석하여 작물생육농도에 맞게 제조하였으

며, 수경재배용은 표 8에 토경재배용은 표 9에 각각 비료성분 함량을 나타내었다.

표 8. 수경재배에 사용된 각액비의 화학성분구성

Culture Solution	Element	Content(mg/ ℓ )					
		N-5	N-10	N-20	N-40	N-80	N-160
Efflux	T-N	5.0	10.0	20.0	40.4	80.8	161.7
	NH <sub>4</sub> -N	0.7	1.3	2.6	5.3	10.5	21.0
	NO <sub>3</sub> -N	0.2	0.3	0.6	1.2	2.4	4.8
	Org-N	4.2	8.4	16.8	34.0	67.9	135.8
CDU	T-N	5.0	10.0	20.0	40.4	80.8	161.7
	NH <sub>4</sub> -N	1.4	2.8	5.6	11.2	22.4	44.8
	NO <sub>3</sub> -N	2.9	5.8	11.5	23.3	46.6	93.1
	Org-N	0.7	1.5	2.9	5.9	11.9	23.8
CHM	T-N	5.0	10.0	20.0	40.4	80.8	161.7
	NH <sub>4</sub> -N	1.4	2.8	5.6	11.2	22.4	44.8
	NO <sub>3</sub> -N	3.6	7.2	14.5	29.2	58.4	116.9
	Org-N	0	0	0	0	0	0
P		2.7	5.4	10.7	21.6	43.2	86.4
K		2.3	4.6	9.1	18.4	36.7	73.4
Ca		3.9	7.8	15.6	31.5	63.1	126.1
Mg		1.1	2.1	4.3	8.6	17.1	34.3

표 9. 토경재배용 액비의 화학성분 구성

Culture Solution	Element	Content(mg/ ℓ )				
		N-100	N-200	N-400	N-800	N-1600
Efflux	T-N	100	200	404	808	1616.9
	NH <sub>4</sub> -N	13.0	26.0	52.5	105.1	210.2
	NO <sub>3</sub> -N	3.0	6.0	12.0	24.1	48.3
	Org-N	84.0	168.0	339.5	679.2	1358.3
CDU	T-N	100	200	404	808	1616.9
	NH <sub>4</sub> -N	27.8	55.5	112.0	224.0	448.0
	NO <sub>3</sub> -N	57.6	115.1	232.6	465.5	931.0
	Org-N	14.6	29.4	59.4	118.9	237.8
P		53.5	107.0	216.0	431.9	863.9
K		45.5	91.0	183.5	367.1	734.1
Ca		78.1	156.2	315.3	630.7	1261.3
Mg		21.2	42.5	85.7	171.4	342.7

Micronutrients of Kimura's B solution were supplied to CDU

: Mn(0.04mg/ ℓ ), B(0.01mg/ ℓ ), Mo(0.001mg/ ℓ ), Zn(0.001mg/ ℓ ),  
Cu(0.001mg/ ℓ ) and Fe(5.0mg/ ℓ ).

#### 4. 작물시험 재배

벼는 10일간의 발아과정후, 3 ℓ 의 Plastic pot에 일정한 임의의 농도(N-5 ~ N-160)에 맞게 이식된 후, 28일간 생육되었다. 생육기간중에 배양액을 일체 교환하지 않고 증발 수분량만큼만 증류수로 보충하였다.

한편 토경재배 작물에는 목초인 Italian ryegrass가 사용되었으며, 각 1kg 의 pot에 0.3g의 종자가 파종되었다. 30일간의 생육후 지상부는 1차 분석에 이용되었으며 1차 30일간의 생육실험후 연속해서 30일간의 2차 생육실험을 실시하였다. 토경재배 1차, 2차 생육실험기간 동안 비료성분 시용은 1회만 실시했다.

## 제 2 절 연구개발 중간결과

### 1. 수경재배 실험

표 10은 28일간 벼의 신선중을 나타내고 있다. 28일간의 수경재배결과 N-20까지는 Efflux, CHM, CDU 어느 구에서나 커다란 차이가 없었으나, N-40이후부터 CHM구에서는 생육이 불량하였으며, CDU구에서도 Efflux구에 비해 지상부의 생육량이 낮음을 알 수 있었다. 이러한 지상부의 생육차는 뿌리의 생육과 유사한 결과를 나타내고 있어, 고농도의 질소 투입에 따른 Efflux구의 생육촉진 현상은 뿌리발달과 밀접한 상관관계가 있음을 시사하고 있다.

표 10. 질소 농도별 벼의 생육(신선중, 28일간)

(단위 : g F.W)

구 분		N-5	N-10	N-20	N-40	N-80	N-160	N-320
지상부 (Shoot)	Efflux	1.10	1.29	2.00	3.20	5.55	8.0	5.87
	CHM	1.15	1.55	1.75	-	-	-	-
	CDU	1.00	1.50	2.00	1.90	1.51	1.46	1.40
지하부 (Root)	Efflux	1.05	1.20	1.80	2.40	3.77	3.25	2.32
	CHM	1.19	1.55	1.08	-	-	-	-
	CDU	1.01	1.41	1.15	0.57	0.52	0.41	0.36

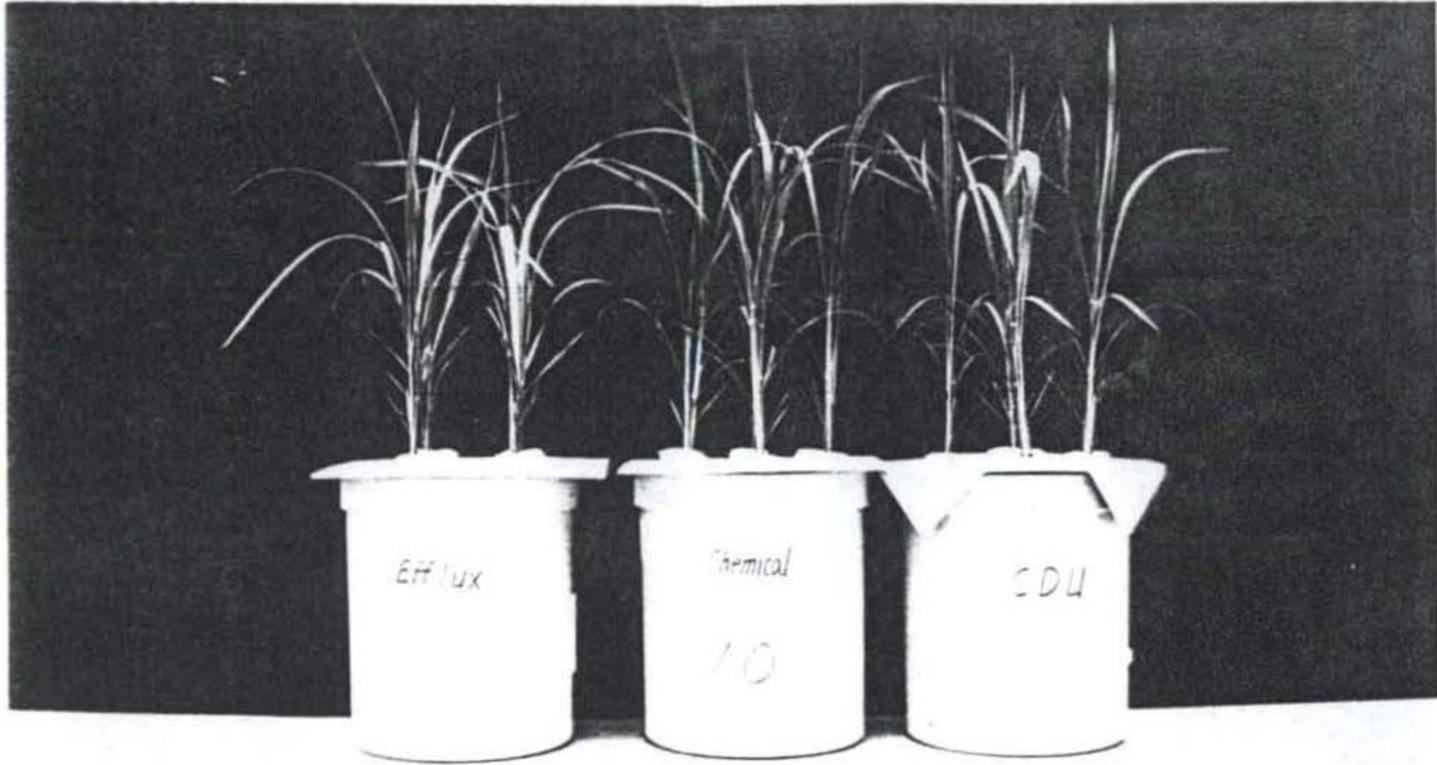


사진 3. 양액별 28일간 벼의 수경재배 생육비교와 Efflux구의 N농도별 생육모습

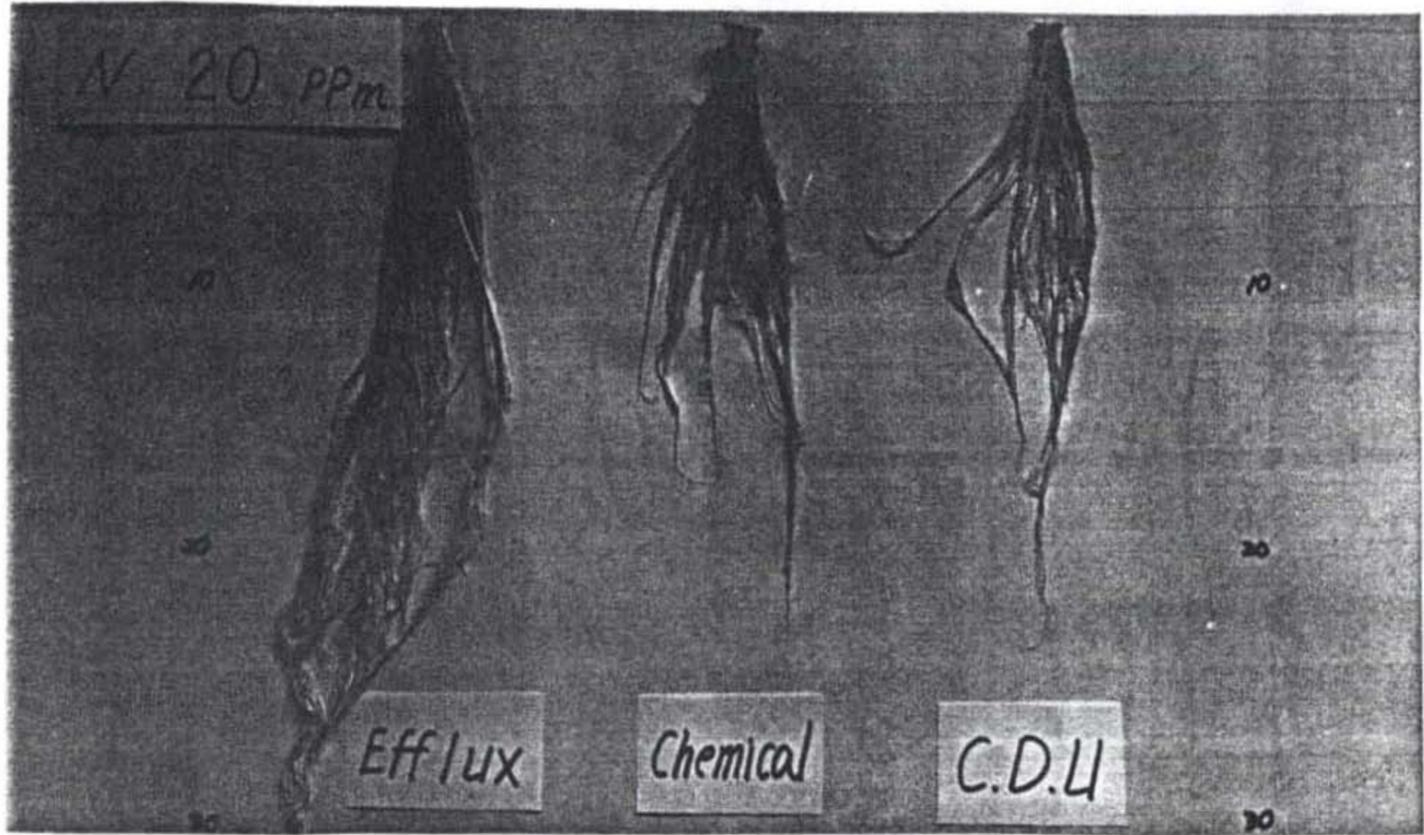


사진 4. 28일간 벼의 수경재배에 있어서 N농도별 지하부의 생육모습

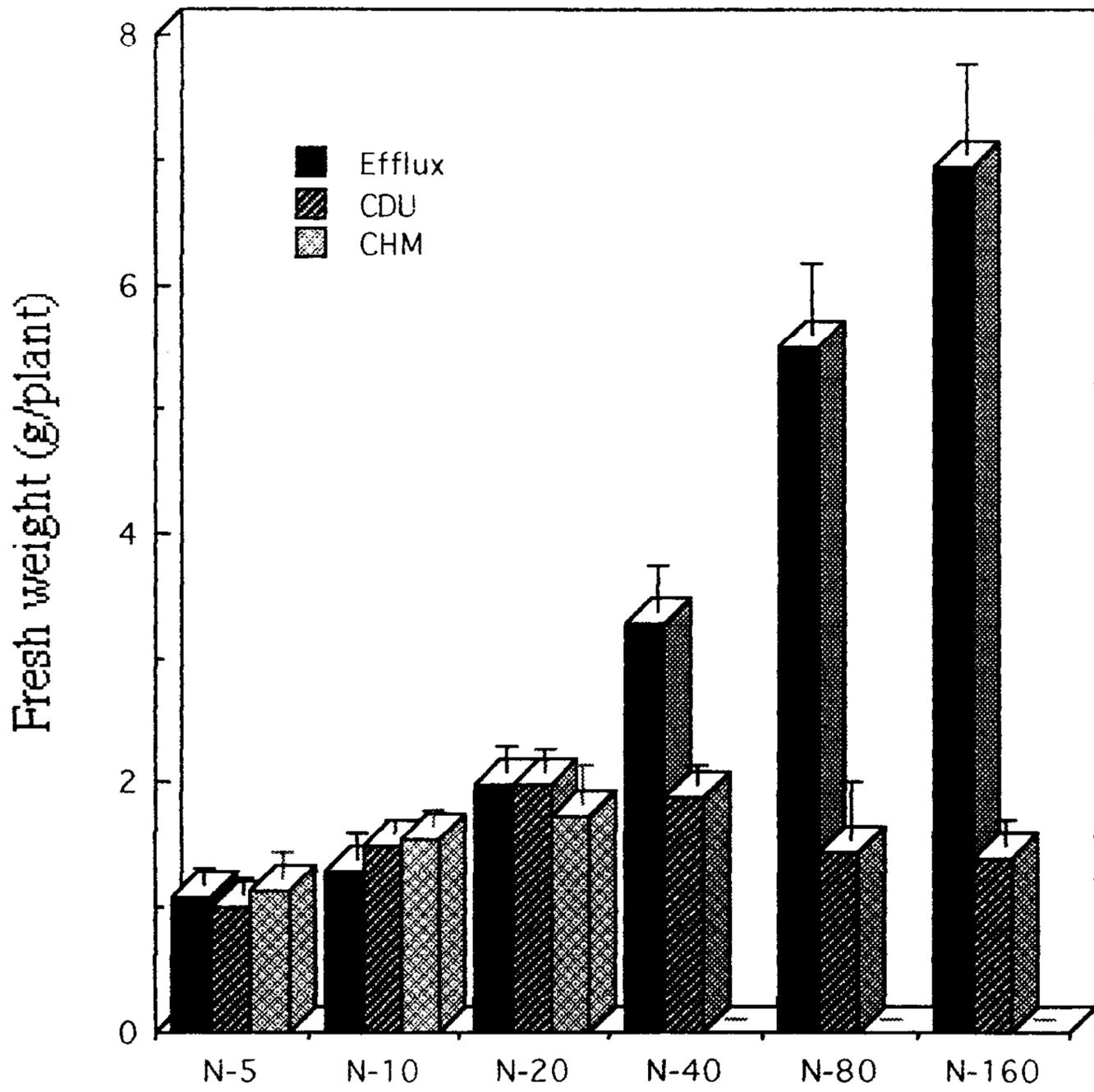


그림 3. 벼의 수경재배에 있어서 양액별 지상부 신선중에 미치는 영향

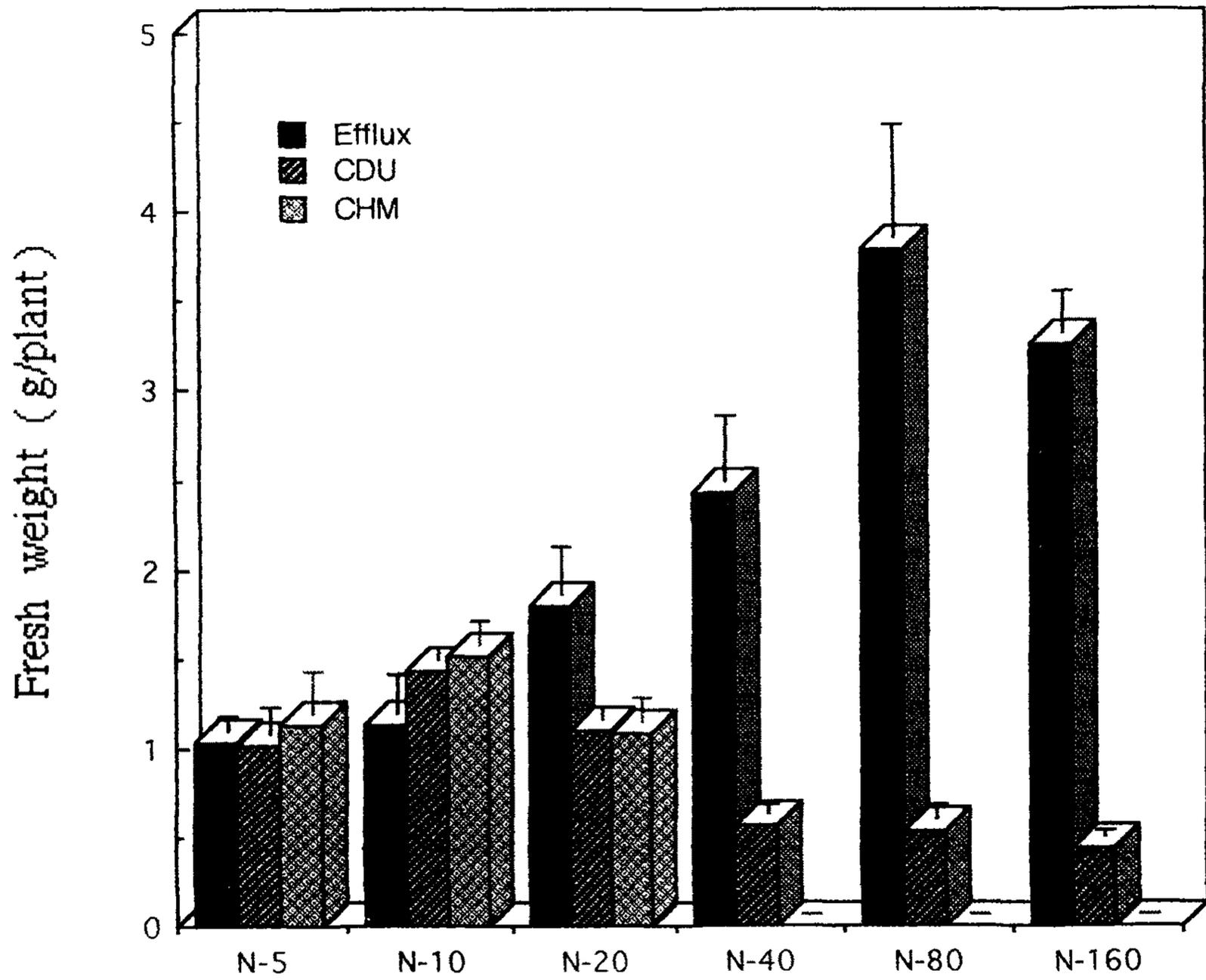


그림 4. 벼의 수경재배에 있어서 양액별 지하부 신선중에 미치는 영향

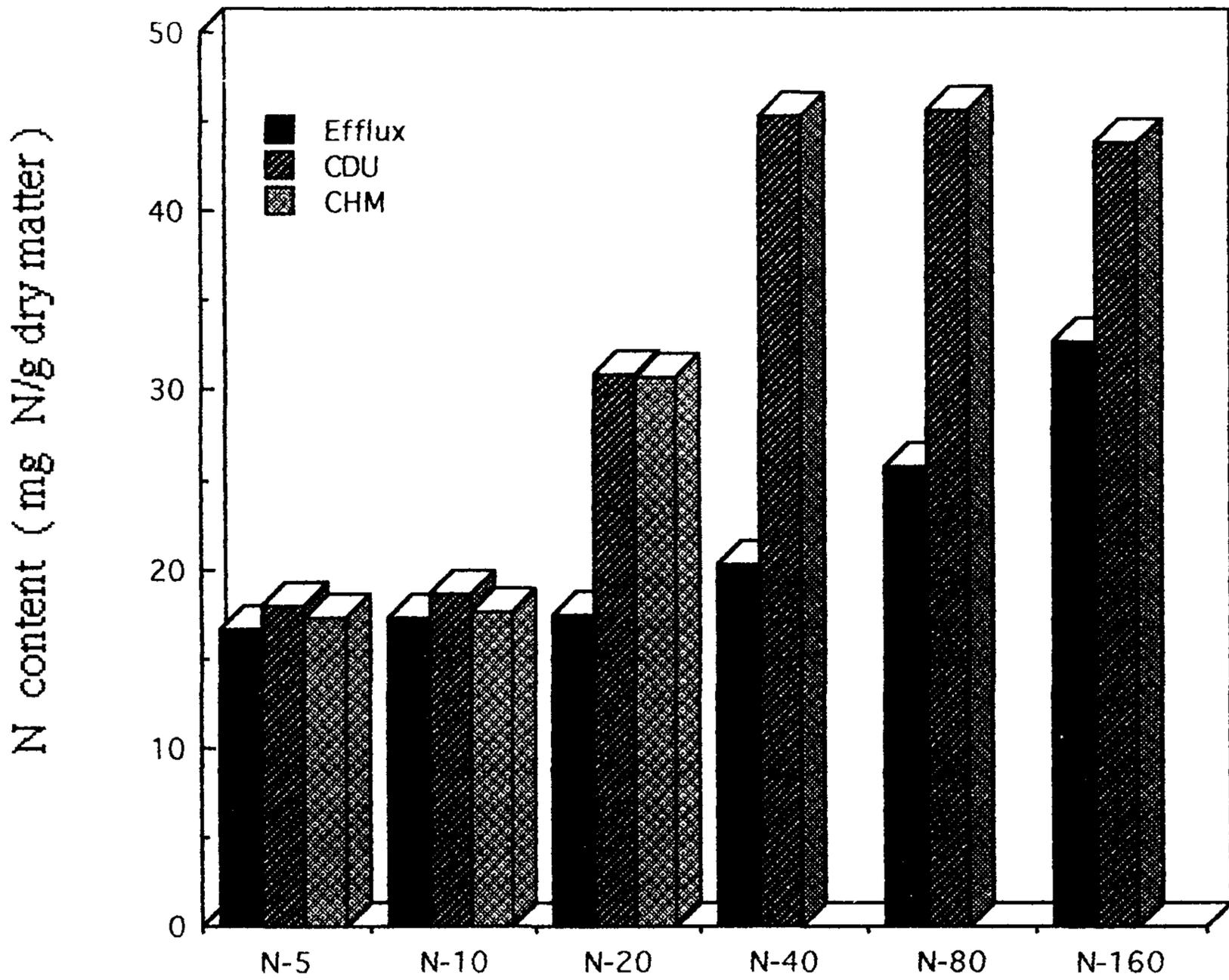


그림 5. 비의 수경재배에 있어서 양액별 지상부 N함량에 미치는 영향

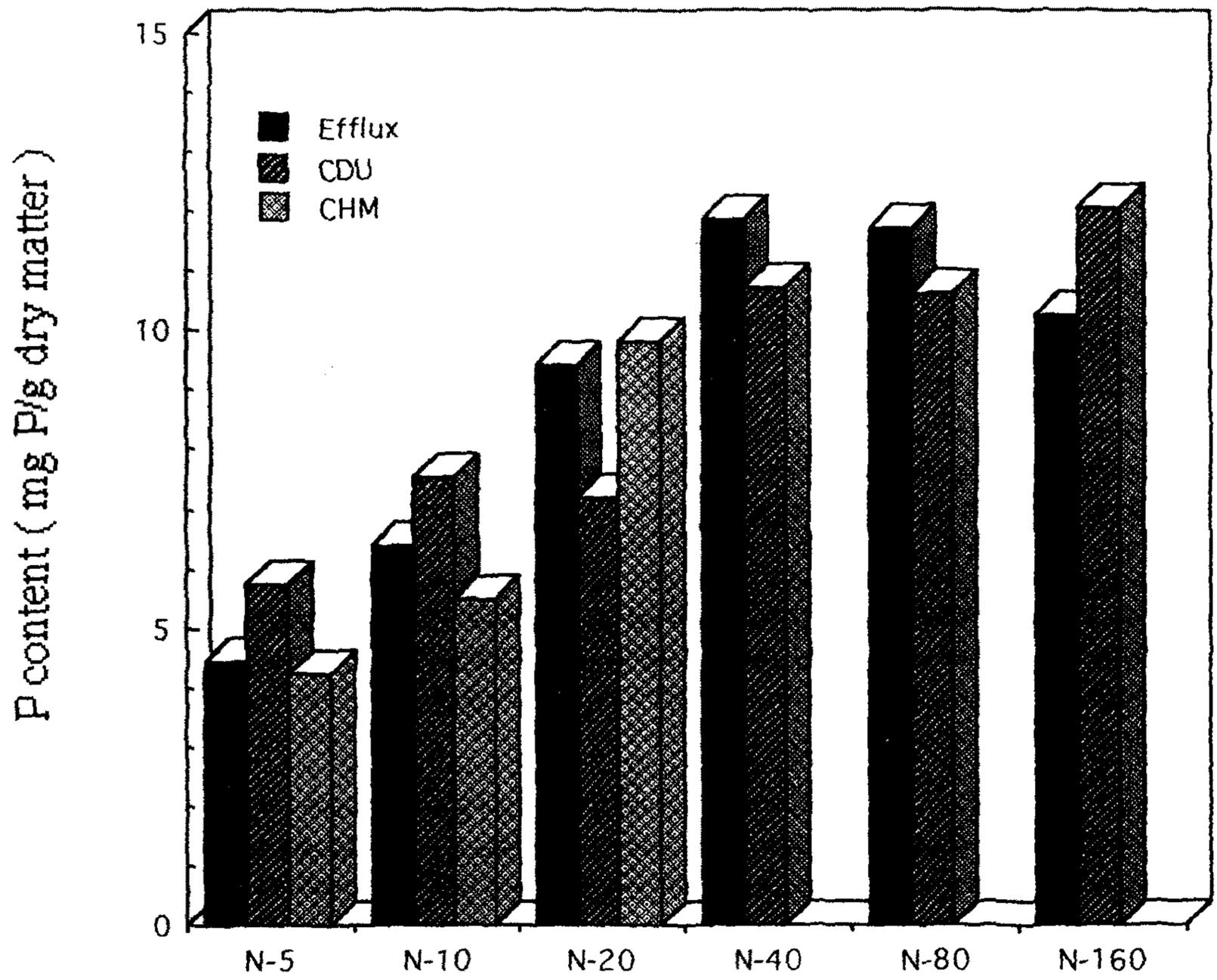


그림 6. 벼의 수경재배에 있어서 양액별 지상부 P함량에 미치는 영향

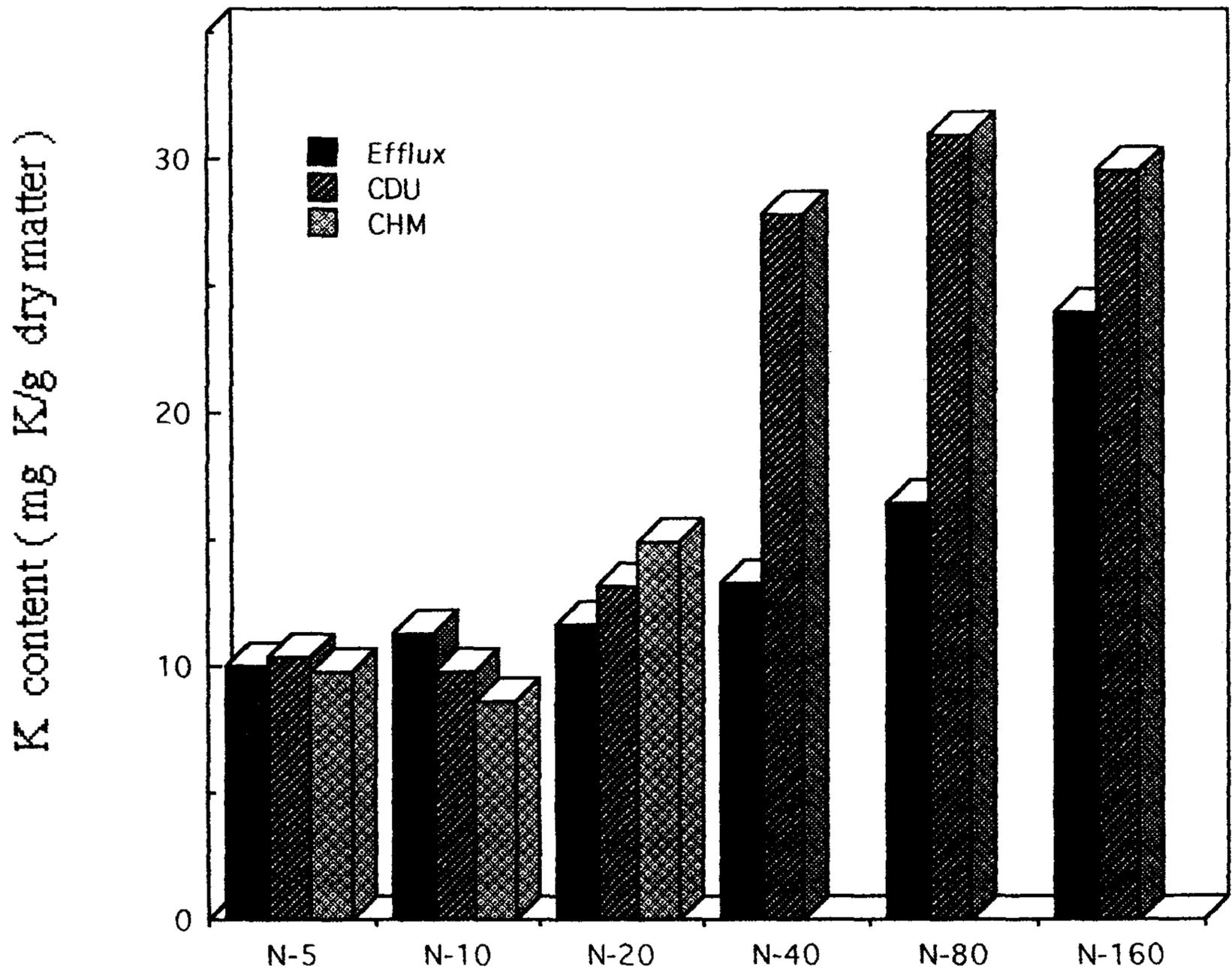


그림 7. 비의 수경재배에 있어서 양액별 지상부 K함량에 미치는 영향

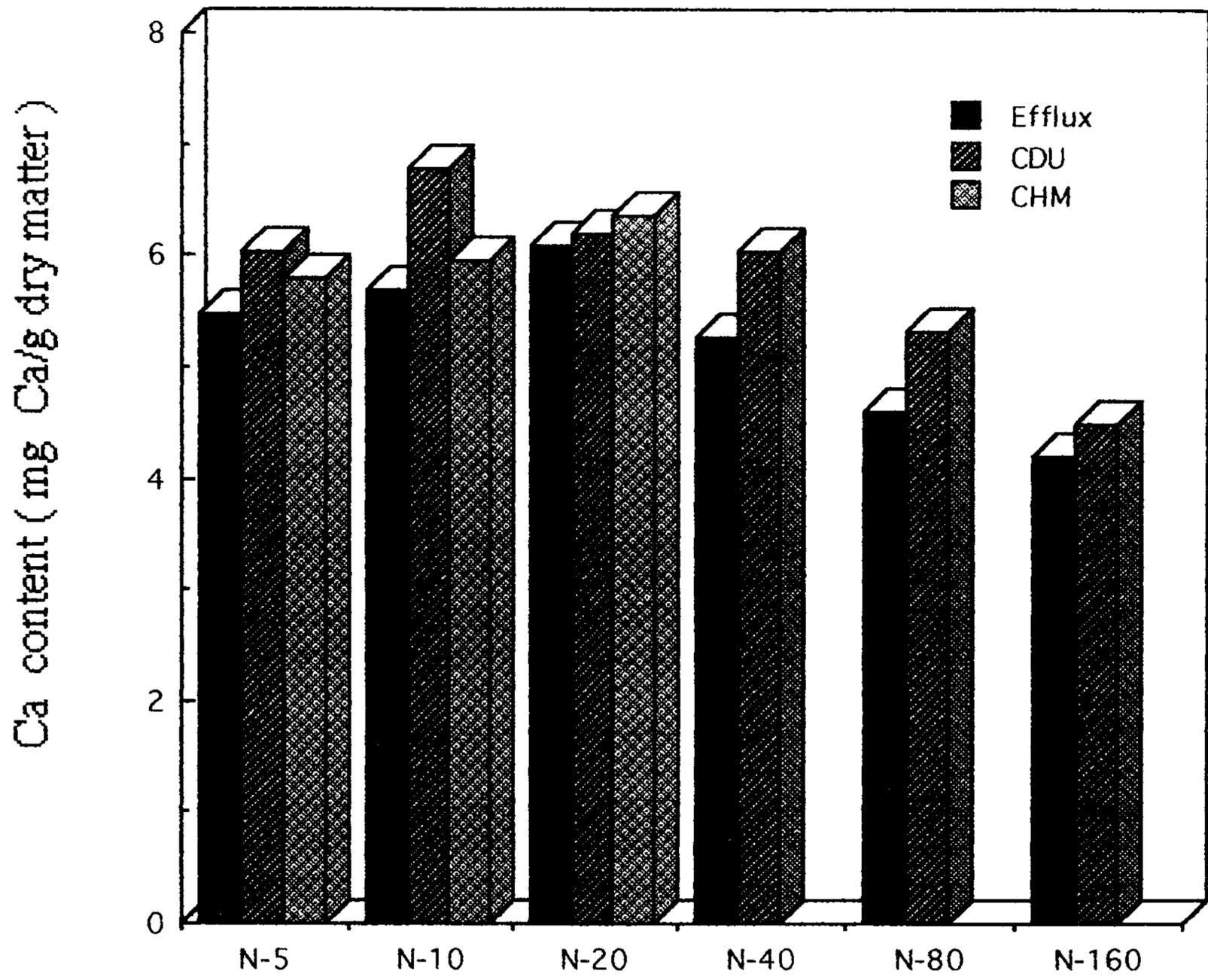


그림 8. 벼의 수경재배에 있어서 양액별 지상부 Ca함량에 미치는 영향

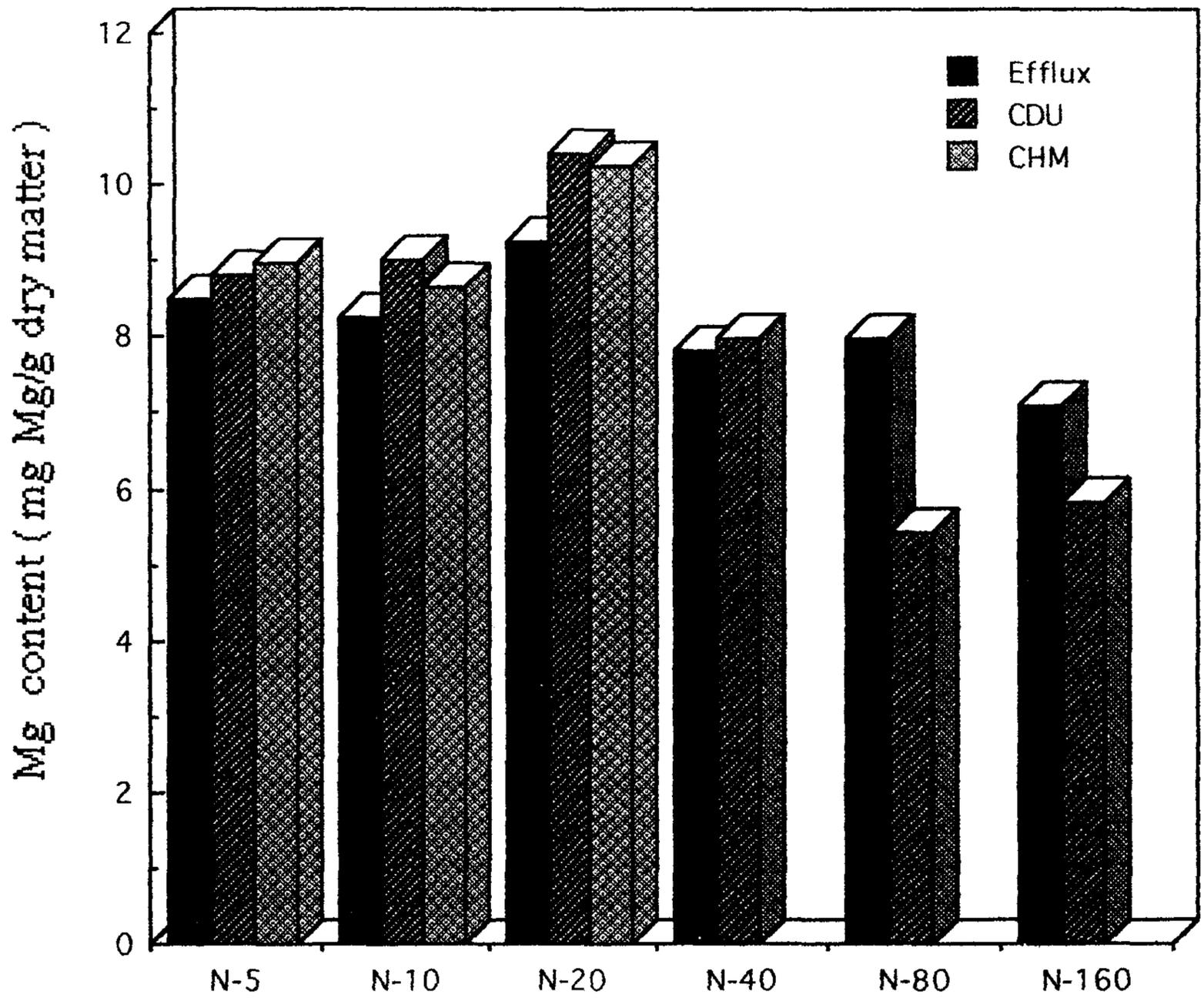


그림 9. 벼의 수경재배에 있어서 양액별 지상부 Mg함량에 미치는 영향

## 2. 토경재배실험

표 11은 이탈리아라이그라스를 이용한 토경재배 결과, 지상부의 신선중을 Efflux, CDU구 별로 질소시용농도에 따라 나타낸 것이다. 지상부의 생육은 1회에 양액을 농도별로 시용한 후 지상부를 2차에 걸쳐 30일 간격으로 예취하여, 지상부 총수량으로 산정하였고 1, 2차 예취 총 지상부를 건조처리한 후 T-N, NO<sub>3</sub>-N 분석에 이용하였다.

표 11. 질소농도별 이탈리아라이그라스의 신선중 비교

(단위 : g F.W)

구 분		N-100	N-200	N-400	N-800	N-1600
첫 1개월간 지상부 (Shoot)	Efflux	4.7	9.3	13.9	15.8	19.2
	CDU	4.6	9.8	11.1	16.9	12.5
다음 2개월째 지상부 (Shoot)	Efflux	2.3	2.9	3.9	7.5	26.5
	CDU	3.5	6.9	5.9	14.2	4.5
2개월간의 총 지상부 (Shoot)	Efflux	7.0	12.2	17.8	23.3	45.7
	CDU	8.1	17.7	16.0	31.1	17.0

1, 2차에 걸쳐 이탈리아라이그라스의 토경재배결과 Efflux의 특징을 살펴보면 시용질소농도가 높아짐에 따라 수확량이 CDU구보다 높아지고 있으며, 수확된 지상부의 질소함량은 화학비료구인 CDU구의 60% 정도에 불과하다. 이러한 질소함량의 차는 질산성질소(NO<sub>3</sub>-N)의 함량에서도 뚜렷이 나타나고 있다. 가축분뇨의 과잉 시용에 따른 사료포장내 작물의 NO<sub>3</sub>-N 함량은 건물중 1%를 넘으면 질산염 중독증유발이 우려되는 것으로 보고되고

있으나,<sup>24)</sup> 본 Efflux사용에 따른 건물내  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 함량은 0.1 ~ 0.2%에 불과하므로 Efflux는 안전한 사료작물생산에 유기액비로서 유효함을 알 수 있다.



사진 5. CABR발효액비를 이용한 이탈리아라이그라스 토경재배실험

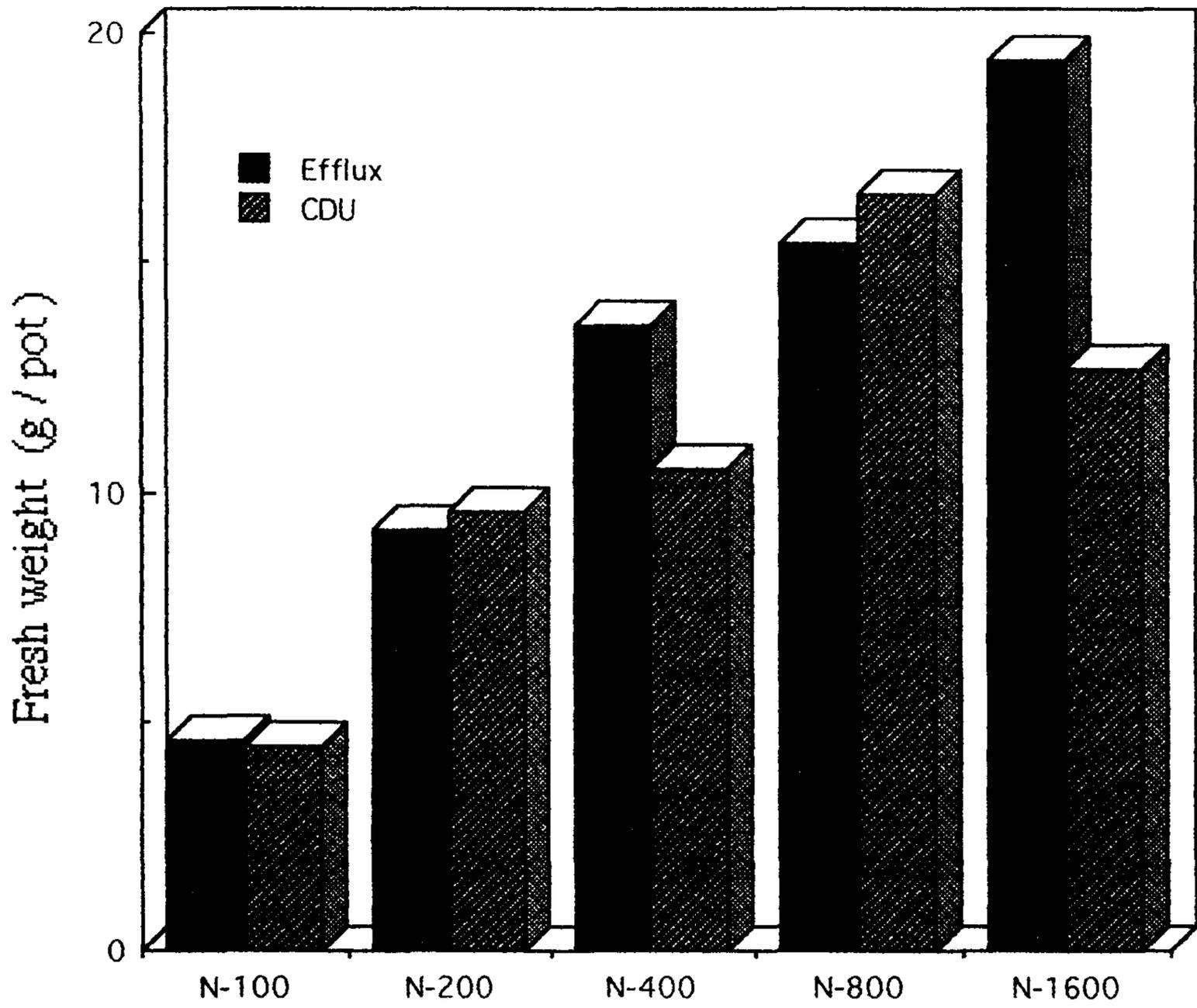


그림 10. 30일간(1차) 이탈리아라이그라스의 토경재배에 있어서 양액별 지상부의 신선중에 미치는 영향

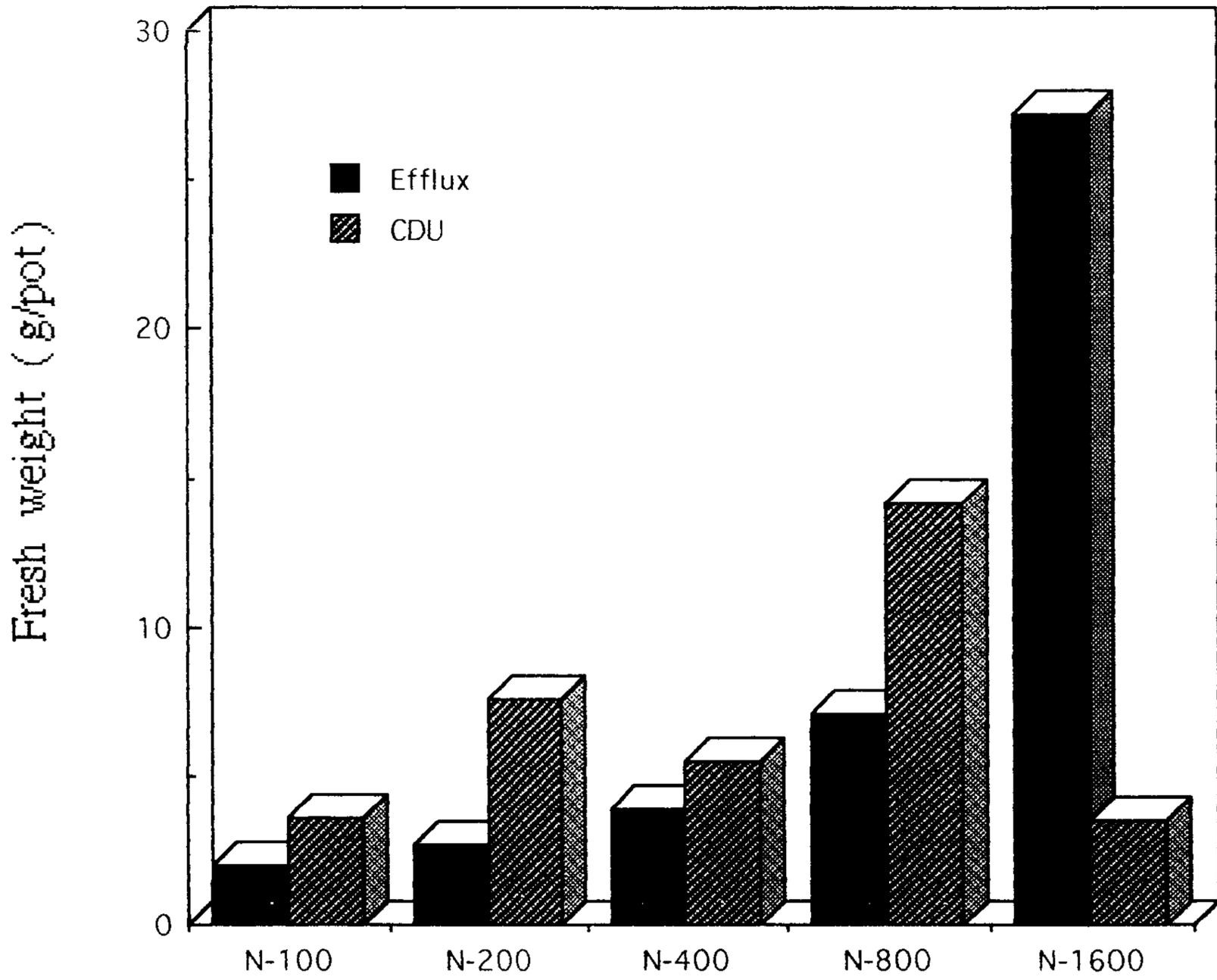


그림 11. 30일간(2차) 이탈리아라이그라스의 토경재배에 있어서 양액별 지상부의 신선중에 미치는 영향

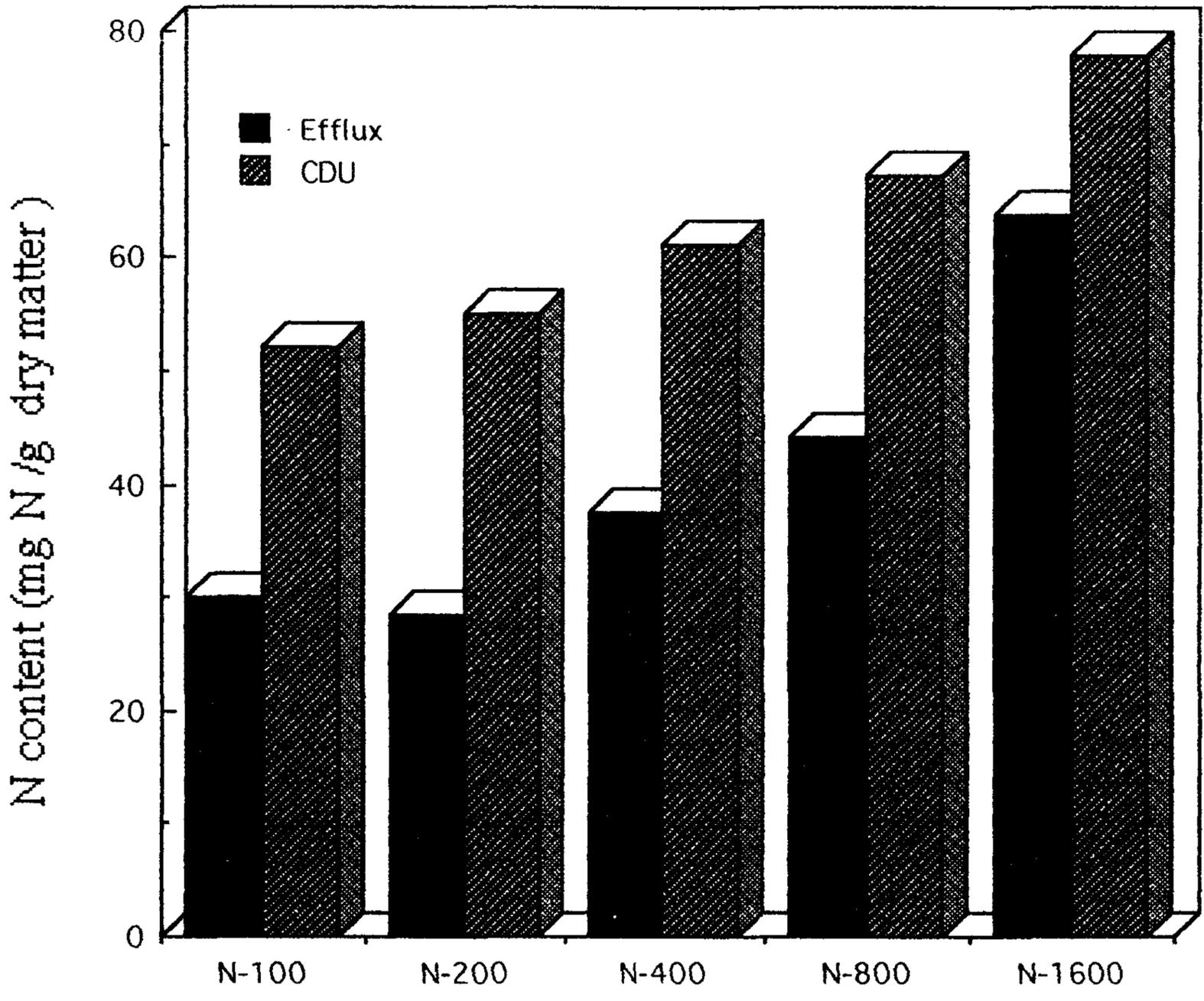


그림 12. 양액별 이탈리아안라이그라스의 N함량에 미치는 영향

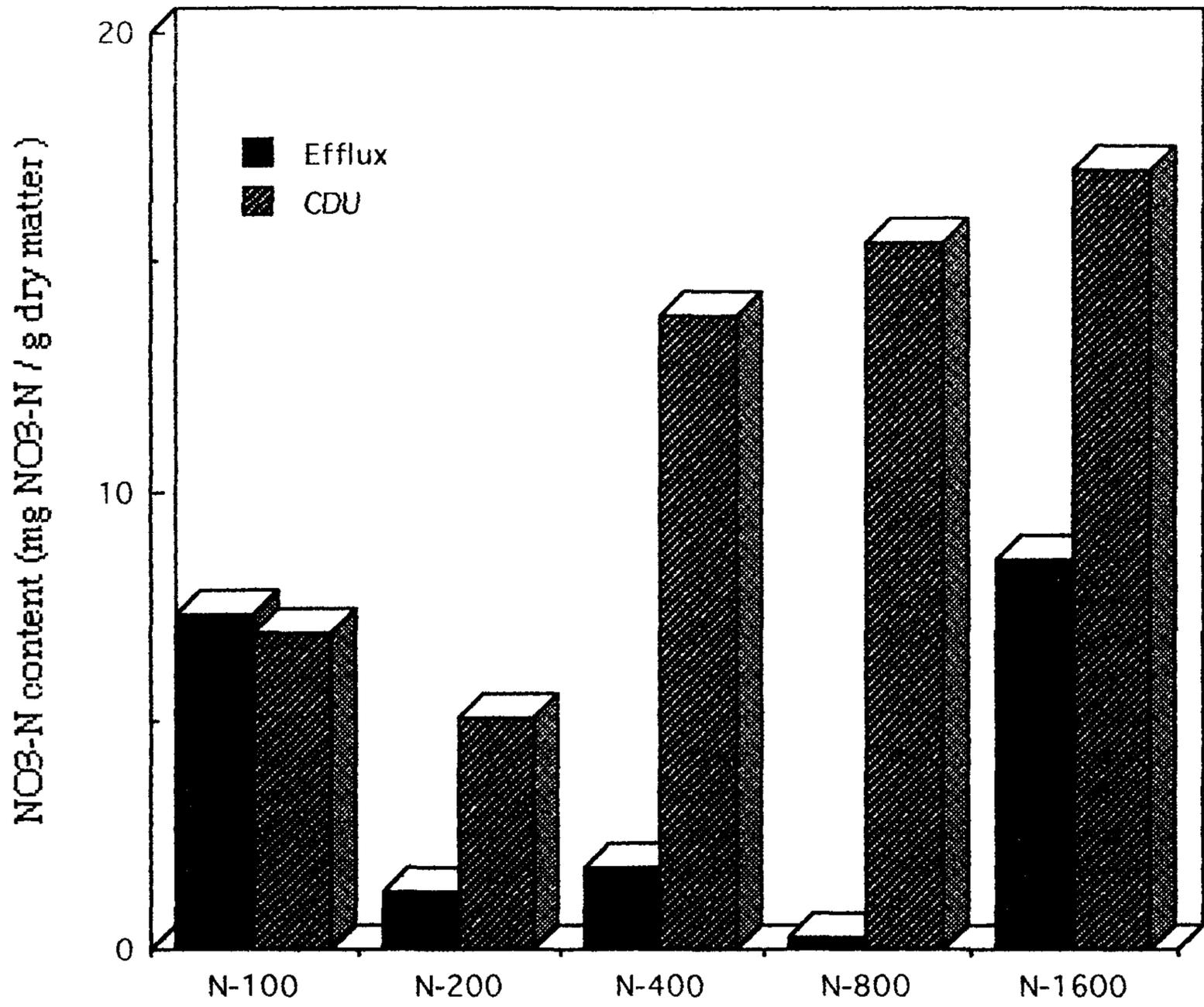


그림 13. 양액별 이탈리아라이그라스의 NO<sub>3</sub>-N함량에 미치는 영향

## 제 4 장 기대되는 성과 및 활용성

### 제 1 절 기대되는 성과

현재 연속발효 시스템(CABR)을 이용한 축산분뇨처리물의 대상은 주로 양돈분뇨 처리에 집중되고 있다. 대상은 주로 양돈분뇨처리에 집중되고 있다. 이는 양돈분뇨가 양계, 양축농가의 분뇨처리문제보다 환경오염에 큰 영향을 미치며, 또한 시급히 해결해야 할 과제이기 때문이다. 국내양돈폐수처리는 주로 분과 뇨를 분리한 후 분은 퇴비화, 뇨는 정화처리를 통해 방류하는 방식이 주를 이루고 있으며, 분리시설이 곤란한 농가는 임시로 저장액비방법을 채택하고 있는 실정이다(표 12).

표 12. 양돈 분뇨처리시설 형태별 설치농가 구성

방 법 규 모	활성오니	저장액비	퇴비화	툽밥돈사	간이정화	기 타	계
전 업	247 (3.0)	3,054 (37.6)	302 (3.7)	1,319 (16.2)	2,916 (35.9)	289 (3.6)	8,127 (100)
부 업	-	384 (5.1)	427 (5.7)	935 (12.5)	5,429 (72.6)	307 (4.1)	7,482 (100)

분뇨를 분리한 후 뇨를 정화하는 방법은 정화시설, 정화효율, 정화관리 기술 등 농가에서 현장가동시 여러 가지 문제점이 지적되고 있으며, 저장액비 방법도 양돈농가의 토지확보면적이 협소하여 실제 액비이용시 주변 환경에 상당한 오염을 제공하기 때문이다. 위와 같은 방법으로 양돈 분뇨를 처리하는 것은 현실적으로 적용하는데 어려움이 있다. 더욱이 '96년 7월

부터 방류수 기준이 강화되고, 액비 및 퇴비화 시설의 확대가 농수산부의 적극적 지원을 받게 되어 앞으로의 분뇨처리 문제는 자원화처리, 무방류처리라는 2가지 축으로 전환되고 있는 상태이다. 즉, 무방류처리로 방류수기준을 피할 수 있고, 자원화처리로 지역 경종농업에 축산업이 일조를 할 수 있게 되어 지역의 농축산업이 상호 보완될 수 있기 때문으로 판단된다.

## 제 2 절 연구개발 사업성과에 대한 활용(실용화) 방안

### 1. 연속발효시스템 개발 및 발효시스템 현장연구

가. 연속발효시스템(CABR)의 매일 투입량에 대한 증발률이 CABR m<sup>2</sup>당 56 l - 200 l 정도로, 가로 × 세로(3.4m × 3.4m = 11.56m<sup>2</sup>)인 경우 647 l/日 - 2,312 l/日의 증발량을 보이고 있다. 이는 투입분뇨를 3,000 l로 할 때 액비생산용으로 또는 증발용으로 현장사정에 따라 변환시켜 이용할 수 있음을 의미한다.

나. 일반 습식급이기를 이용한 양돈시설의 경우 분뇨의 혼합율은 일반적으로 6 - 10%고형물이 함유되어 이러한 경우의 증발율은 96 l/日m<sup>2</sup> 정도이며, Pilot Plant 시설을 이용하여 1일 분뇨투입량이 2,000 l인 경우 약 50%가 증발되는 것으로 나타났다.

다. 본 CABR시설은 분뇨의 증발효과외에 고온 부숙화역할을 동시에 수행하게 되는데 탱크온도가 50 - 60℃정도 상승함에 따라 물질이 급속하게 분해되어, 증발외 투입분뇨는 부숙화 상태로 탱크외부로 배출되어진다. 따라서 부숙배출액의 적절한 이용이 가능하다.

라. 본 CABR시설은 고온 부숙화과정을 통한 증발효과를 최대 특징으로 하고 있기 때문에 탱크내 분뇨투입시 가급적이면 수분의 함량이 적게 투입되어야 효과가 극대화될 수 있다. 따라서, 양돈사에 수분이 가급적 적게 사용되는 관리시스템의 연계가 필요하다.

- 마. CABR탱크로부터의 부숙 배출액은 부숙화과정을 통해 악취의 원인이 되는 미분해성 물질이 대부분 분해된 상태이므로 악취가 비교적 적은 상태이나 본 배출액을 일주일이상 저류해 놓을 경우는 재분해가 되어 악취가 발생된다. 따라서, 본 부숙배출액은 일주일이내 다른 용도로 사용되어지는 것이 바람직하다.
- 바. 부숙배출액의 사용은 양돈장인 경우 돈사의 세척수로 이용함이 바람직하다고 판단된다. 실제 세척수를 이용하여 사용해 본 결과 돈사내 세척수(지하수)가 절감되며, 돈사내 악취가 감소되고, 특히 세척수로 이용함으로써 돈사내에서 수분이 증발되어 2차 수분감량 효과를 가져다주었기 때문이다. 따라서 액비이용이 곤란한 농가에서는 세척수로 이용함을 적극 권장하고자 한다. 이러한 방법이 분뇨 무방류처리로 연결되기 때문이다.
- 사. 부숙배출액의 세척수이용 효과로 실제농가에서의 양돈 질병발생율이 상당부분 감소되었으며, 동시에 투약비도 감소된 효과를 보았다. 본 연구결과는 축사내 질병환경과 관계된 부분으로 금후 검토되어야 할 과제로 판단된다.
- 아. 본 CABR운전 중 고온 분해균주를 대량생산하여 그 첨가효과를 양돈 현장에서 실시해 본 결과, 비 첨가시보다 약 20 - 30%정도의 수분증발효과와 발효처리속도가 1.5배정도 빨라졌음이 밝혀졌다. 구체적 이유에 대해서는 다각적으로 검토되어야 하나 현장 실증실험을 통해 재현성 있게 나타났으므로 발효균주 첨가를 전제로 한 본 연구방법은 계속 진행할 예정이다.

## 2. 부숙발효 고품질 육묘상토개발 및 부숙발효액상물 농지환원 기술개발

- 가. 부숙배출된 액상물의 이용성에 대한 연구를 위해 부숙배출액의 화학적 성분을 분석한 결과 N, P, K의 함량비는 약 2:1:1정도로 비료로서의 이용시 영양분 균형은 커다란 문제가 없는 것으로 밝혀졌다. 또한 양돈분뇨이므로 생물유해 중금속 성분은 거의 검출이 되지 않고 있다.
- 나. 부숙배출된 액상물을 이용하여, 수경재배(벼)와 토경재배(이탈리안라이그라스)의 작물실험을 통해, 식물에 대한 생육량, 식물체내 물질분석을 일반화학비료처리구와 비교 검토하였다. 그 결과 작물의 생육량은 고농도 투입에도 불구하고 일반화학비료구에 비해 3배정도 높으며, 작물해가 없이 생육됨이 확인되었고, 식물체내 질소성분의 분석결과 과잉질소 공급시 발생하는 질산태질소( $\text{NO}_3\text{-N}$ )의 함량이 화학비료구에 비해 현저히 낮아 질산태 질소로 인한 위해성은 없는 것으로 판단된다.
- 다. 이러한 작물의 생육실험은 주로 부숙발효처리물내 질소의 구성형태가 무기성이 아닌 유기성 형태로 존재함이 큰 것으로 판단되어졌다.
- 라. 본 작물실험 결과 시설원에 작물생산을 위한 부숙발효 액상물의 이용시 단기적으로는 유효하나, 장기적으로 공급시 유기태 질소의 분해속도가 낮을것으로 예상되어져, 장기연용시험을 통한 적정시용량을 결정할 필요가 있는 것으로 판단되어지며, 동시에 수경재배, 토경재배시 단일 품종이 아닌 여러 작물에 동시 공급하여 작물별 적정 시용농도의 한계를 결정할 필요성이 있는 것으로 판단된다.
- 마. 작물실험을 통해 드러난 또하나의 현상으로는 수경재배시 배양액내 비료성분외 여러 유기물들이 포함되어 있음으로서 발생가능한 배지의 성분변화이나 현재는 큰 변화는 없으며 장시간 사용할 때 물질의 변

화 부분에 대한 화학적 변화분석이 요구되어지므로 이에 대한 연구가 필요하다.

바. 작물실험은 액비로서의 이용가능성에 대한 예비작업이므로 실제 실용화까지 진행되기 위해서는

- (1) 배지의 물질적 안정화 검토
- (2) 배지내 물질의 변화성 검토
- (3) 배지내 물질의 변화성에 따른 생물적 변화 검토
- (4) 각 작물별 요구 영양원의 보충적 공급효과 검토
- (5) 토경재배시 토양내 물질의 농축현상 검토 등이 계속 연구되어야 한다.

## 제 5 장 참고문헌

- 1) 국립종축원. 1991. 초지, 사료작물 재배지에의 가축배설물 시비이용. 한국농촌경제연구원. C-91-15. 145-190
- 2) 국립종축원. 1992. 톱밥발효돈사의 내부기생충 감염실태 및 구충 효과 실험. 한국농촌경제연구원. C92-14. 325-341
- 3) 국립종축원. 1992. 가축분뇨가 사료작물(옥수수) 및 토양성상에 미치는 영향. 한국농촌경제연구원. C92-14. 256-272
- 4) 국립환경연구원. 1988. 축산폐기물의 적정관리방안
- 5) 김복영. 1988. 수질오염과 농업. 한국환경농학회지. 7(2). 153-168
- 6) 류종원. 1995. 가축분뇨의 액비화처리. 가축분뇨의 자원화에 관한 국제심포지움. 61-84
- 7) 맹원재, 이상락, 조남기. 1994. 혐·호기 2단계 발효법에 의한 가축폐기물의 처리 및 재활용에 관한 연구. '94 국내외한국과학기술자학술대회. 29-49
- 8) 박완철, 김태형, 하준수. 1994. 소규모 축산폐수 처리의 개발. '94 국내외 한국과학기술자학술대회. 96-97
- 9) 수질공정시험법. 1993. 동화기술
- 10) 오인환, 박정현, 김범석, 이상락, 맹원재. 1995. 축산폐수처리시스템의 최적설계요인도출. 한국축산시설환경학회지. 1(1) 77-82
- 11) 육완방. 1994. 가축분뇨(액비)의 사료작물 사용시 질소용탈량 기초조사 시험. 축산폐수처리에 관한 연구. 한국농촌경제연구원. C-94-5. 241-269
- 12) 이혁호, 김재규. 1988. 가축분의 종류별 초지시용 효과. 농촌진흥청 시험연구보고서. 573-585

- 13) 주영희, 다치가와 료. 1993. 소규모농가형 양돈 폐수처리시설의 개발. 한국토양비료학회지. 26(2). 127-131
- 14) 최홍림. 1995. 가축분뇨의 퇴비화처리기술 개발. 가축분뇨의 자원화에 관한 국제심포지움. 97-117
- 15) 축산시험장. 1994. 가축분뇨처리에 관한 연구. 축산폐수처리에 관한 연구. 한국농촌경제연구원. C-94-5. 133-214
- 16) 코오롱엔지니어링. 1988. 축산폐수정화 설계용역 최종보고서
- 17) 토양화학분석법. 1988. 농업기술연구소
- 18) 한국과학기술원. 1990. 1. 전국 축산분뇨 적정관리대책 연구
- 19) 한국농촌경제연구원. 1992. 가축분뇨 액, 퇴비의 생산 및 유통촉진방안에 관한 연구. 축산폐수처리에 관한 연구. C92-14
- 20) 한국농촌경제연구원. 1994. 축산폐수처리에 관한 연구. C94-5
- 21) Hiraishi, A., Kitamura, H. 1984. Distribution of phototrophic purple nonsulfur bacteria in activated sludge system and other aquatic environments Bull. Jpn. Soci. Sci. Fish., 50. 1929-1937
- 22) Kobayashi, M. 1975. Role of phototrophic bacteria in foul water purification. prog. wat. Tech. 7. 309-315
- 23) Lee, M. G., Kobayashi, M. 1992. Deodorization of swine sewage by addition of a phototrophic bacterium, *R. capsulata*. Soil Sci. Plant Nutr., 38(4). 767-770
- 24) Lewis, D., 1951. The metabolism of nitrate and nitrite in the sheep ; The reduction of nitrite in the rumen of the sheep., Biochemi., J., 48. 175-180
- 25) Ohta, O., Ikeda, M. 1978. Deodrization of pig feces by Actinomyces. Appl. Environ. Microbiol. 36. 487-491

- 26) Sawada, H., Rogers, P. L., 1977. Photosynthetic bacteria in waste treatment J. Ferment. Technol., 55. 297-310