

碩士學位論文

活性炭 種類에 따른 골프장 使用  
農藥의 吸着 特性



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

金 鶴 模

2005

碩士學位論文

活性炭 種類에 따른 골프장 使用  
農藥의 吸着 特性

指導教授 李 容 斗



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

金 鶴 模

2005

# 活性炭 種類에 따른 골프장 使用 農藥의 吸着 特性

指導教授 李 容 斗

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2005年 7月 日

濟州大學校 産業大學院



金 鶴 模

金鶴模의 工學碩士學位 論文을 認准함.

2005年 7月 日

委員長      이 기 호      印

委 員      조 은 일      印

委 員      이 용 두      印

# 목 차

I. 서론 .....	1
II. 이론적 고찰 .....	3
2.1 활성탄의 특성 .....	3
2.2 흡착이론 .....	6
III. 실험재료 및 방법 .....	10
3.1 사용 농약의 특성 .....	10
3.2 사용 활성탄의 특성 .....	12
3.3 실험방법 .....	13
1) 등온흡착실험 .....	13
2) 모의 흡착장치에서 농약 제거 실험 .....	13
IV. 실험결과 및 고찰 .....	17
4.1 등온흡착실험결과 .....	17
4.2 모의 흡착 장치에서 농약 제거 실험결과 .....	25
1) 그린·티 조건에서 실험결과 .....	25
2) 웨어웨이 조건에서 실험결과 .....	29
V. 결론 .....	33
VI. 참고문헌 .....	35

## List of Table

Table 1. Characteristics of pesticides used in this study .....	10
Table 2. Gas chromatographic operation conditions for pesticides analysis .....	11
Table 3. Properties of Activated Carbon used .....	12
Table 4. Experimental conditions for column test .....	14
Table 5. The conditions for spreading on Pesticides and rainfall .....	15
Table 6. The annual rainfall in Jeju .....	16
Table 7. Freundlich adsorption constants K and 1/n for pesticides adsorption .....	19

## List of figures

Fig. 1. Experimental apparatus .....	14
Fig. 2. Linear adsorption isotherms of Fenitrothion .....	20
Fig. 3. Linear adsorption isotherms of Iprodione .....	21
Fig. 4. Linear adsorption isotherms of Tolclofos-methyl .....	22
Fig. 5. Linear adsorption isotherms of Prodiamine .....	23
Fig. 6. Linear adsorption isotherms of Napropamide .....	24
Fig. 7. Residual pesticides concentrations after scattering first pesticide .....	26
Fig. 8. Residual pesticides concentrations after scattering second pesticide .....	26
Fig. 9. Residual pesticides concentrations after scattering third pesticide .....	27
Fig. 10. Residual pesticides concentrations after scattering fourth pesticide .....	27
Fig. 11. Residual pesticides concentrations after scattering fifth pesticide .....	28
Fig. 12. Pesticide removal rate with activated carbon in Green · Tee condition ...	28
Fig. 13. Residual pesticides concentrations after scattering first pesticide .....	30
Fig. 14. Residual pesticides concentrations after scattering second pesticide .....	30
Fig. 15. Residual pesticides concentrations after scattering third pesticide .....	31
Fig. 16. Residual pesticides concentrations after scattering fourth pesticide .....	31
Fig. 17. Residual pesticides concentrations after scattering fifth pesticide .....	32
Fig. 18. Pesticide removal rate with activated carbon in Fairway condition .....	32

# Adsorption characteristics of Pesticides with Activated Carbons

Hak-Mo Kim

*Department of Construction and Environmental Engineering*

*Graduate School of Industry*

*Cheju National University*

*Supervised by Professor Yong-Doo Lee*



Adsorption characteristics of five pesticides, fenitrothion, iprodione, tolclofos-methyl, prodiamine and napropamide, were evaluated depending on the type of activated carbon. Coal and coconut shell based activated carbons were tested. Activated carbons had different physical properties respectively. There were Y1100, Y1000, Y by coconut-based activated carbon and C1000, C900, C by coal activated carbon. Isotherm data were treated according to Freundlich models.

According to the  $K$  values adsorption capacities of coal based

activated carbons were better than coconut shell based ones. But according to column test pesticides removal were higher than in coconut shell activated carbons than coal based ones.

## I. 서론

제주지역의 골프장은 지속적으로 늘어나고 있는 실정이다. 2003년에는 9개소의 골프장이 운영되었으나 현재는(2005년, 4월기준) 14개소가 운영 중이고, 11개소가 승인되어서 건설 중에 있다. 골프장 건설로 인하여 많은 산림이 훼손되고 있으며, 농약의 사용 등으로 인하여 여러 가지 환경오염 문제를 야기 시키고 있는 것 또한 사실이다. 제주지역 골프장에서 농약 사용량을 조사한 결과 19.8 kg/ha(골프장개수 9개, 2003년 기준,)로 전국 평균 12.2 kg/ha(2003년 기준)을 훨씬 초과하여 사용하고 있음을 알 수 있었다(환경부, 2004).

골프장 수 증가에 따라서 농약 사용량 및 사용 품목수도 매년 증가하는 추세에 있다. 전국 골프장은 2004년말 기준 198개소로 1998년 128개소보다 65%로 증가하였고, 이에 따라 농약 사용량도 1998년 149톤에서 2004년 229톤으로 54%로 증가 하였다. 또한 사용농약 품목수도 1998년도 114품목에서 2004년 148개품목으로 29.8%로 증가 하였다(환경부, 2004).

대체 수자원이 없는 제주의 경우, 지하수 오염은 생물의 생존을 불가능하게 한다. 특히, 제주 지역의 골프장들은 거의 대부분이 제주지역의 지하수 함양에 중요한 역할을 하는 중산간 지대에 있거나 계획하고 있어, 골프장의 농약 사용에 따른 지하수 오염을 유발시킬 수 있는 오염원으로서의 잠재력을 지니고 있다.

골프장 건설시, 농약의 살포에 의한 지하수의 오염을 방지하기 위하여 그린 및 휘어웨이에 활성탄을 포설하도록 하여, 농약오염을 저감시키도록 하고 있으나, 활성탄은 재료, 피흡착물질의 특성에 따라 다르므로, 여러 가지 조건을 고려하여 적절하게 포설하여만 기능을 발휘할 수 있는데, 골프장에서는 기존의 제품을 사용하고 있는 실정으로, 지하수의 오염을 방지하기 위해서는 보다 나은 효율을 가지는 흡착제의 개발이 시급한 실정이다.

농약은 잔디의 종류, 내장객수, 기후, 토양 및 병해충의 종류 등에 따라 사용되는 양과 종류가 다양하며, 사용 후에도 그 영향이 상당시간 지속적으로 나타나는 화학물질이다. 골프장의 경우, 대부분의 농약은 잔디의 병해충 및 잡초를 제거하기 위하여

사용되어 지는데, 골프장의 농약사용 빈도는 제초제가 연 1회, 살균제와 살충제는 병해충의 발생빈도에 따라 현격한 차이를 보이지만 그린의 경우 대략 연 10회 정도이며, 티와 웨어웨이는 특별한 경우를 제외하고는 거의 사용하지 않는다고 보고되고 있으나 관리방법에 따라 사용량은 많은 차이를 나타내고 있다.

골프장에서 사용 가능한 농약 품목은 95종이며(제주도, 2004), 그린, 웨어웨이의 잔디, 토양과 최종유출수의 농약잔류량을 검사하는 등 농약으로 인한 환경오염의 피해를 최소한으로 줄이려고 하는 노력을 하고 있다. 또한 골프장 건설시 살포된 농약을 흡착시켜 유출을 방지하기 위하여 활성탄을 포설하고 있다.(김, 2000).

농약이 흡착제와 접촉하게 되면 흡착제의 표면에 흡착되고, 이러한 흡착과정은 농약의 용탈(탈착), 휘발성, 지속성 또는 이동성에 영향을 미칠 수 있으므로 농약 거동의 중요한 요인이다(Celis와 Koskinen, 1999a). 흡착제에 흡착된 농약은 물의 침출에 의해 아래로 용탈되며, 용탈의 정도는 농약의 이화학적 성질에 의존한다(Himel 등, 1989). 농약의 이화학적 성질로는 분배계수, 물에 대한 용해도, 증기압, 친수성/소수성 특성, 이온상태, 화학적, 광화학적, 생물학적 성질이 포함된다. 일반적으로 흡착제에 강하게 흡착되고 물에 대해 낮은 용해도를 가지고 있는 농약은 흡착제중에서 비교적 용탈되기 어렵다(Baarscher 등, 1983).

한편, 도내 골프장에 포설하는 활성탄의 효과에 대한 불신과 사용되는 농약의 흡착 효율에 대한 근거가 거의 없으며, 활성탄의 종류별 흡착효율 및 특성과약이 되지 않은 관계로 활성탄 포설에 대한 많은 문제점을 안고 있다.

따라서, 본 연구에서는 현재 골프장에서 주로 사용되고 있는 야자계 활성탄에 대한 특성 분석과 함께 기존의 수처리용으로 개발된 야자계 활성탄 그리고 원료가 다른 석탄계 활성탄들에 대한 물리적 특성 분석을 행하며, 이들 활성탄을 이용해 골프장과 같은 환경조건으로 설계된 모의 흡착장치에 골프장에서 주로 사용되는 농약인 fenitrothion, iprodione, toclofos-methyl, prodiamine, 그리고 naprodiamide를 살포하여 이들 농약들에 대해 야자계 활성탄과 석탄계 활성탄의 흡착 특성을 비교하고자 한다. 또한 활성탄종류별 각 농약에 대한 등온흡착 실험을 행하여 골프장 사용 농약의 흡착 특성을 비교 분석 하였다.

## II. 이론적 고찰

### 2.1 활성탄의 특성

활성탄은 유기성 탄소질을 함유한 물질을 원료로 제조되며 미세세공이 잘 발달된 그물구조를 갖는 고정탄소로서 유기물이나 금속원소 등을 흡착할 수 있는 우수한 흡착능력을 지니고 있어, 환경공학분야에서 오염된 공기의 정화, 화학공정에서 용매회수(Hassler, 1974), 배연탈황, 질소화합물의 탈질, 상하수 및 분뇨의 고도처리 및 산업폐수처리 등에 널리 이용되고 있다(Soffel, 1980).

활성탄은 물리적 조건에 따라 분말활성탄과 입상활성탄으로 대별할 수 있으며(Hasser, 1963;北川睦夫, 1974), 사용용도에 따라서는 기상용과 액상용으로 구분할 수 있다. 일반적으로 기상용 활성탄은 미세세공이 잘 발달되어 있으며, 셀룰로오스 성분으로 이루어진 식물성분 즉, 야자각, 참나무 등이 주원료로 사용된다. 반면에 액상용 활성탄(Miller,1980)은 일반적으로 석탄을 원료로 하여 제조되는데 기상용에 비해 중간 및 거대세공이 더욱 잘 발달되어 휘발성 유기물질 및 암모니아성 질소, 음이온계 면활성제를 제어하는데 사용되고 있다.

그러나 국내의 활성탄 이용은 야자각 등을 이용한 기상용 활성탄 위주이며 석탄을 원료로 제조되는 액상용 활성탄도 거의 수입에 의존하고 있으나, 활용 면에서도 정·폐수처리 능력이 부족한 목질계 기상용 활성탄이 사용되고 있는 실정이다(장, 2003).

활성탄은 원료의 탄화 및 활성화 공정을 통하여 제조되며, 탄화는 유기물을 약 600-800℃로 가열하여 원료 중의 산소가 물 또는 이산화탄소 등의 형태로 방출되고 휘발분이 제거되어 고정탄소가 남는 과정이며, 활성화공정은 800-1000℃의 온도범위에서 일어나는 탄소의 산화반응을 말하며, 탄화물의 표면과 내부를 침식시켜 세공을 발달시키는 과정이다. 활성화공정은 가스활성화법과 약품활성화법으로 구분되며, 수증기, 이산화탄소 및 공기 등의 산화성기체에 의한 고온가스화반응에 의한 가스활성화법이 대부분 이용된다.

활성탄의 물리적 특성 비교는 요오드 흡착력, 비표면적, 세공부피 등으로 할 수 있

다(손, 2000). 액상흡착력 시험에서 요오드 흡착력이 큰 활성탄을 micro pore의 발달이 크고, 카라멜 탈색력, 당액 탈색력 및 간장 탈색력이 큰 활성탄은 큰 세공의 분포가 많아지게 되므로 활성탄의 흡착성을 알 수 있게 된다. 그리고 활성탄은 적당한 부활방법에 의해 매우 많은 세공이 형성되어지게 되는데 이 세공벽의 총면적, 즉 표면적이 500~1,700 m<sup>2</sup>/g에 달하고, 이것이 큰 흡착용량을 표시하는 주된 이유가 되고 세공 분포는 활성탄의 흡착에 큰 영향을 미치는 물리적 요인이다(北川, 1995).

### 1)요오드흡착력

시료에 요오드 용액을 가하여 흡착시킨 후, 상층액을 분리하고, 지시약으로서 녹말 용액을 가하여 티오황산나트륨 용액으로 적정하여 잔류하고 있는 요오드 농도로부터 흡착량을 구하고, 흡착 등온선을 작성하여 그 흡착 등온선에서 요오드의 잔류농도 2.5g/1000ml일 때의 흡착량을 구하여 요오드 흡착 성능으로 한다.

#### ①시험과정

시료 0.5 g을 재서 250 ml용량플라스크에 넣는다. 그다음에 0.05M요오드용액 50 ml을 정확히 재서 넣고 이것을 진탕기에서 200 rpm에서 약 15분간 진탕을 한다. 그다음 원심분리기에서 2000~3000 rpm에서 원심분리를 한 다음 상등액 10 ml을 떠서 비이커에 넣는다. 그런 다음 0.1M티오황산나트륨으로 적정을 하다가 열린 황색이 될 때 전분 지시약을 넣고 다시 무색이 되는 종말점까지 적정을 한다.

#### ②요오드 잔류농도 계산식

$$I_N = K \times f \times 12.69 \times \frac{1000}{10} \quad (1)$$

I<sub>N</sub>:요오드 잔류농도(mg/l)

K:적정에 사용한 0.1M티오황산나트륨 용액의 양(ml)

f: 0.1M 티오황산나트륨 용액의 농도계수=1.001

12.69: 0.1M 티오황산나트륨 용액 1ml의 요오드 상당량(mg)

③요오드 흡착량 계산식

$$I = \frac{(10 \times f' - K \times f) \times 12.69 \times 5}{S} \quad (2)$$

I: 요오드 흡착량(mg/g)

K: 적정에 사용한 0.1M 티오황산나트륨 용액의 양(ml)

f: 0.1M 티오황산나트륨 용액의 농도계수=1.001

f': 0.1M 티오황산나트륨 용액에 대응하는 요오드 용액의 농도계수

12.69: 0.1M 티오황산나트륨 용액 1ml의 요오드 상당량(mg)

2)비표면적(specific surface area)

비표면적(Dubin, 1966) 측정은 기기를 사용하여 CO<sub>2</sub> 또는 N<sub>2</sub> 등 피흡착 가스로 일정온도(N<sub>2</sub> : -196 °C, CO<sub>2</sub> : 0°C)에서 가스의 압력을 1~760 mmHg의 범위로 변화시켜가며 흡착등온선을 측정하고 기체 운동론과 흡착평형관계 및 고체 표면에 관한 몇 가지 가정으로부터 유도된 B.E.T식으로 구한다. 제조된 활성탄의 성능은 단위 체적당 활성점의 수가 많아야 우수하다고 말할 수 있는데 바꾸어 말하면 비표면적이 커야한다. 비표면적을 측정하는 가장 일반적인 방법은 B.E.T(Brunauer, Emmet and Teller)법(박, 1993)으로서 단층(monolayer)흡착이론인 Langmuir이론을 다중(multilayer)흡착 형태로 확장시킨 것이다. 즉 표면에 흡착된 첫 번째 층을 제외한 모든 층들의 흡착열은 흡착된 물질의 탈착열과 같다는 것이다. 제안된 식은 다음식과 같다.

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1P}{V_m C P_0} \quad (3)$$

V : 압력 P에서 흡착된 기체의 체적

V<sub>m</sub> : 흡착된 기체의 단층제적(Monolayer Volume)

P<sub>0</sub> : 일정온도에서 흡착가스의 포화압력

P : 흡착가스의 압력

C : 흡착가스의 흡착 및 탈착열에 관계하는 실험상수

윗 식에서 흡착가스의 분압 P/P<sub>0</sub>를 변화시키면서 비표면적을 측정하고자하는 물질에 대하여 흡착된 기체의 체적을 변화시키면 P/P<sub>0</sub>에 대한 P/V(P<sub>0</sub>-P)로 도시할 수

있다. 이 때의 절편은  $1/V_m C$ 이 된다. 흡착물질의 분압에 의하여 결정되는 변수들을 선형 회귀 분석하면 절편과 기울기를 구할 수 있고 두 값들을 합하면 흡착된 기체의 단층체적의 역수가 된다. 일반적으로 흡착가스는 질소를 사용하여 흡착 등온선은 액체 질소의 비점인  $-196^\circ\text{C}$ 에서 얻어진 것을 사용한다. 또한  $P/P_0$ 의 값이 크면 절편의 값이 부정확해지므로 대부분 1이하의 분압에서 비표면적을 측정하게 된다.

### 3) 세공용적 및 분포(pore volume & pore size distribution)

세공반경을 구하는 방법에는 2가지로 크게 나누어, 흡착등온선에 의한 방법과 mercury porosimetry에 의한 방법이 있는데 mercury porosimetry 방법은 수은압을 침투시켜 세공의 용적과 반경을 구하는 방법이다. 세공분포는 활성탄의 제조방법이나 용도의 연구에 있어 중요한 것이며, 세공분포를 결정하는 방법에는 수은압입법과 모세관 응축이론을 기본으로 하여 켈빈(Kelvin)식을 이용하는 가스흡착법 등이 있으며, 수은압입법은  $30\sim 100,000\text{\AA}$ 의 세공분포 측정에 이용되고 있으나 Micro pore 영역의 측정에는 대단한 고압을 필요로 하므로 보통  $100\text{\AA}$ 이상의 비교적 큰 세공의 분포측정에 적용된다. 이것에 비해 가스흡착법은  $300\text{\AA}$ 이하의 것에 쓰이고 있다.

## 2.2 흡착이론

흡착은 기체상 또는 액체상의 물질이 다른 액체상이나 고체상과 접촉할 때 표면에서 상내부와 다른 농도를 유지한 평형이 되는 상태이다.

흡착은 물리적 흡착과 화학적 흡착으로 구분하는데, 물리적 흡착은 기체 또는 액체 중의 용질이 고체축매 표면에 물리적인 상호작용에 의하여 흡착 되는 것을 말한다. 물리적 흡착의 경우 흡착열은 화학흡착열의 1/10정도인 몰 당 수 kcal정도로서 액체의 응축열과 비슷하며, 저온에서는 흡착속도가 빠르고 단시간에 평형에 도달하며 흡착량도 크다. 또한 결합력이 약하고 가역적이며, Van der Waals 흡착이라고 한다. 화학적 흡착은 화학 반응속도에 영향을 미치는 유형의 흡착으로 흡착된 원자 또는 분자는 결합원자 사이에서 일어나는 힘과 같은 형태의 결합력에 의하여 표면에 붙어

있게 된다. 화학적 흡착은 온도가 상승하면 흡착속도가 증가하며 결합력이 강하고 비가역적이며, 단분자층이 형성되는데 이것은 흡착제와 피 흡착제 사이의 상호 작용이 피 흡착제와 용매간의 작용보다 약하기 때문이다.

## 1) 흡착 메카니즘

흡착-탈착은 액체와 고체의 표면사이를 연속적으로 이동하는 역학적인 과정이다. 접촉면에 분자를 끌어당기고 그 후 표면에 그 분자들이 남아 있을 수 있게 하는 다른 분자내의 힘들은 메카니즘으로 분류되었다(Bailey와 White, 1970; Burchill 등, 1981; Mortland, 1970, 1986; Sposito, 1984; Stevenson, 1982). 유기화합물은 서로 다른 정도의 힘을 갖는 van der Waals 힘, 수소결합, 소수결합, 이온교환, 리간드교환, 양성자첨가(protonation), 공유결합과 같은 물리/화학적인 결합에 의해 흡착될 수 있다. 흡착은 또한 소수성(비극성)화합물에 있어서는 토양수와 토양유기물상호간의 소수 분배과정(hydrophobic partitioning process)으로도 표현된다. 어떤 화합물에 있어서 토양에 의한 흡착의 원인이 되는 연속적인 메카니즘이 존재하게 된다. 예를 들면, 유기화합물은 초기에는 가장 강한 메카니즘을 제공하는 부위에 의하여 흡착이 이루어지고, 그 다음으로 강한 부위에 의하여 흡착이 이루어져 공간을 채우게 된다.

### (1) London-Van der Waals

London-Van der Waals forces는 확산력의 결과로 생기는 짧은 범위의 결합(short-range bonds)으로 주로 비이온성, 비극성 분자 및 분자의 비극성 부위의 흡착과 관련이 있다. 유도쌍극자간의 상호작용(Induced dipole-induced dipole interaction) 또는 분산력은 분자들 간 전자 운동의 상호작용의 결과이다. 이들 상호작용에서 서로 인접한 각각 분자들의 전자의 이동은 상당히 작은 순수한 정전기적인 인력은 발생하는 것과 관련이 있다. 이들 상호작용의 강도는 비교적 낮고(2-4 kJ/mol),  $1/r^6$ 에 따라 급격하게 낮아진다.

### (2) 수소결합

수소결합은 Van der waals상호작용보다 강한 dipole-dipole 상호작용으로 부분적인

전하의 이동이라고 볼 수 있으며, 비이온성 분자의 점토광물에 흡착되는 양상이다. -OH기를 가지고 있는 농약성분들이 점토광물 표면에 흡착되는 현상이 대표적인 예이다.

수소결합은 2-4 kJ/mol의 약한 결합에서 60 kJ/mol의 강한 결합까지 변화할 수 있는 에너지를 갖는 분자의 외·내부에서 일어날 수 있다.

### (3) 소수결합(hydrophobic bonding)

토양 내 유기물의 소수성 부위에서의 흡착으로 비극성농약의 흡착과 관계가 있으며, 토양 내 수분은 토양의 소수성 표면에 영향을 주지 않으므로 유기물과 농약의 토양 내 잔류에 크게 관여하는 결합이라고 볼 수 있다. 그 일례로서 유기 염소 계 농약이 토양 내 유기물에 의하여 흡착되는 현상이다.

### (4) 이온 교환

이온교환 메카니즘은 강한 결합 메카니즘에 속하며, 농약성분이 양이온을 띠거나, 분자 중에 수소를 방출할 수 있는 능력을 갖추고 있는 경우에 가능한 흡착과정이다. 토양의 산도는 농약분자의 수소방출에 중요한 역할을 한다.

### (5) 배위자교환(Ligand exchange)

리간드교환에 따른 흡착은 carboxylate 또는 hydroxyl과 같은 유기작용기가 점토광물의 표층에서 금속이온(Fe 또는 Al)의 무기 hydroxyl이나 물 분자로 치환되어 점토광물에 농약이 흡착되는 것을 증가시켜 주는 현상이다.

### (6) 양성자첨가(Protonation)

유기작용기가 표면의 양자와 복합체를 형성할 때 광물 표면에서 농약의 양성자첨가(Protonation) 또는 전하 전이복합체의 형성이 이루어진다. retention 메카니즘은 염기성작용기가 산성광물표층에서 저 pH, 저 수분함량, 특히 Al, H 또는 다른 금속양이온이 존재할 경우에 특히 중요하다. 양자화 복합체는 흡착을 충분히 하여 비가역적으로 할 수 있다.

## (7) 공유결합

대부분의 농약 또는 어떠한 유기물질을 토양 중에서 처음에는 빠르고 가역적인 평형상태가 용액상의 물질과 토양표면에 흡착되어있는 물질사이에서 성립된다. 하지만 일단 흡착되면 그 물질은 retention에 영향을 미칠 수 있는 다른 요인의 영향을 받기 쉽게 된다. 어떤 물질은 토양매체에서 물리적으로 결합되는 반면 어떤 물질은 공유적이고 비가역적으로 결합한다. phenols, catechols와 anilines는 공유결합의 형성을 받기 쉽다.

## 2) 흡착등온식

흡착등온선은 일정온도에 있어서 흡착질의 농도와 흡착제의 단위질량당 평형흡착량과의 관계를 나타내며, 흡착등온식에는 Linear 흡착등온식, Freundlich 흡착등온식, Langmuir흡착등온식 등이 있다.

본 연구에서는 농약 흡착연구에 폭넓게 사용되고 있는 Freundlich 흡착등온식을 적용하였다(감 등, 1999).



### (1) Freundlich 흡착등온식

Freundlich 흡착등온식은 원래 경험적으로 구하여진 실험식이지만, 최근 불균일 표면에서 흡착이론으로부터 얻어진 흡착량과 흡착열의 관계에 이 식을 대응하는 것이 확실하여졌다.

Freundlich 흡착등온식은 식(4)와 같다.

$$\frac{x}{m} = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

식(4)를 선형화하면 식(5)과 같다.

$$\log \frac{x}{m} = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (5)$$

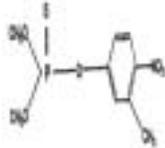
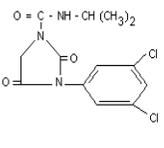
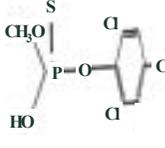
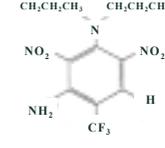
여기서,  $K_F$ ,  $1/n$ 은 Freundlich 상수로,  $K_F$ 는 흡착제에 대한 용질의 상대적 흡착용량을 나타내는 지표이며,  $1/n$ 은 흡착된 양과 평형농도사이의 상대적 직선성의 정도를 나타내는 흡착강도의 지표이다.

### III. 실험재료 및 방법

#### 3.1 사용 농약의 특성

실험에 사용한 농약은 골프장에서 주로 사용하는 것으로 스미치온유제(살충제, 유효성분은 페니치온 40%), 새시로수화제 (살균제, 유효성분은 이프로디온 50%), 리조렉스 수화제(살균제, 유효성분은 톨크로포스메틸 50%), 한목 입상수화제(제초제, 유효성분은 프로디아민 63%), 그리고 데브리놀 수화제(제초제, 유효성분은 나프로파미드 50%)로 5종류를 사용하였다. Table 1은 농약의 특성을 나타내었다.

Table 1. Characteristics of pesticides used in this study

Common Name	Fenitrothion	Iprodione	Tolclofos-methyl	Prodiamine	Napropamide
Chemical Name	O,O-dimethyl O-(3-methyl-4-nitrophenyl)phosphorothioate	3-(3,5-dichlorophenyl)-N-(1-methylethyl)-2,4-dioxo-1-imidazolecarboxamide	O-2,6-dichloro-p-tyl O,O-dimethyl phosphorothioate	5-Dipropylamino- $\alpha,\alpha,\alpha$ -trifluoro-4,6-dinitro-o-toluidine	N,N-Diethyl-2-(1-Naphthylenoxy)-Propanamide
Molecular weight	277.2	330.17	287	350.3	272
Molecular formula	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> NO <sub>5</sub> PS	C <sub>13</sub> H <sub>13</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>9</sub> H <sub>11</sub> Cl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> PS	C <sub>13</sub> H <sub>17</sub> F <sub>3</sub> N <sub>4</sub> O <sub>4</sub>	C <sub>17</sub> H <sub>21</sub> NO <sub>2</sub>
Chemical Class	organophosphorus	dicarboximide	organophosphorus	dinitroaniline	amide
Chemical Use	insecticides	fungicides	fungicides	herbicides	herbicides
Chemical Structure					

농약분석은 먹는물 수질기준의 유기인 검출방법을 이용하였다. 전처리는 검수 500mL를 1L분액깔때기(A)에 취하고 염화나트륨 약 5g을 넣어 녹인 다음 염산(1+1)을 넣어 산성으로 했다. 다음으로 추출용매 30mL를 넣어 2분간 강하게 흔들어서 섞은 다음 가만히 두었다가, 물 층을 다른 분액깔때기(B)에 취한 후 여기에 추출용매 30mL를 넣어 같은 방법으로 추출한다. (B)의 분액깔때기에서 추출한 것을 (A)의 분액깔때기에 합하여 물 10mL 2회 세척한다. 이것을 세척한 추출액을 무수황산나트륨 70~100mm를 채운 칼럼관을 통과시킨 액을 구테루나다니쉬 농축기로 5mL까지 농축하여 시험용액으로 한다. 이것을 세척한 추출액을 무수황산나트륨 70~100mm를 채운 칼럼관을 통과시킨 액을 구테루나다니쉬 농축기로 5mL까지 농축하여 시험용액 만든 후 GC(HP5890 series II)로 분석하였다(Table 2).

Table. 2 Gas Chromatographic operation conditions for pesticides analysis

Instrument	Gas Chromatographic
<u>Model</u>	HP5890 series II
<u>Detector</u>	NPD
<u>Instrumental Setting</u>	
Injection volume	1 $\mu$ l
Detector temp.	260 $^{\circ}$ C
Injector temp.	260 $^{\circ}$ C
Carrier gas	N <sub>2</sub> ( 99.999%), 1 ml/min
<u>Temperature Program</u>	
Initial temp.	140 $^{\circ}$ C
Initial time	2 min
First rate	10 $^{\circ}$ C/min
Final temp.	220 $^{\circ}$ C
Second rate	2 $^{\circ}$ C/min
Final temp.	240 $^{\circ}$ C
<u>Column</u>	HP-5
Length	30 m
Int. diameter	0.25 mm

### 3.2 사용 활성탄의 특성

실험에 사용된 활성탄은 입상활성탄으로 원료에 따른 분류를 위해 야자계와 석탄계를 사용하였다. 활성탄은 모두 6종류로서 야자계 활성탄인 Y1100, Y1000, 그리고 Y와 석탄계 활성탄 C, C1000, 그리고 C900을 이용하였다. 활성탄들간의 물리적 특성 비교를 위해 요오드가, 비표면적, 그리고 세공용적을 분석하였다. 요오드가 측정은 활성탄 시료에 요오드 용액을 가하여 흡착시킨 다음 상층액을 분리하여 잔존되어 있는 요오드의 농도로부터 구했고, 비표면적과 세공용적은 Quanta Chrome Co. autosorb-1을 사용하여 N<sub>2</sub> gas sorption method으로 측정하였다.

활성탄의 물리적 특성을 Table 3에 나타내었다. Y1100, Y1000, Y, C, C1000 그리고 C의 요오드 값은 각각 1111 mg/g, 1004 mg/g, 1018 mg/g, 1052 mg/g, 1012 mg/g, 그리고 957mg/g로서 Y1100이 가장 크고 C900이 가장 낮은 요오드 값을 나타내고 있다. 한국공업 규격에 따르면 활성탄을 요오드가에 따라서 3종류로 분류하고 있는데, 요오드가가 1100 mg/g이상은 1등급, 2등급은 1000 mg/g이상이고, 3등급은 900 mg/g이상이다. 비표면적은 야자계활성탄은 1043~1070 m<sup>2</sup>/g이며, 석탄계활성탄은 987~1003 m<sup>2</sup>/g의 사이에 분포하고 있으며, 야자계활성탄이 높은 값을 나타내고 있다. Y가 1152 m<sup>2</sup>/g으로 가장 높았고 C900이 987 m<sup>2</sup>/g으로 가장 낮았다. 반면에 세공용적은 야자계 활성탄은 0.58~0.93 ml/g사이의 분포하고 석탄계활성탄의 세공용적 분포범위는 0.48~0.67 ml/g로 Y1000가 0.93 ml/g으로 가장 큰 세공용적을 나타내었다.

Table 3. Properties of Activated Carbon used

	Y1100	Y1000	Y	C	C1000	C900
Raw material	coconut shell			Coal		
Iodine Number(mg/g)	1111	1004	1018	1052	1012	957
Specific surface area(m <sup>2</sup> /g)	1070	1043	1152	1003	989	987
Pore volume(ml/g)	0.59	0.93	0.58	0.48	0.67	0.59

### 3.3 실험방법

#### 1) 등온흡착실험

등온흡착 실험은 6종류의 입상활성탄 각각을 200 mesh에 통과할 수 있는 크기까지 분쇄하여 활성탄 용액의 농도가 1000 mg/l로 일정하게 만들었으며, 일정농도의 농약(수화제인 경우 정확히 200 mg을 분취하여 증류수 20 ml에 녹여 희석한 후 농도가 2.5 mg/l가 되도록 하였으며, 유제는 200 $\mu$ l를 증류수 20 ml에 녹여 희석한 후 2.5  $\mu$ l/l로 만들었다)이 있는 시료수에 분말활성탄을 농도별로 2 mg/l, 4 mg/l, 7 mg/l, 10 mg/l, 그리고 20 mg/l 주입 후 250 rpm이상 회전하는 진탕기에서 실내온도를 20  $^{\circ}$ C로 조정하여 24시간 흡착평형실험을 하였다.

농도 분석은 시료를 GF/C 필터로 활성탄을 분리한 수 분액갈때기에 시료 100 ml와 노르말핵산과 염화메탄을 혼합액(혼합비율 85:15) 10 ml를 넣은 후 진탕기에서 250 rpm으로 5분간 진탕시킨 후 용액을 물과 분리시킨 후 1PS여지에 걸러 용액이 1 ml 되게 질소농축기에서 농축시킨 후 2 ml의 Vial에 담아 GC-MS로 분석하였다.

#### 2) 모의 흡착장치에서 농약 제거 실험

활성탄 종류에 따른 농약의 제거 특성을 파악하기 위해서 실제 골프장과 같은 조건의 모의 장치를 제작하였으며, Fig. 1에 나타내었다. 흡착장치는 높이 50cm, 내경 15cm의 두께 5mm인 원통형 투명 아크릴로 제작하고, 충전물 지지대는 두께 5mm의 투명 아크릴에  $\phi$ 2mm의 구멍을 뚫어 용출수가 빠지도록 하였다. 시료 채취용 밸브는 하단에서 약 1cm위에 설치하였다.

모의장치에 활성탄 충전 조건은 골프장의 그린·티와 웨어웨이 조건 2가지로 나누어서 하였다(Table 4). 지지대 위에 모래의 유실을 방지하기 위하여 3mm의 매끈한 자갈층을 5cm정도 충전 한 후, 그린·티는 활성탄 3 cm와 모래 27 cm를 혼합하여 충전 하고 웨어웨이는 활성탄이 1.5kg/m<sup>3</sup>와 모래 30cm를 혼합하여 충전하였다. 그리고 잔디를 약 10cm정도 식재하였다.

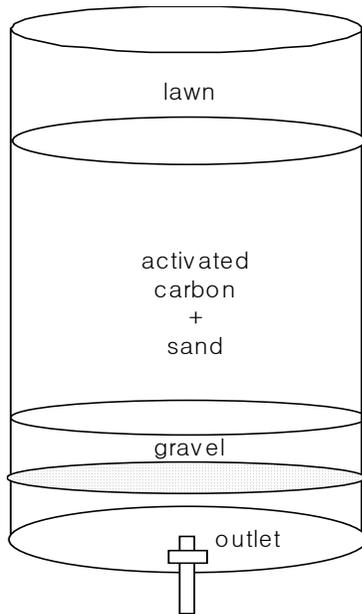


Fig. 1. Experimental apparatus.



Table 4. Experimental conditions for column test.

Green · Tee	Fairway	Paving Depth
Activated carbon 3cm + sand 27cm	Activated carbon 1.5 kg/m <sup>2</sup>	30 cm

실험과정은 실험 1일 전에 물로 충분히 세척한후 Table 5에 따라 제조한 농약을 모의장치 상단부에 분무기를 사용하여 살포하였으며, 농약살포 후 수돗물로 살수하여 세척하였다. 이때 수돗물은 염소에 의한 영향을 없애기 위해 24시간 방치한 것을 사용하였다. 살수량은 1994년부터 2003년까지의 제주도의 평균강우량을 기준으로 골프장에서 실제 각각의 농약을 살포하는 시기의 평균 강우량을 살포하였다(Table 6). 살수 후 모의장치 하단부를 통하여 유출된 유출수를 시료로 하여 농약을 분석하였다. 2 번째 농약은 24시간후에 살포 되었으며 실험은 5일 동안 연속으로 이루어 졌다. 농약 살포 순서는 fenitrothion, iprodione, tolclofos-methyl, prodiamine, 그리고

napropamide의 순서이며, 살포량은 fenitrothion이 53.1 ml/m<sup>2</sup>, iprodione 17.7 ml/m<sup>2</sup>, tolclofos-methyl 17.7 ml/m<sup>2</sup>, prodiamine 5.4 ml/m<sup>2</sup>, 그리고 napropamide 5.4 ml/m<sup>2</sup>이다.

Table 5. The conditions for spreading on Pesticides and rainfall

Pesticides	Dilution ratio*	application dose**	application dose in column***	the times for rainfall	the amount of watering in column
fenitrothion	20ml/20 ℓ	3 ℓ / m <sup>2</sup>	53.1ml	June to September	7.4 ℓ
iprodione	20g/20 ℓ	spread evenly among all/ 10a	17.7ml	May to June	10.7 ℓ
tolclofos-methyl	20g/20 ℓ	1 ℓ / m <sup>2</sup>	17.7ml	September to October	5 ℓ
prodiamine	10g/20 ℓ	300 ℓ /10a	5.4ml	March and October	5 ℓ
napropamide	33g/20 ℓ	300 ℓ /10a	5.4ml	March and October	5 ℓ

\*, \*\* : instruction of pesticides(농약사용지침서, 2002)

\*\*\* :  $[(\pi/4 \times 0.15^2) \times \text{application dose}]$  , 0.15 : the inside diameter of column

Table 6. The annual rainfall in JeJu(mm)

month year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1994	82.3	83.5	104.4	342.4	237.7	530.4	134.2	810.3	226.6	393.2	49.8	69.6
1995	111.4	111	239.8	214.8	506.7	304	1203.5	633.8	192.4	169.9	56	23.6
1996	48.9	52.4	300.6	201.9	177.3	625.6	129.7	444.9	30.2	161.6	163.8	160
1997	168.9	45	168.1	422.4	199.3	215.3	343.4	411.4	77.9	8.1	439.3	202.3
1998	281.6	217.6	258.2	467.4	209.1	428	394.1	186	890.5	135.3	39.4	15.4
1999	160.1	95.6	251.9	125.1	371	499.8	1624.2	1309.1	824.9	98.3	64.3	36.9
2000	210.7	31.4	115.4	93.5	208.2	264.7	331.6	413.9	519.4	259.6	187.1	27
2001	155.2	172.1	34	265.6	267.9	531.5	396.3	474.7	184.1	291.6	96.1	189.1
2002	143	86.1	160.5	222.6	336.1	215.7	865	777.5	278.5	295.1	49.3	200.1
2003	55.9	133.9	277.2	345.9	676.3	538.9	688	555.7	553.7	73.6	222	31.8
averages	141.8	102.86	191.01	270.16	318.96	415.39	611	601.73	377.82	188.63	136.71	95.58

## IV. 실험결과 및 고찰

### 4.1 등온 흡착 실험결과

일반적으로 수처리 이외의 액상흡착에 관해서 흡착되기 쉬운 용질이 용해도가 그다지 크지 않은 용매에서 흡착될 때에는 BET법이 적용되나, 수처리에서는 보통 Freundlich식이 근사적으로 성립하고 이것에 의하여 등온흡착선이 많이 사용된다(北川睦夫,1995). 그리고 감 등(1999)에 의하면 농약 흡착연구에 있어서 Freundlich식이 광범위하게 사용된다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 실험결과를 토대로 각각의 활성탄의 농약 흡착 특성을 평가하기 위하여 Freundlich 등온흡착식을 이용하였다. 상수 K와, 1/n값을 아래 식 (6)를 이용하여 구하였으며 Table 7에 각 농약별, 활성탄 종류에 따른 실험결과를 나타내었다.

$$q_e = K C^{1/n} \quad (6)$$

여기서,  $q_e$  : 활성탄 단위중량 당 흡착량

$C$  : 활성탄 처리 후의 평형 농도 (잔존 농도)

$K, 1/n$  : 흡착실험에 의해 정해지는 정수

Fig. 2 ~ 6은 농약별 활성탄종류에 따른 등온흡착곡선을 나타내었다.  $R^2$ 에서 보여주는 바와 같이 활성탄 및 농약의 종류에 따라 다소의 차이를 보이고 있지만 Y활성탄에 대한 iprodione의 흡착과 Y1100활성탄에 대한 prodiamine의 흡착을 제외하고는 활성탄의 농약 흡착은 Freundlich식에 비교적 잘 적용됨을 알 수 있었다. Freundlich식에서 K값은 흡착평형농도  $C_e=1 \mu\text{g}/\text{ml}$ 일 때의 흡착상수로 단위농도에서 농약과 흡착제 상이의 상대적인 친화성을 나타내는 지표로, K값이 클수록 흡착량이 크고

(Cleveland, 1996),  $1/n$ 값은 흡착된 양과 평형농도 사이의 직선성의 정도를 나타내는 흡착강도의 지표이고(Bansal, 1983), 0.1~0.5일 때 흡착되기 쉽고, 2이상에서는 흡착량이 두드러지게 저하되므로 효과적이지 않다고 알려져 있다(北川, 1995).

활성탄에 대한 농약의 K를 살펴보면, fenitrothion, iprodione, toclofos-methyls 농약들에서는 석탄계활성탄들이 야자계활성탄들 보다 K값이 모두 높게 나왔으며 prodiamine은 야자계 활성탄인 Y1000의 K값이 3.514로 가장 크고 napropamide는 Y값이 가장 높았다.

농약 종류에 따른 활성탄의 흡착을 살펴보면 대부분 석탄계활성탄에서 농약들의 흡착이 우수했다. Fenitrothion와 Iprodione의 경우는 C1000이 가장 흡착이 뛰어났으며, toclofos-methyl는 Y1000, prodiamine은 C1000, 그리고 napropamine은 야자계활성탄인 Y1100이 가장 흡착이 잘 되었다.



Table 7. Freundlich adsorption constants K and 1/n for pesticides adsorption

Pesticides	Activated Carbon	K	1/n	R <sup>2</sup>
Fenitrothion	Y1100	0.1798	0.0896	0.6156
	Y1000	0.2480	0.1908	0.904
	Y	0.1796	0.0767	0.7433
	C	0.4190	0.3983	0.9825
	C1000	0.4443	0.4091	0.9715
	C900	0.3758	0.3413	0.9972
Iprodione	Y1100	0.0585	0.2675	0.7649
	Y1000	0.1476	0.5530	0.8903
	Y	0.0390	0.1375	0.3094
	C	0.1883	0.5396	0.912
	C1000	0.4519	0.7474	0.9914
	C900	0.2113	0.5416	0.8882
Toclofos-methyl	Y1100	0.4269	0.3256	0.8959
	Y1000	0.5665	0.4416	0.8575
	Y	0.3201	0.2214	0.955
	C	1.8951	1.1026	0.9509
	C1000	0.8433	0.5160	0.9172
	C900	0.6542	0.5044	0.9023
Prodiamine	Y1100	0.0162	0.1348	0.4266
	Y1000	3.5144	2.3171	0.7512
	Y	0.2748	0.8949	0.8878
	C	0.1072	0.3999	0.5408
	C1000	0.2828	0.636	0.8533
	C900	1.1269	1.1365	0.832
Napropamide	Y1100	0.2849	0.3826	0.8511
	Y1000	0.2590	0.4111	0.9622
	Y	0.8512	1.6357	0.9651
	C	0.461	1.1	0.7947
	C1000	0.4683	1.1106	0.9009
	C900	0.4947	1.2087	0.8604

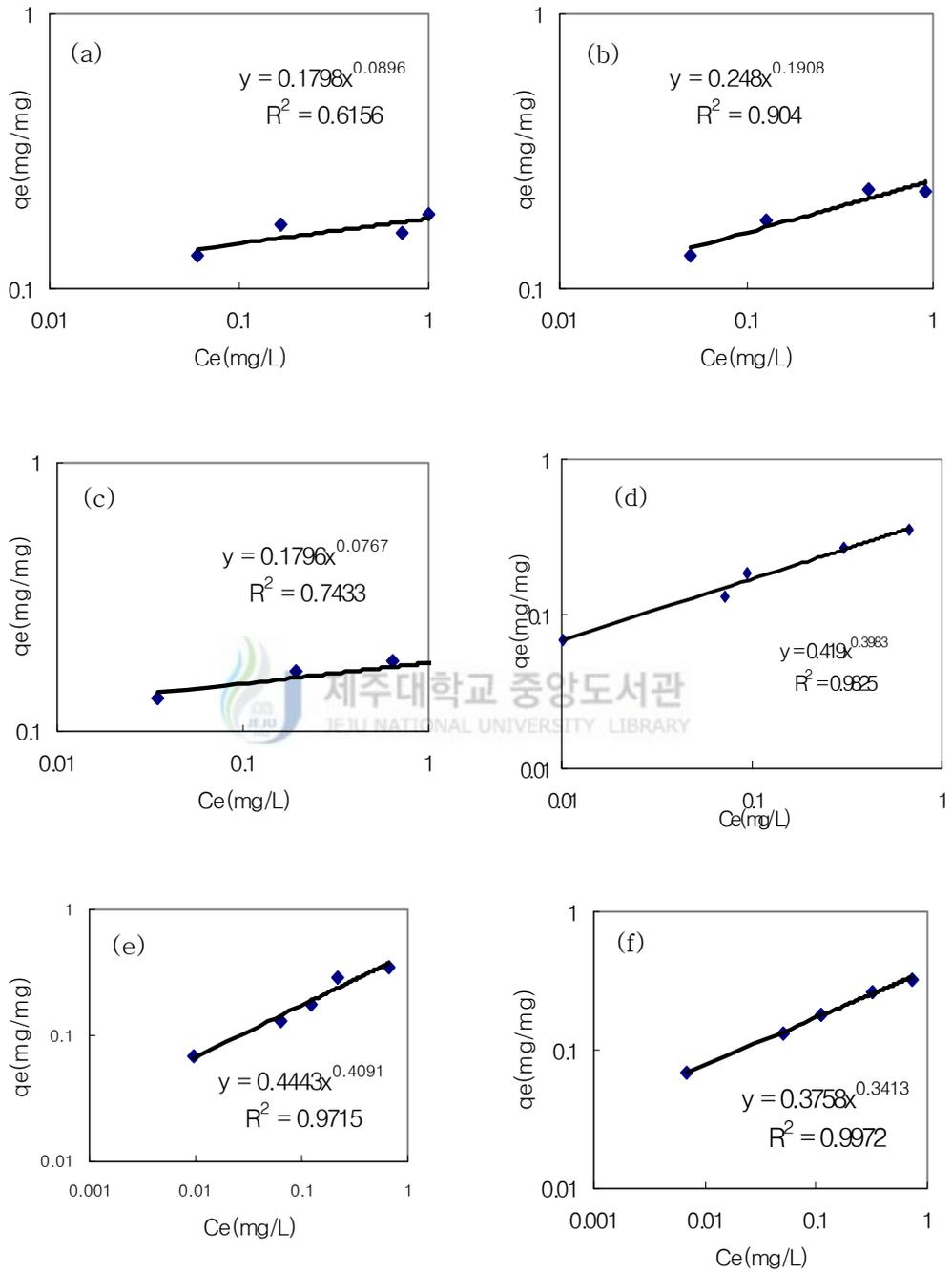


Fig. 2. Linear adsorption isotherms of Fenitrothion  
 (a)Y1100 (b)Y1000 (c)Y (d)C (c)C1000 (d)C900

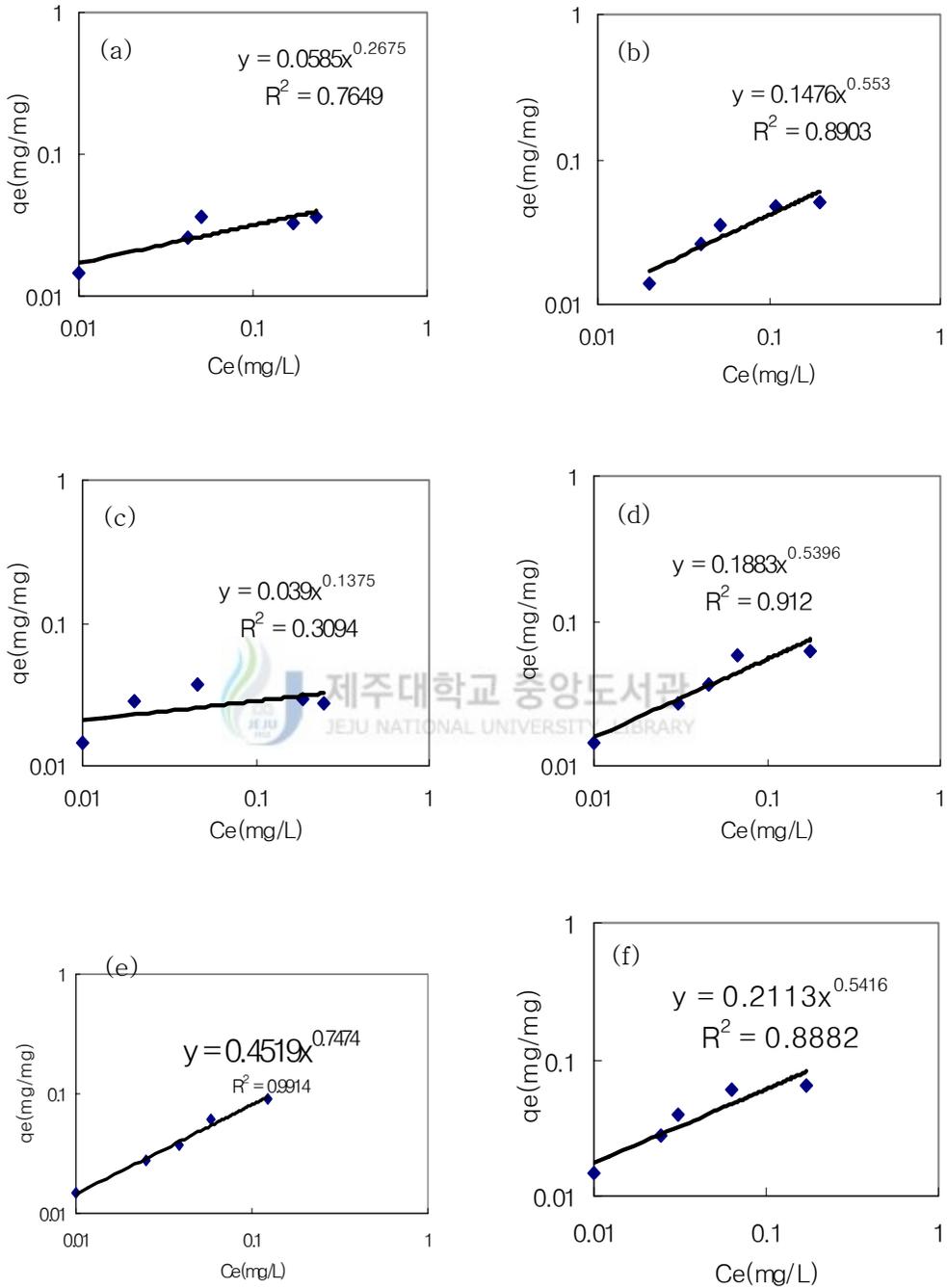


Fig. 3. Linear adsorption isotherms of Iprrodine  
 (a)Y1100 (b)Y1000 (c)Y (d)C (c)C1000 (d)C900

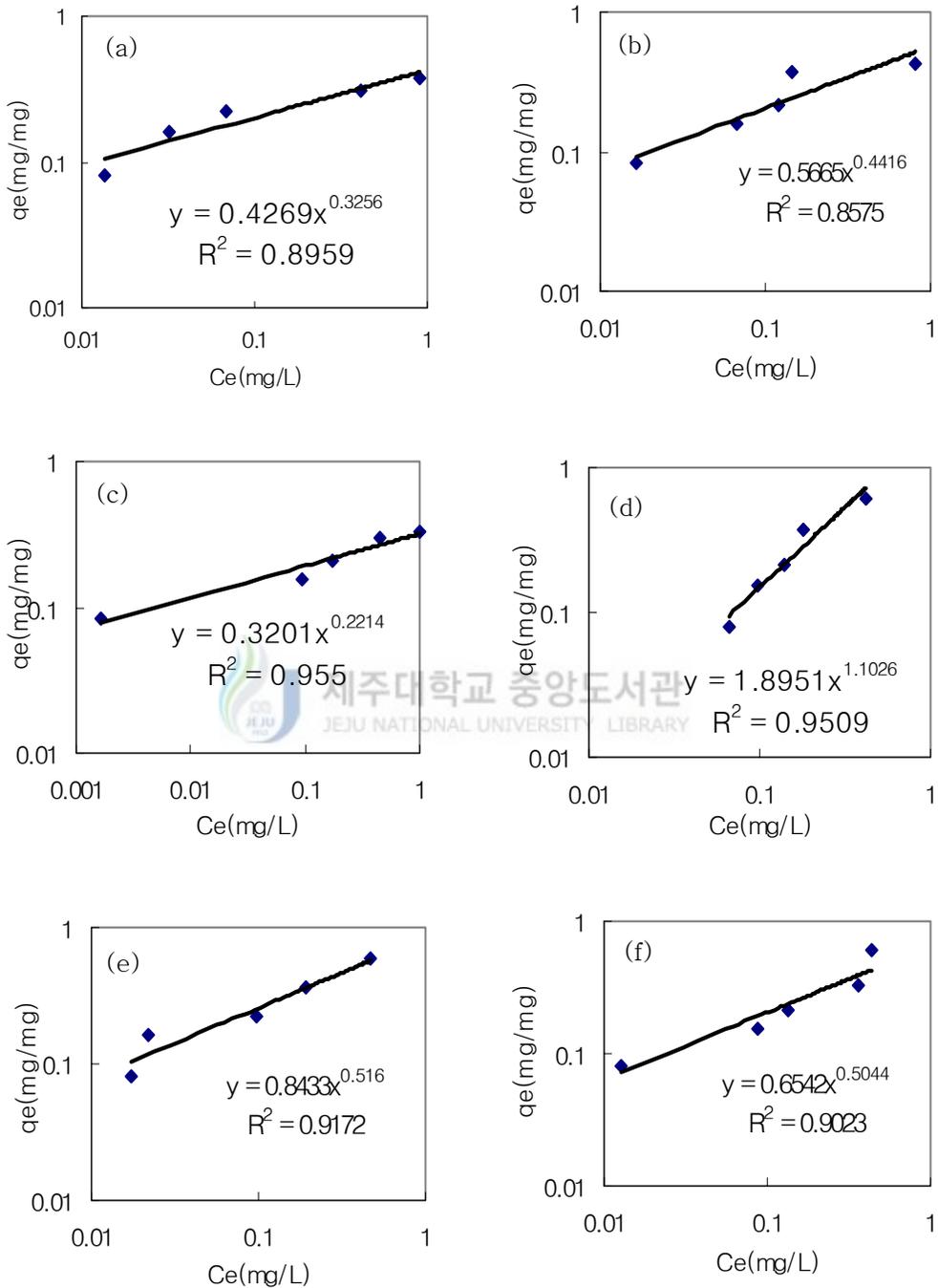


Fig. 4. Linear adsorption isotherms of Tolclofos-methyl  
 (a)Y1100 (b)Y1000 (c)Y (d)C (e)C1000 (f)C900

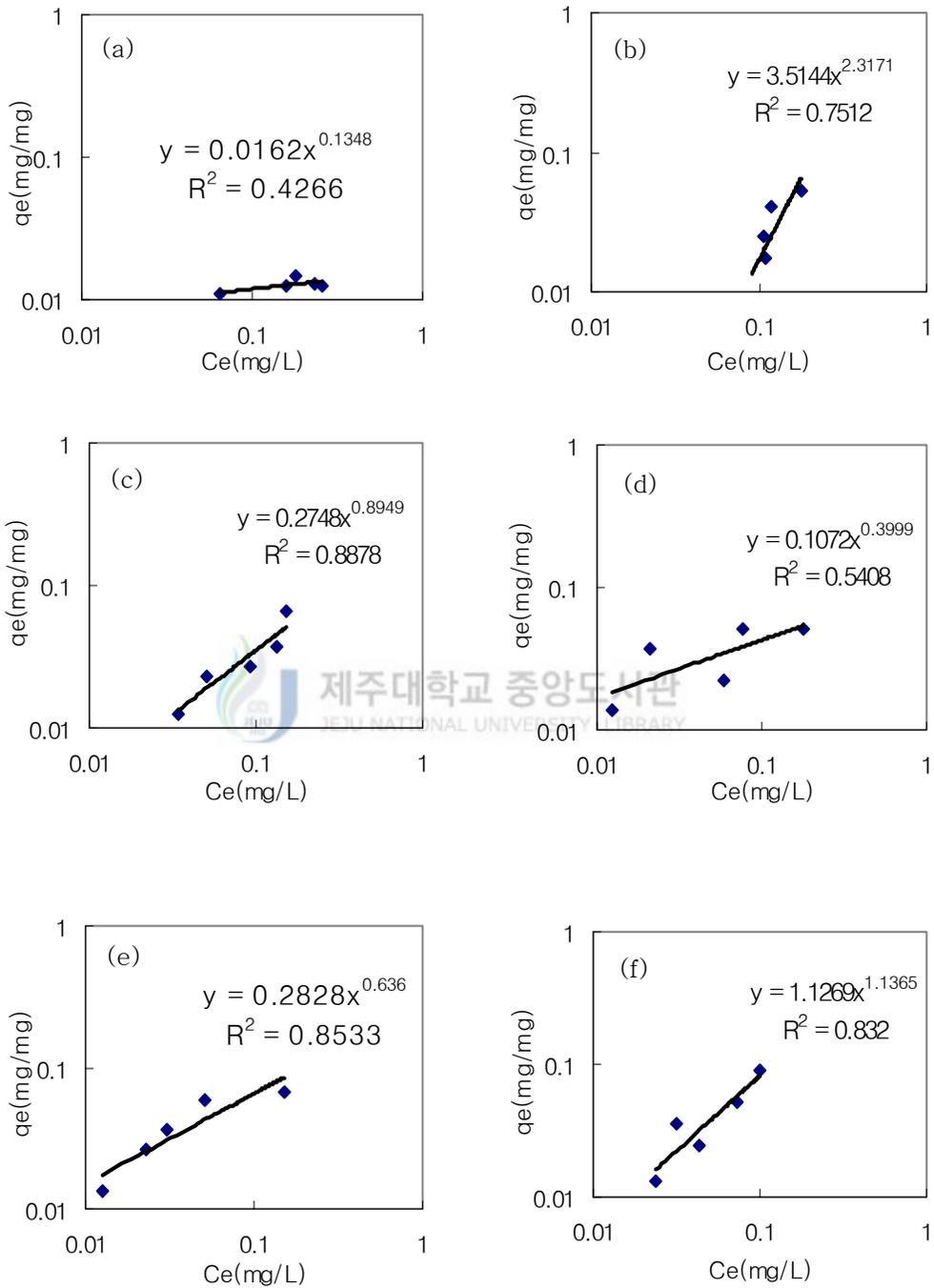


Fig. 5. Linear adsorption isotherms of Prodiamine  
 (a)Y1100 (b)Y1000 (c)Y (d)C (c)C1000 (d)C900

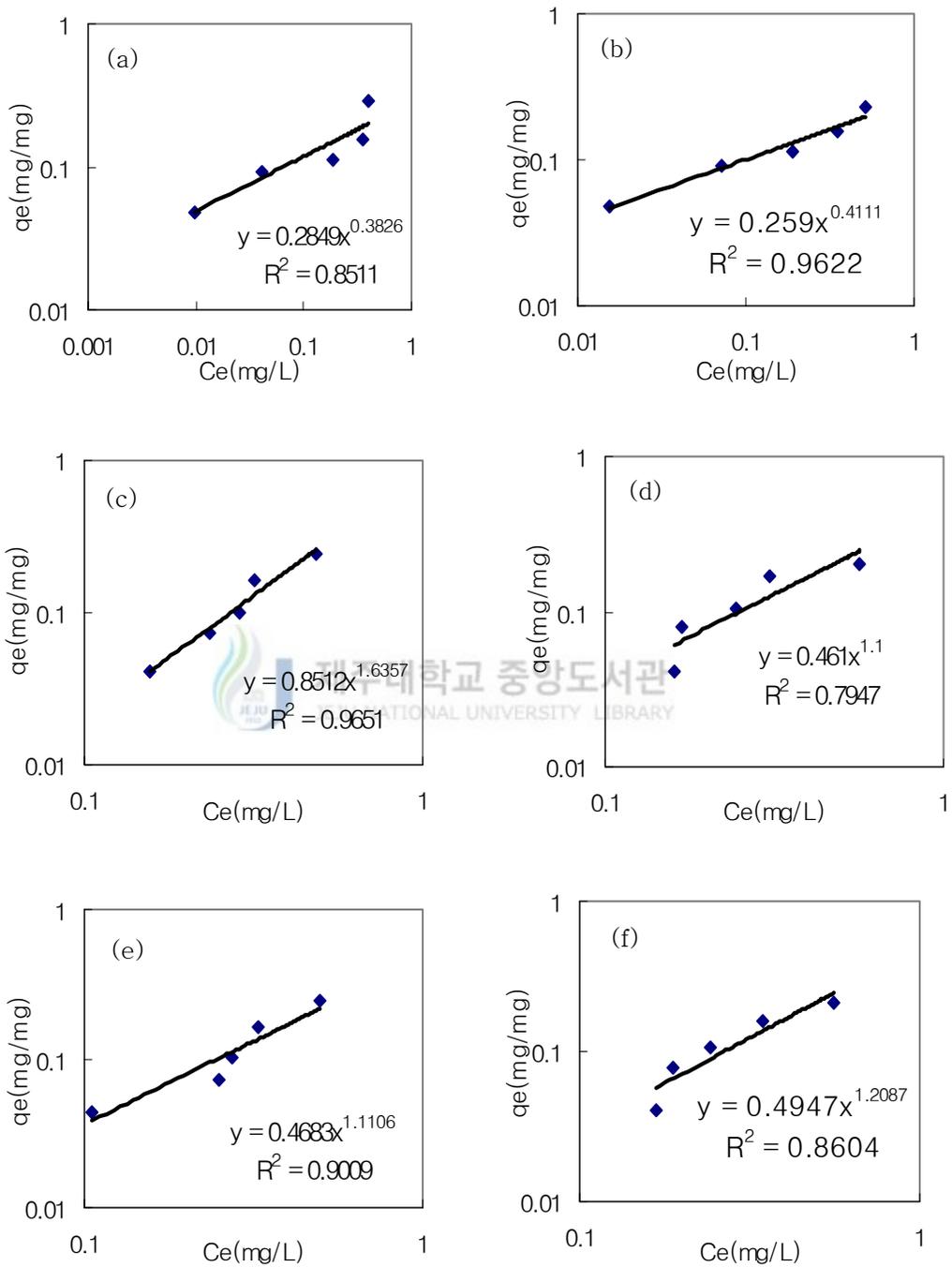


Fig. 6. Linear adsorption isotherms of Napropamide  
 (a)Y1100 (b)Y1000 (c)Y (d)C (c)C1000 (d)C900

## 4.2 모의 흡착장치에서 농약 제거 실험

### 1) 그린·티 조건에서 실험결과

골프장 그린·티와 같은 조건의 모의 흡착장치를 만들어 활성탄 종류에 따른 농약 제거 실험을 하였다. 활성탄은 아자계활성탄(Y1100, Y1000, Y) 3종류와 석탄계활성탄(C, C1000, C900) 3종류를 이용 하였으며, 농약은 fenitrothion, iprodione, tolclofos-methyl, prodiamin 그리고 napropamide를 사용하였다.

실험결과는 Fig. 7~11과 같다. Fenitrothion의 경우 1차에 살포하였으며 활성탄별로는 Y1100와 Calgon에서는 실험기간 동안 한번도 용출이 이루어지지 않았으며 Y1000는 강우살포 4차 때만 용출이 일어났으며, 검출된 농도는  $2511 \mu\text{g}/\ell$  이고 Y는 1차와 2차 때에 각각  $3122 \mu\text{g}/\ell$ ,  $2568 \mu\text{g}/\ell$  로 활성탄 중 fenitrothion 흡착능이 가장 좋지 않았으며 C1000와 C900은 2차 때에 용출되었으며 검출된 농도는 각각  $2525 \mu\text{g}/\ell$ ,  $2537 \mu\text{g}/\ell$  였다.

유출수 중의 iprodione 농도로써 모든 활성탄에서 용출이 일어났으며 검출농도 범위는  $1\sim 30 \mu\text{g}/\ell$  이고 C900활성탄이 가장 많은 농약이 검출되었다. Tolclofos-methyl 인 경우는 Y1100, C, C900에서는 검출이 되지 않았으며 C1000에서는 농약 살포부터 실험종료까지 계속 검출되었다.

실험에 사용된 농약 중에서 prodiamine에 대한 활성탄의 흡착 효율이 가장 높았다. Y1100, Y1000 그리고 C900에서는 실험 종료까지 prodiamine의 용출이 없었으며 C1000이  $95 \mu\text{g}/\ell$  로 가장 많이 검출되었다.

Napropamide는 실험기간 중 마지막에 살포되었으며 강우 살포 후에 모든 유출수에서 검출되었다. 검출된 농도 범위는  $3748 \sim 4857 \mu\text{g}/\ell$  이며 Y활성탄에서 최고값이 검출되었다.

살포된 농약에 대한 총 유출된 농약의 농도에 대한 제거율을 살펴보면 활성탄의 종류에 관계없이 99% 이상 이었으며 농약 종류별로는 prodiamine이 가장 좋고 그 다음은 iprodione이다(Fig. 12).

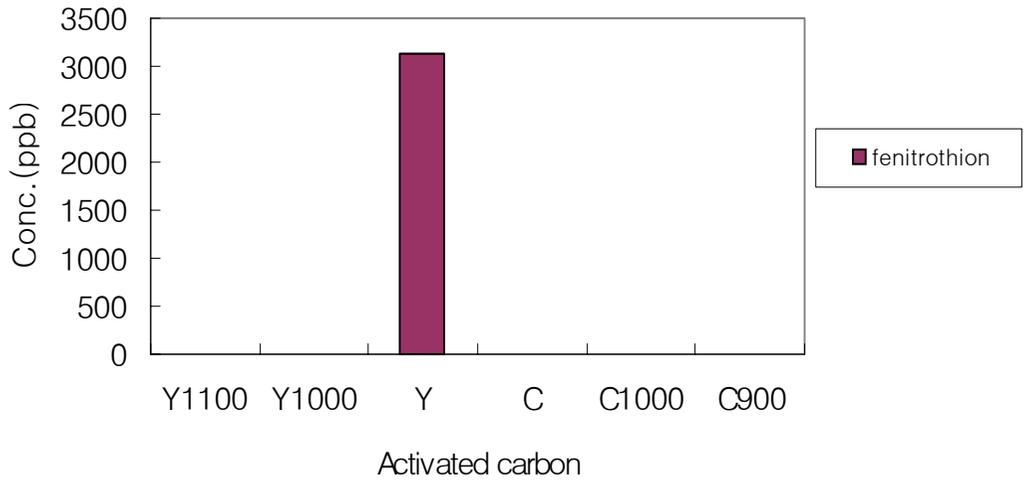


Fig. 7 Residual pesticides concentrations after scattering first pesticide

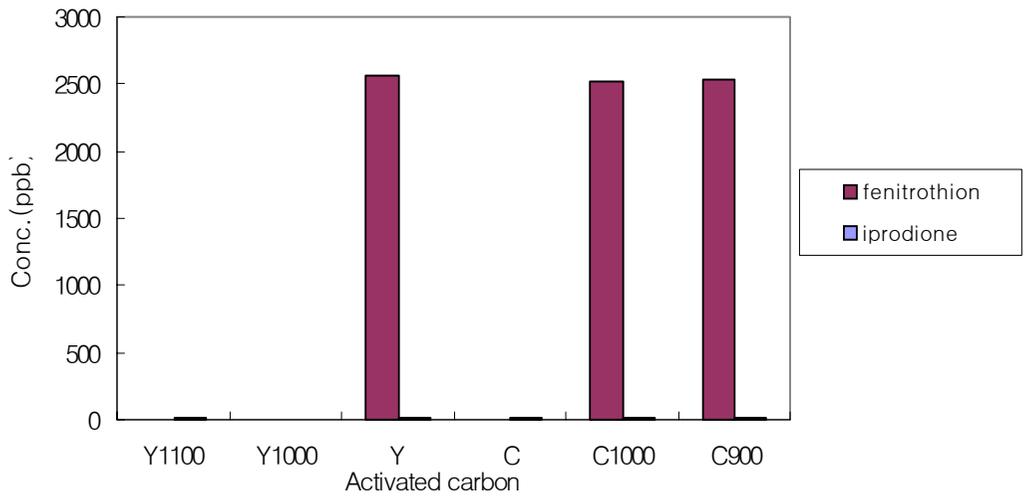


Fig. 8. Residual pesticides concentrations after scattering second pesticide

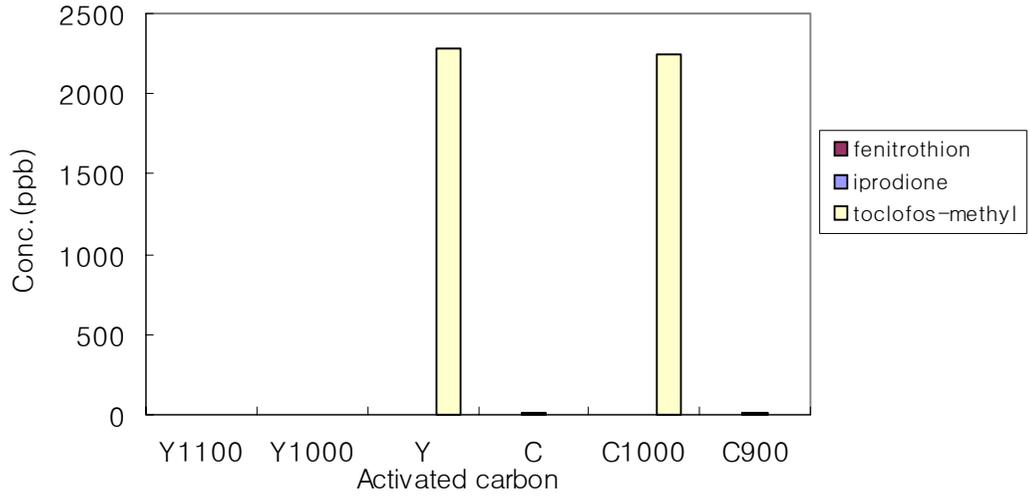


Fig. 9. Residual pesticides concentrations after scattering third pesticide

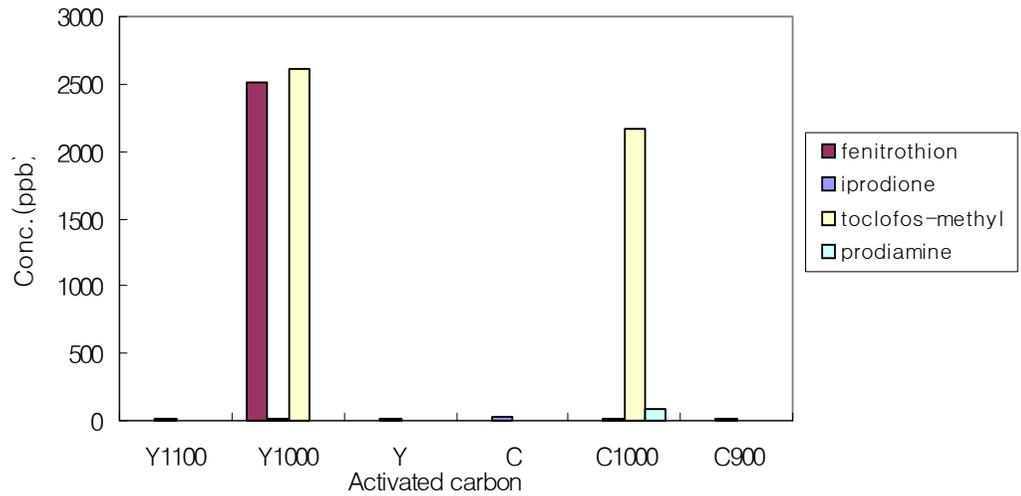


Fig. 10. Residual pesticides concentrations after scattering fourth pesticide

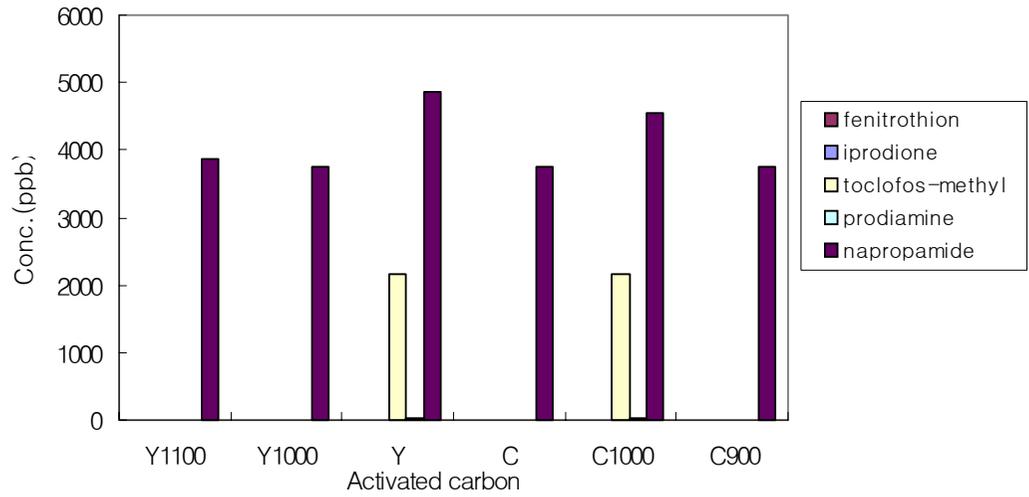


Fig. 11. Residual pesticides concentrations after scattering fifth pesticide.

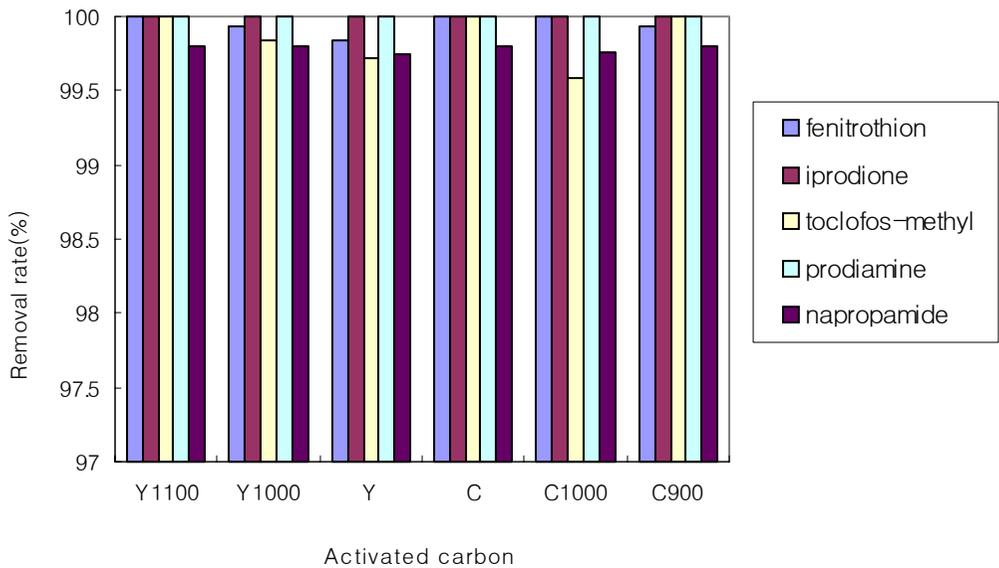


Fig. 12. Pesticide Removal rate with activated carbon in Green · Tee condition.

## 2) 웨어웨이 조건에서 실험결과

웨어웨이 조건에서의 실험한 결과를 Fig. 13~17에 나타내었다. Fenitrothion은 C와 C900에서는 농약 살포 후부터 실험 종료까지 계속 검출되었으며, 전체 검출된 농약의 농도를 살펴보면 C1000에서  $7893 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 낮게 검출되었고 C900에서는 C1000에 비해 약 3배나 높은  $26036\mu\text{g}/\ell$ 였다.

Iprodione인 경우는 농약 살포 한 2차 때에 모든 유출수에서 검출이 되었으며 Y1100에서  $1064 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 많이 검출되었고 C1000에서  $189 \mu\text{g}/\ell$ 로 가장 낮았다. Tolclofos-methyl도 모든 유출수에서 검출되었으며 검출된 농약의 범위는  $2166\sim 2822 \mu\text{g}/\ell$ 로서 비슷한 값을 보였으며, 그중에서 C900활성탄의 흡착효율이 가장 낮았다.

Prodiamine은 활성탄 Y에서는 검출되지 않았으며, C1000에서만 5차때에 검출되었다. 그리고, napropamide의 경우 검출된 농도는  $6024\sim 19263 \mu\text{g}/\ell$ 로서 활성탄 종류별로는 Y1000이 흡착효율이 가장 좋았다.

Fig. 18은 웨어웨이 조건에서의 농약의 제거율을 나타내었다. 제거율을 보면 활성탄 종류에 관계없이 99% 이상을 나타내고 있으며 농약 종류별로는 prodiamine에 대해서가 흡착효과 가장 좋았다.



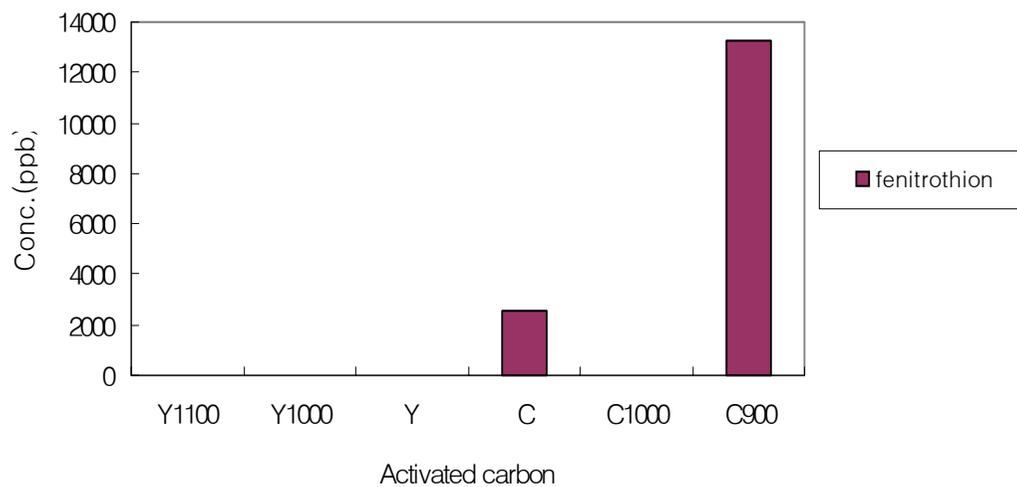


Fig. 13. Residual pesticides concentrations after scattering first pesticide.

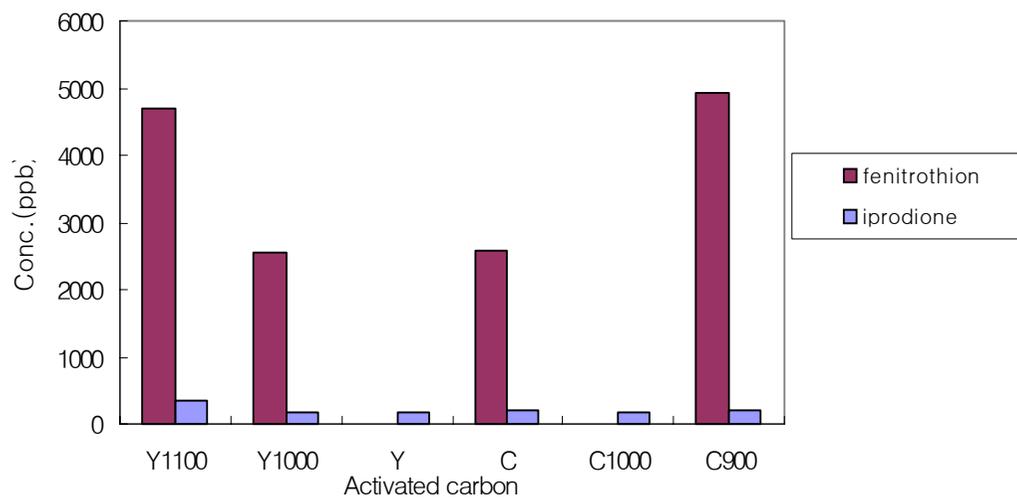


Fig. 14. Residual pesticides concentrations after scattering second pesticide.

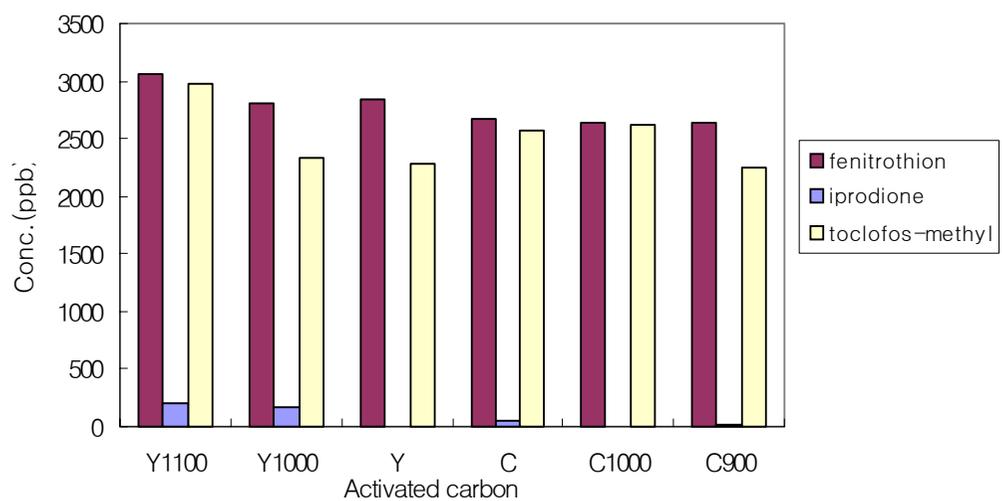


Fig. 15. Residual pesticides concentrations after scattering third pesticide.

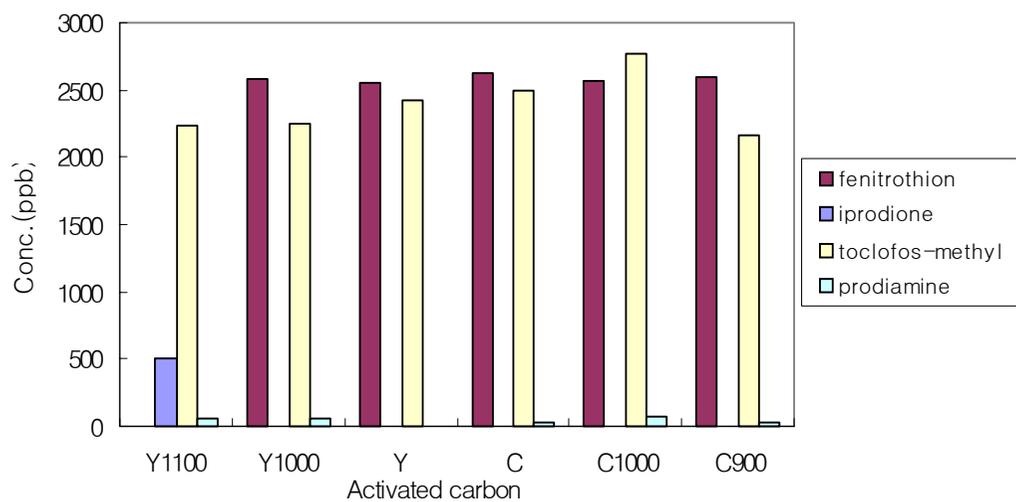


Fig. 16. Residual pesticides concentrations after scattering fourth pesticide.

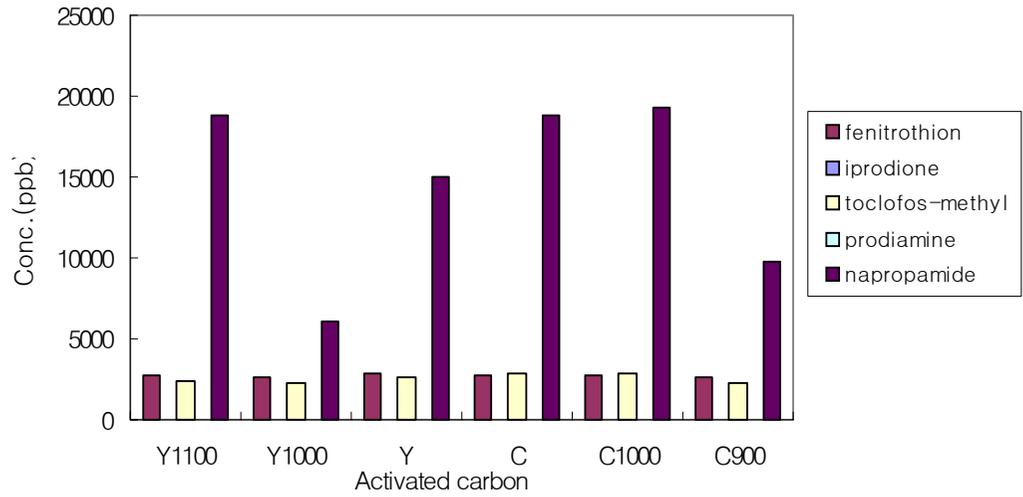


Fig. 17. Residual pesticides concentrations after scattering fifth pesticide.

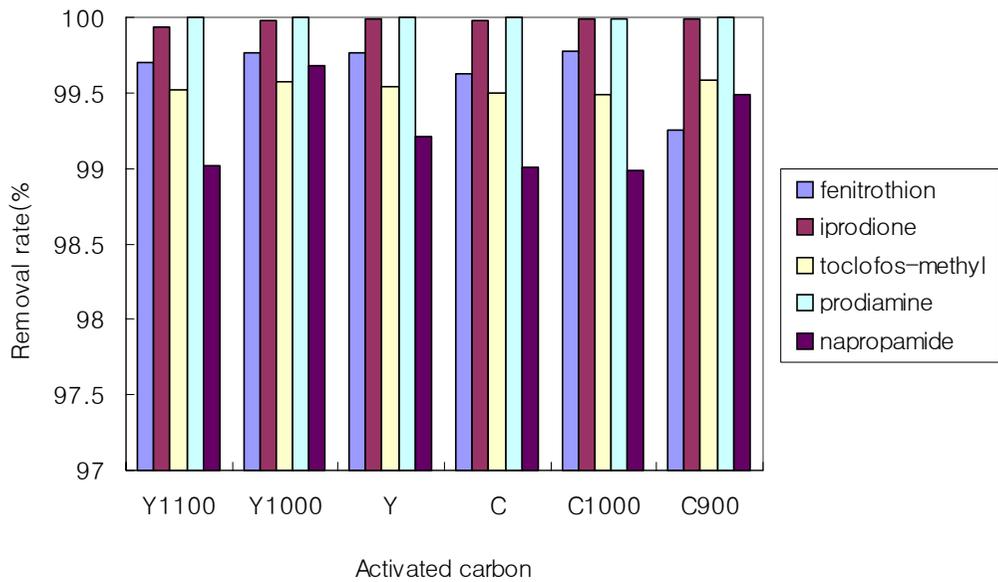


Fig. 18. Pesticide Removal rate with activated carbon in Fairway condition.

## V. 결 론

골프장에서 주로 사용되는 농약 fenitrothion, iprodione, toclofos-methyl, prodiamine, napropamide에 대해서 물리적 특성이 서로 다른 활성탄 6종류를 이용하여 등온흡착실험과 골프장 모의실험을 한 결과는 다음과 같다.

1. 야자계 활성탄 Y1100, Y1000, Y 3종류와 석탄계 활성탄 C1000, C900, C 3종류에 대하여 물성실험을 행한 결과 요오드흡착력은 957~1111 mg/g의 범위에 있었으며, Y1100이 1111 mg/g로 가장 높았으며, C900이 957 mg/g로 가장 낮은 값을 나타내었다. 비표면적은 987~1152 m<sup>2</sup>/g의 범위에 분포하였으며 야자계 활성탄에서는 Y가 1152 m<sup>2</sup>/g로 가장 높고, 석탄계 활성탄에서는 C가 1003 m<sup>2</sup>/g로 비표면적이 가장 컸다. 세공용적인 경우는 Y1000이 0.93 ml/g으로 높은 값을 나타내었으며 나머지 활성탄은 0.48~0.67 ml/g 범위에 분포하였다.
2. 등온흡착 실험결과, 석탄계 활성탄이 야자계 활성탄 보다 농약에 대한 흡착이 더 우수함을 알 수 있었다. 특히, fenitrothion과 iprodione의 경우는 C1000, , prodiamine은 C1000 이 가장 흡착이 잘 되었다.
3. 골프장과 같은 조건으로 제작한 모의 흡착 장치를 이용한 실험은 그린·티 조건에서는 야자계 활성탄인 Y1100이 흡착효율이 가장 좋았으며, 농약 종류에 따른 제거효율은 prodiamine이 가장 높았다. 그리고 웨어웨이 조건은 농약종류에 따라서 활성탄의 흡착효율이 서로 다르게 나타났는데, fenitrothion과 iprodione인 경우는 C1000, toclofoc-methyl는 C900, prodiamine는 Y, 그리고 napropamide는 Y1000에서 농약의 흡착효과가 높았다.
4. 등온흡착 실험결과에 의하면 석탄계 활성탄이 농약에 대해 흡착이 잘 되었지만, 실제 현장과 같은 조건의 모의 흡착실험 결과에서는 농약 성분에 따라 다른 결과

가 나타났다. 이것은 모의 흡착장치 실험의 경우 농약의 살포조건이 강우와의 관계와 실제 자연상태를 모의하고자 중첩 살포한 관계로 판단되며 추후 지속적인 연구가 필요한 부분이라 판단된다.



## VI. 참고문헌

- 감상규, 고병철, 오윤근, 이용두, 김정호, 1999, 제주도 토양에서 유기인계 농약의 흡착 및 용탈, 한국환경과학회지, 제8권(3호), pp.379-386.
- 김길성, 천연 및 합성 제올라이트의 농약 흡·탈착 특성, 제주대학교 석사학위논문, 2000.
- 농약공업협회, 2002, 2002 농약사용지침서, 944p.
- 박영태, 핏티계 탄소섬유의 활성화와 흡착특성, 충남대학교 박사학위논문, 1993.
- 北川睦夫, 활성탄 수처리기술과 관리, 신광문화사, 1995
- 北川睦夫, 柳井 弘, 國部 進, 활성탄 공업의 효과적 응용과 경제성 연구, 중화학공업통신사출판부, 1974
- 손진억, 2000, 흡착공학, 형설출판사, pp.34-45
- 장성호, 최동훈, 수처리용 활성탄 제조에 관한 연구, 한국환경위생학회지, 제29권 제3호
- 최근주, 이용두의 2004, 활성탄종류별 Nonylphenol 과 Bisphenol-A의 흡착특성, 대한환경공학회, 제26권2호, pp.191-199호, 2003, pp.79-85
- 제주도, 2004, 환경백서, P.331.
- 환경부 보도자료, 2005, 골프장 농약사용 실태조사 결과
- 활성탄시험방법, 1993, 한국표준협회
- Bansal, O. P., 1983, Adsorption, Adsorption of oxamyl and dimercon in montmorillonite suspensions, Soil Sci. Soc. Am. J., 47, 877~883.
- Baarschers, W. H., J. Elvish and S.P. Ryan, 1983, Bull. Environ. Contam. Toxicol., 30, 621~627.
- Cleveland, C. B., 1996, Weed Technol., 10, 157~168.
- Celis, R. and W. C. Koskinen, 1999a., Sorption and desorption of triadimefon by soils and collids, J. Agric. Food Chem., 47, 776~781.
- Dubin, M. M. , Chemistry and physics of carbon, vol. 2, 51, Dekker, 1966.
- Himel, C. M., H. Loats and G. W. Baily, 1989, Pesticide sources to the soil and

principles of spray physics, pp. 7~50, In "Pesticide in the Soil Environment: Processes, Impacts, and Modelling"(ed.Cheng, H. H.), Soil Sci. Soc. Am., Inc., Wisconsin.

Hassler, J.W.: Activated Carbon, Chem. Pub, 1963.

Hasseler, J.W, Purification with activated carbon, Chem. Pub., 1974

Miller, G.W. :Large scale applications of GAC with ozone pretreatment, Vol. II, in McGuire M.J. and Suffet I. H.(editors), 1980

Soffel, R.W. : Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, John Wiley and Sons, New York, Vol. 4, 1980



## 감사의 글

바쁘다는 이유로 차일피일 미루어왔던 석사학위 논문에 대한 심사를 마치면서, 그 동안 주변에서 도와주시고 격려해주신 많은 분들에게 먼저 고마운 마음을 전하고자 합니다.

대학원에 입학하여 지금까지 적극적으로 이끌어주신 이용두 지도교수님, 논문을 세심하게 다듬어 주신 이기호 교수님과 조은일 교수님, 항상 관심을 가지시고 격려해 주신 오윤근 교수님, 허목 교수님, 허철구 교수님, 감상규 교수님께 진심으로 감사드립니다.

아울러, 논문이 완성되기까지 적극적인 지원을 아끼지 않았던 송희경씨, 홍성민씨 정말 고맙습니다.

특히, 대학원 입학 과정에서부터 오늘에 이르기까지 관심을 가지시고 배려해 주신 제주환경연구센터 김형욱 총장님, 신상범 이사장님을 비롯한 임직원 모두에게 감사를 드립니다.

앞으로 그 동안 도와주신 많은 분들의 은혜에 보답하는 뜻에서라도 열심히 노력하며 살아가는 사람이 되겠습니다.

마지막으로 지금까지 묵묵히 도와준 사랑하는 아내(김형순)와 가족들에게 감사드리며, 작은 결실의 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.