



## 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 함안군 농업지역의 영양염에 대한 물질흐름분석(MFA)



부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

노 재 환

공학석사 학위논문

# 함안군 농업지역의 영양물질에 대한 물질흐름분석(MFA)

지도교수 이 석 모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2013 년 2 월

부경대학교 대학원

생 태 공 학 과

노 재 환

盧在煥의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2013 년 2 월



주 심 공학박사 정 용 현 ㉠

위 원 공학박사 이 석 모 ㉠

위 원 공학박사 김 동 명 ㉠

# 목 차

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| I. 서론 .....                                  | 1  |
| II. 이론적 배경 .....                             | 3  |
| 1. 우리나라 농업의 발전과정 .....                       | 3  |
| 2. 농촌계의 비점오염원 .....                          | 5  |
| 3. 영양물질과 작물의 생장 .....                        | 6  |
| 가. 질소와 작물의 생장 .....                          | 6  |
| 나. 인산과 작물의 생장 .....                          | 7  |
| 4. 물질흐름분석(Material Flow Analysis, MFA) ..... | 9  |
| III. 재료 및 방법 .....                           | 11 |
| 1. 대상지역 .....                                | 11 |
| 2. 함안군 농경지의 물질흐름분석(MFA) .....                | 12 |
| 가. 유입량 산정 .....                              | 13 |
| 나. 유출량 산정 .....                              | 16 |
| IV. 결과 및 고찰 .....                            | 18 |
| 1. 함안군 농경지의 물질흐름분석(MFA) .....                | 18 |
| 가. 유입량 산정 .....                              | 18 |
| 나. 유출량 산정 .....                              | 33 |
| 다. 기간별 물질흐름분석 .....                          | 40 |
| 2. 함안군 농경지의 초과 영양물질의 관리방안 .....              | 46 |

|                |    |
|----------------|----|
| V. 결론 .....    | 50 |
| 참고문헌 .....     | 52 |
| Appendix ..... | 56 |



## 표 목 차

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table 3.2.1. Indicators for nutrient material flow analysis in Haman<br>agriculture area .....              | 13 |
| Table 4.1.1. Annual fertilizer consumption in Haman .....                                                   | 18 |
| Table 4.1.2. Livestock population in Haman .....                                                            | 20 |
| Table 4.1.3. Livestock manure emissions and nutrient content .....                                          | 21 |
| Table 4.1.4. Livestock manure emissions and nutrient content .....                                          | 22 |
| Table 4.1.5. Input of livestock manure fertilizer in Haman agricultural<br>area .....                       | 23 |
| Table 4.1.6. The area of legumes and fixed amount of symbiotic<br>nitrogen in haman agricultural area ..... | 24 |
| Table 4.1.7. Non-symbiotic nitrogen-fixing the amount of Haman<br>agricultural area .....                   | 25 |
| Table 4.1.8. Agricultural water usage in Haman agricultural area .....                                      | 26 |
| Table 4.1.9. Content of the nitrogen and phosphorus in Haman<br>agricultural water .....                    | 27 |
| Table 4.1.10. Input by agricultural nutrient in Haman agricultural area<br>.....                            | 28 |
| Table 4.1.11. Input of nitrogen in Haman agricultural area .....                                            | 29 |
| Table 4.1.12. Input of phosphorus in Haman agricultural area .....                                          | 31 |
| Table 4.1.13. The crop uptake of nutrients .....                                                            | 34 |
| Table 4.1.14. The crop uptake of nutrients in Haman agricultural area<br>.....                              | 35 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Table 4.1.15. Denitrification of Haman agricultural area .....    | 37 |
| Table 4.1.16. Output of nitrogen in Haman agricultural area ..... | 38 |



## 그림 목 차

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 2.3.1. Economy-wide material flows .....                                                                                                      | 10 |
| Fig. 3.2.1. Material flow of nutrient in Haman agricultural area .....                                                                             | 12 |
| Fig. 4.1.1. Annual fertilizer consumption in Haman .....                                                                                           | 19 |
| Fig. 4.1.2. Annual input of nitrogen in Haman agricultural area .....                                                                              | 30 |
| Fig. 4.1.3. Annual input of nitrogen of per <i>ha</i> in Haman agricultural<br>area .....                                                          | 30 |
| Fig. 4.1.4. Annual input of phosphorus in Haman agricultural area .....                                                                            | 32 |
| Fig. 4.1.5. Annual input of phosphorus of per <i>ha</i> in Haman agricultural<br>area .....                                                        | 32 |
| Fig. 4.1.6. Annual crop uptake of nitrogen in Haman agricultural area                                                                              | 36 |
| Fig. 4.1.7. Annual crop uptake of phosphorus in Haman agricultural area<br>.....                                                                   | 36 |
| Fig. 4.1.8. Annual output of nitrogen in Haman agricultural area .....                                                                             | 39 |
| Fig. 4.1.9. Annual output of nitrogen of per <i>ha</i> in Haman agricultural<br>area .....                                                         | 39 |
| Fig. 4.1.10. Material Flow Analysis of nitrogen of Haman agricultural<br>area in earlier period eco-friendly agricultural policy (1999-2001) ..... | 41 |
| Fig. 4.1.11. Material flow analysis of nitrogen of Haman agricultural<br>area in period of eco-friendly agricultural policy(2002-2007) ....        | 42 |
| Fig. 4.1.12. Material flow analysis of nitrogen of Haman agricultural<br>area in trial period of regionally based maximum nutrients                |    |

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| loading system(2008-2010) .....                                                                                                                                          | 42 |
| Fig. 4.1.13. Material flow analysis of phosphorus of Haman agricultural<br>area in earlier period eco-friendly agricultural policy(1999-2001)<br>.....                   | 43 |
| Fig. 4.1.14. Material flow analysis of phosphorus of Haman agricultural<br>area in period of eco-friendly agricultural policy(2002-2007) ....                            | 44 |
| Fig. 4.1.15. Material flow analysis of phosphorus of Haman agricultural<br>area in trial period of regionally based maximum nutrients<br>loading system(2008-2010) ..... | 44 |
| Fig. 4.1.16. Comparison of excess nitrogen and phosphorus by policy<br>period in Haman agricultural area .....                                                           | 45 |
| Fig. 4.2.1. Organic matter content of Haman agricultural area .....                                                                                                      | 47 |
| Fig. 4.2.2. Available phosphorous content of Haman agricultural area<br>.....                                                                                            | 48 |

# Material Flow Analysis of Nutrient in Haman Agricultural Area

Jae Hwan No

*Department of Ecological engineering, Graduate school,  
Pukyong National University*

## Abstract

The environmental problem of the agro-ecosystem has increased due to excessive input of fertilizer and nutritious material. Therefore, managing the agricultural land by location based system management is required.

In this study, material flow analysis(MFA) of nutrients in Haman agricultural area for past 15 years (1995~2010) has been done.

As a result, the average amount of excessive nitrogen in Haman agricultural land was 1,197.08 Ton/year which showed decreasing pattern of 1,589.77 Ton/year in 1995 and 652.27 Ton/year in 2010. In case of phosphorus, the average amount was 637.17 Ton/year which also showed the decreasing patter of 725.56 Ton/year in 1995 and 653.48 Ton by 2010. These decreasing patterns were due to changes in agricultural policies.

Even with the decreased amount of excessive amount, there still are a massive amount of excessive nutrient.

Excessive nutrient remaining on the agricultural land can accumulate and cause soil pollution or flow out as runoff by precipitation and cause water pollution. Therefore management plan to reduce the excessive use of fertilizer is required.



## I. 서론

우리나라의 농업은 1960~70년대에 주곡자급과 다수확을 목적으로 화학비료와 자급비료의 사용량이 증가하기 시작하여 1980년대에 이르러 농가소득 증대를 위한 시설농업의 발전으로 농업의 생산력은 크게 향상되었다. 하지만 지나친 기대수확량으로 인해 과다한 화학비료 및 가축분퇴비의 사용으로 인해 비료 이용률 저하, 생산물 품질저하, 병충해 발생과 함께 비료가 토양에 잔류하거나 하천 및 호소수의 수계로 유입되어 수질오염의 원인으로 작용하고 있다.

이러한 문제를 보완하기 위하여 1990년대에 농업의 생산성과 경제성을 유지하는 동시에 환경보존을 추구하는 새로운 개념의 친환경농업의 도입이 추진되기 시작하였다. 90년대 후반부터 본격적인 정부의 작물별 시비기준량 준수, 적절한 가축사료 첨가제 사용 등의 육성정책을 추진하면서 친환경 농업이 확산되고 2000년대에 친환경농업육성 5개년 계획을 수립, 2005년까지 화학비료와 농약의 사용량을 각각 30 %감축목표를 설정하였으며 양분종합관리(INM: Integrated Nutrient Management)와 병충해종합관리(IPM: Integrated Pest Management)와 같은 관리방안을 마련하여 환경영향을 최소화하면서 적정수량을 유지할 수 있는 방안을 마련하는 등의 보전형 농업육성을 선도하고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 농촌에서는 여전히 비료가 과잉 사용되고 있어 농업에서 이용되는 영양물질의 파악 및 관리를 위하여 2007년부터 ‘지역단위 양분총량제’가 도입되었다. ‘지역단위 양분총량제’는 농가 개별단위로 영양물질을 관리하는 것이 아닌 지역단위 시스템을 통한 영양물질의 총량을 관리하는 제도이다.

연구대상지역인 함안군은 농업지역의 관리방안으로 친환경농업육성 사업의 일환으로 직접지불제보조금 지급 등의 논농업 장려정책과 생태농업단지 조성사업, 친환경 쌀단지 조성사업, 푸른들 가꾸기 사업 등의 자연순환 농업을 실천하기 위한 관리방안 등이 시행하고 있으나 농가의 참가율은 해마다 감소하고 있는 것으로 나타났다(함안군정백서, 2009). 이러한 친환경 농업이 전파되기 위해서는 실질적인 농경지의 물질 요구량을 파악하여 관리방안을 모색할 필요가 있다.

농업의 물질수지 분석을 다룬 국내 연구로 김진수·오광영(2000)은 지역수준에서의 유기물이나 영양염류의 흐름모형에 대한 사례연구로 충북 청원군과 일본의 사례를 비교하여 유기물 추정방법을 제시하였다. 이연 외 2인(2002)은 OECD 농업양분지표 산정방식을 보완하여 국내 농업영양물질지표 기준설정과 국내 농경지의 질소흐름과 계산방법의 차이에 따른 영양물질수지의 차이를 비교 분석하였다. 홍성규·송재욱(2006)은 독일의 '지역별 농업환경정보시스템(RAUMIS)'의 질소수지 구성소요와 국내 선행연구사례의 영양물질 구성요소를 결합하여 충주지역의 농경지 영양물질수지를 분석하고 관리방안을 제시하였다. 김창길·김태영(2006)은 잉여영양물질을 관리하기 위한 양분총량제의 세부 실행프로그램과 양분수지지표의 산출 및 양분관리 대상지역의 구분 방법과 추진방향 등을 제시하였다. 하지만 종전의 관리방안은 질소의 중점적인 관리방안으로 상대적으로 인의 관리방안이 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 함안군 농경지에 대한 물질흐름분석(MFA : Material Flow Analysis)을 통하여 농업 생태계에 유입, 소비, 유출되는 영양물질을 분석하고 영양물질이 과다 사용되지 않도록 하여 하류수역의 부영양화를 예방하고 농업의 효율성을 높이는 영양물질 관리방안을 제시하고자 한다.

## Ⅱ. 이론적 배경

### 1. 우리나라 농업의 발전과정

우리나라의 전 국토면적은 2010년 현재 99,611.723 km<sup>2</sup>으로 논이 12,601.46 km<sup>2</sup>, 밭이 8,339.06 km<sup>2</sup>, 초지 511.15 km<sup>2</sup> 등으로 농지가 19.52 %를 차지하고 있다(한국통계연감, 2011). 우리나라 농업의 발전과정은 1960년~70년대 소위 녹색혁명이라 일컬어지는 주곡자급을 목표로 다수확을 위하여 화학비료와 자급비료의 사용량이 증가하였다(정과 이, 2008). 80년대에 이르러 백색혁명이라 하여 농가소득증대를 위한 시설농업의 발전으로 농업생산력은 크게 향상되었다. 하지만 수량확보에 대한 지나친 기대로 인하여 과다한 화학비료 및 가축분퇴비를 사용함에 따라 병충해 발생, 비료이용률 저하와 생산물의 품질저하와 같은 생산력 저하와 함께 과다하게 사용된 농약과 비료가 토양에 잔류하거나 하천 및 호소와 같은 수계로 유입되어 호소의 부영양화를 일으켜 문제를 야기시키고 있다(정 등, 1998).

90년대에 이르러서야 농업과 환경이 조화를 이루어 농업의 생산성과 경제성을 유지하는 동시에 환경보존을 만족 시킬 수 있는 새로운 개념으로서 농업의 형태인 친환경농업이 대두되었다. 해외에서는 이미 80년대 후반에 지속가능한 농업의 개념이 도입되기 시작하여 농업의 경제적인 측면과 환경보전의 중요성이 동시에 강조되었다. 국내의 경우 90년대 중반 이후 본격적인 친환경농업이 추진되기 시작하였다(김 등, 2004a). 90년대 후반부터 본격적인 정부의 작물별 시비기준량 준수, 적절한 가축사료 첨가제 사용 등의 육성정책을 추진하면서 친환경 농업이 확산되고 있는 추세이다. 2000년에 이르서는 친환경농업육성 5개년 계획을 수립하였고 2005년까지 화학비료와 농약의 사

용량을 각각 30 %감축하는 목표를 설정하였으며 양분종합관리(INM: Integrated Nutrient Management)와 병충해종합관리(IPM: Integrated Pest Management)와 같은 시비기술을 마련하여 환경영향을 최소화하면서 적정 수량을 유지할 수 있는 방안을 마련하는 보전형 농업 육성을 선도하고 있다.

2007년부터 농경지의 과잉영양물질을 관리하기 위하여 ‘지역단위 양분총량제’가 도입되었다. ‘지역단위 양분총량제’는 농가 개별단위로 영양물질을 관리하는 것이 아닌 지역단위 시스템을 통한 영양물질의 총량을 관리하는 제도로 농업의 영양물질의 유입량과 유출량을 파악하여 농경지에서 발생되는 오염원을 제어하고 농업의 효율성을 높이는데 그 목적이 있다.

이처럼 국내 농업은 과거 환경을 고려하지 않고 무분별한 다수확 목적을 위한 농업정책에서 환경과 농업의 생산성을 모두 고려하여 지속적인 농업을 이룰 수 있는 친환경농업의 형태로 변화하고 있다.



## 2. 농촌계의 비점오염원

비점오염원은 농지에 살포된 비료 및 농약, 대기오염물질의 강하물, 합류식하수관거 월류수내 오염물질, 지표상 퇴적 오염물질 등 주로 강우시 강우유출수와 함께 유출되는 비점오염물질을 발생시키는 곳을 말한다. 우리나라의 하천 수질관리 정책은 생활하수 및 공장폐수와 같은 점오염원 처리 확보에 중점을 두어 관리되었으며 그 결과 도시를 중심으로 점오염원의 처리에는 상당한 효과가 있었다. 하지만 점오염원 중심의 수질관리만으로는 하천 및 호소의 수질관리의 한계를 인식하게 되어 비점오염원에 대한 관심이 높아지고 있다(환경부, 2001).

농업활동에서 기여하는 수질에 영향을 미치는 주요 요인으로는 비료살포, 농약사용, 관개용수의 공급, 표토교란 등의 농작물과 축산물의 생산활동에 의해 발생하는 가축분뇨 등이 있다.

농경지에서의 비점오염물질은 강우와 토양의 종류, 비료의 종류 및 사용시기, 경작 및 농작물의 형태 등에 따라 유출특성에 영향을 받는다.

### 3. 영양물질과 작물의 생장

#### 가. 질소와 작물의 생장

질소는 작물이 자라는데 중요한 단백질의 바탕으로 작물의 생육에 가장 밀접한 관계가 있다. 무기태의 질소는 암모니아태( $NH_4^+$ )와 질산태( $NO_3^-$ )의 형태로 작물에 흡수되는데 암모니아태 질소의 흡수과정에서는 뿌리로부터  $H^+$ 가 방출되고 질산태 질소의 흡수과정에서  $OH^-$ 이온이 방출되어 토양의 pH를 변화시켜 식물이용도를 변화시킨다(Marschner, 1995; Mengel and Kirkby, 1987).

질소성분이 결핍되면 작물의 생장이 저해되어 정상적인 경우보다 잎의 크기가 작아지고 줄기가 가늘어 진다. 또 잎이 경화되고 딱딱해지거나 밑부분의 잎부터 황화현상이 일어나게 되며 심할 경우 괴사하게 된다(Nelson, 2003).

질소성분이 요구량 이상 사용하게 되면 초기 작물의 잎이 진한 녹색을 띄며 잎이 아래쪽으로 오그라들어 뒤틀리고 생장이 감소한다. 심화될 경우 잎의 황화현상이 나타나며 과실은 황녹색을 띄며 줄기의 직경이 가늘고 분지수가 적어진다(Hanan, 1998; Gibson 등, 2007).

강과 홍(2004)은 토양의 질산태 질소 검정에 의한 시설재배 방울토마토의 질소 적정시비량에 관한 연구에서 다양한 질산태 질소함량의 토양에 대하여 무비구와 표준시비군의 비교분석 결과 토양의 질산태 질소함량의 약 344 mg/kg의 토양에서는 무비구의 건물중이 표준시비구의 건물중보다 높았으며 이는 높은 농도의 질산태 질소의 토양에 추가로 사용한 질소의 성분이 질소 과잉조건이 되어 토마토의 생장장해를 유발시킨 것으로 판단하고 적정 질산

태 질소의 농도의 상한기준을 280 mg/kg으로 평가하였다.

김 등(2009)의 질소 시비농도가 가지의 생육에 미치는 영향에 대한 연구에서는 무비구에서 20 mM의 농도구간까지는 작물의 건물중이 증가되었으나 30 mM 시비구 이상은 생육이 억제되었다. 생육이 억제된 가지는 과잉초기에 아래쪽 잎에 적갈색의 반점이 생기고 심할 경우 잎이 타는 듯한 증상을 보이며 뒤로 젖혀져 줄기에서 탈락하는 현상을 보였으며 과실은 끝이 뭉툭하고 윤택이 나빠지며 빠른 시간 시들어 상품으로써 가치가 떨어진다고 하였다.

이러한 질소의 과잉은 질소의 시비농도가 증가하면 작물 및 토양의 칼슘과 마그네슘과 반응하여 불용화되어 흡수과정상에 길항작용이 발생되어 생육에 방해는 주는 것으로 판단된다(Hanan, 1998).

## 나. 인산과 작물의 생장

인산은 작물 체내의 염색체, 염록체 및 소기관의 막을 이루는 인지질 및 단백질에 포함되어 있으며 에너지 대사에 주체가 된다. 유기태 인산은 미생물에 의해 분해되어 무기태로 바뀌어 식물에 흡수하게 된다.

인산이 결핍되면 잎이 진한 녹색으로 변하게 되고 이로 인해 생육이 억제되며 색소체의 발달로 늙은 잎이 자주색을 띄게 되며 잎폭이 좁아지고 가지수도 줄어들어 추위에 견디는 힘이 약해지며 꽃이 늦게 피고 열매도 늦게 맺혀 품질 및 수량이 감소하게 된다. 또, 인산의 요구량 이상 시비하게 되면 과실의 윤택이 줄어들고 기형과가 발생하게 되며 잎의 가장자리부터 갈색을 띄는 갈변현상이 발생하여 생육에 방해가 된다(Nelson, 2003).

황 등(1997)의 당근의 생육에 적당한 토양의 인산에 대한 연구에서 토양 중 인산함량이 284 mg/kg까지는 토양 중 인산함량이 증가할수록 당근의 품

질 및 생육이 증가하지만 그 이상의 함량에서는 감소하므로 토양검정을 통하여 토양의 인산함량이 상한기준을 초과하는 경우 비료시비를 하지 않더라도 목표수량을 수확할 수 있는 것으로 나타났다.

최 등(2009)의 ‘매향’ 딸기에 대한 인산시비농도가 생육에 미치는 연구에서는 2 mM의 농도까지는 시비농도가 증가할수록 생육량이 증가하지만 4 mM 이상의 시비구에서는 생육이 저조한 것으로 나타났다.

김 등(2009)의 가지에 대한 인산시비농도가 생육에 미치는 영향에 대한 연구에서는 인산 무시비구로부터 1.25 mM의 인산 시비농도까지는 시비농도가 증가할수록 생육량이 증가하지만 5 mM이상의 고농도 시비구에서는 생육이 저조하거나 과실의 윤택이 없거나 기형과가 발생한다고 하였다.

인산이 과잉 투입되면 흡수과정에서 음이온간의 길항작용으로 인해 질산태 질소와 황 등의 음이온의 흡수량이 적어져 생장량이 줄어들며 근권부의 농도가 높아지면 근권부 또는 식물체에 흡수된 후 이동하는 과정에서 철, 망간, 아연, 구리 등 미량금속원소와 결합하여 이들 원소를 불용화하여 생장에 악영향을 미친다(Megel and Kirkby, 1987; 최, 2007).

#### 4. 물질흐름분석(Material Flow Analysis, MFA)

물질흐름분석(MFA)은 물질균형법칙에 기본을 두고 시스템에서 사용하는 물질의 흐름을 추적하여 경제 시스템과 자연환경 그리고 시스템 내부의 물적 연관관계를 구축하여 지속가능성의 문제에 실천적으로 접근하고자 하는 분석방법이다(Bringezu et al., 2003). 생태계로부터 유입되어 경제활동에 의해 형태 및 방출매개의 변화를 통하여 다시 생태계로 유출되어 자연환경에 영향을 주는 것이 ‘물질’이기 때문에 물질흐름분석은 경제 시스템 내에서 가격보다 물질에 중점을 두고 있다(조와 최, 2006).

경제시스템 내로 유입된 물질의 양은 물질균형법칙에 따라 시스템 외부의 자연생태계로 유출되는 양과 동일하며 저엔트로피 상태로 유입되어 생산 및 소비의 단계를 통해 생산품 및 오염물질과 같은 고엔트로피의 상태로 변형되어 생태계에 방출되는데 이러한 과정에서 자연환경을 오염시키게 된다. 시스템 내 경제활동의 지속가능성에 대한 문제를 다루기 위하여 물질흐름분석이 물적단위에 중점을 두고 물질 일정 단계를 분석하는 것이 아니라 경제시스템 전체의 물질흐름을 파악하는 것이 중요하다. 따라서 물질흐름분석은 시스템 내의 경제활동과는 무관하게 시스템 내 전체의 실질적인 물질흐름을 분석하는 방식을 취한다.

물질흐름분석의 기본 개념도는 다음 Fig 2.3.1과 같다. 분석순서는 먼저 분석하고자 하는 시스템의 경계를 설정하고 시스템에 유입되는 유입인자와 유출인자를 파악해야 한다.

물질 흐름의 전체 과정의 측면에서 시스템 내에 유입된 물질의 총량을 총 물질필요량(TMR: Total Material Requirement)이라 하며 이는 외부에서 시스템으로 직접 유입되는 물질수입량(IM: Import)와 관내채취량(DE:

Domestic Extraction)의 합인 직접물질유입량(DMI: Direct Material Input)과 물질이 유입될 시 직접적으로 이용되지 않고 시스템 내에 남아 환경에 부담을 주는 숨은 흐름(HF)을 고려하여 합한 수치이다. 시스템에서 유출되는 물질의 총량은 총물질유출량(TMO: Total Material Output)이라 하고 물질 유출과정에서 시스템 내 환경(대기, 물, 토양 등)으로 직접 배출되는 물질량인 관내가공유출량(DPO: Domestic Processed Output)과 시스템 외부로 유출되는 물질수출량(EX), 그리고 유출시 발생하는 숨은 흐름(HF)을 합한 수치이다.

물질흐름분석의 기본인 물질 균형법칙에서 물질의 유입량 증가는 물질의 유출량 증가와 같은 관계가 보여주듯이 환경오염방지를 위해서 사후처리 및 규제(end of pipe policy)의 유출물관리가 아닌 사전예방적(precautionary policy) 유입물관리가 중요하며 이러한 사전예방 관리를 위한 도구로써 물질 흐름분석의 접근이 필요하다(WGEIO, 2005).

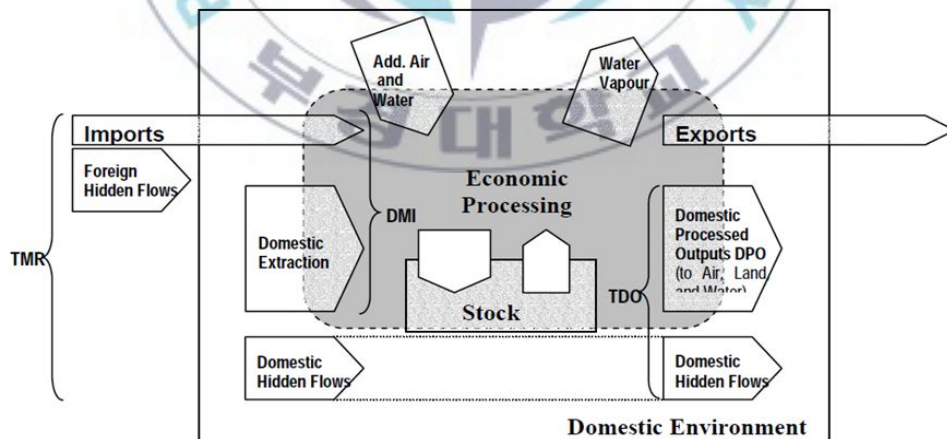


Fig. 2.3.1. Economy-wide material flows  
(prepared by IFF for Matthews et al. 2000).

### Ⅲ 재 료 및 방 법

#### 1. 대상지역

함안군의 지리적 위치는 동경 128°25′, 북위 35°14′으로써 동쪽으로 동경 128°35′ 상에 칠원면 무기리가 있고, 서쪽으로 동경 128°16′ 상에 군북면 박곡리, 남쪽으로 북위 35°07′ 상에 여항면 주동리가 있으며, 북쪽으로 북위 35°23′ 상에 칠서면 이룡리가 각각 위치하고 있으며 동서간은 29 km, 남북은 26 km로 총면적 416 km<sup>2</sup>(전국의 0.45 %, 경상남도의 3.9 %)이다. 토지 이용 형태는 임야 214.96 km<sup>2</sup>(51.6 %), 농경지 124.77 km<sup>2</sup>(29.9 %), 대지·공장용지 16.76 km<sup>2</sup>(4 %), 도로·하천 33.66 km<sup>2</sup>(8.1 %), 기타 26.71 km<sup>2</sup>(6.4 %)이다. 농경지와 임야가 전체 토지이용의 80 %이상을 차지하는 전형적인 농업지역이다.

함안군은 경상남도의 중앙에 위치하며 남서로 여항산(770 m)과 방어산(530 m)이 솟아 남고북저의 지형으로 물이 역류하여 남동강과 남강이 합류함으로써 양강 주변에 평야가 넓고 비옥하여 수원이 풍부하고 영농에 적합하여 곡물이 잘 자라며 동에서 서로 남해고속도로와 북에서 남으로 중부내륙 고속도로 및 영·호남지방을 연결하는 경전선 철도가 군의 중앙을 관통하기 때문에 농산물 수송이 원활하고 인근 대도시와 일일생활권에 속한다.

기후적으로는 평야지대로서 남부해안성 기후 성격을 띠고 있어 연평균 기온 12.5 ℃, 최고 기온 27.8 ℃, 최저기온 -1.2 ℃이며 1년 중 강우 일수는 93 일, 평균 강수량은 118 mm이며 년 평균 강수량은 1,421 mm이다(함안군, 2011).

## 2. 함안군 농경지의 물질흐름분석(MFA)

Fig 3.2.1은 함안군 농경지의 물질흐름을 나타내는 개념도로, 물질 유입과 유출을 나타내었고 유입에서 유출을 뺀 나머지 양을 잉여양분으로 두어 잠재적으로 토양에 축적되거나 강우에 의하여 강우유출이 일어나거나 지하수로 침투하는 것으로 표현하였다.

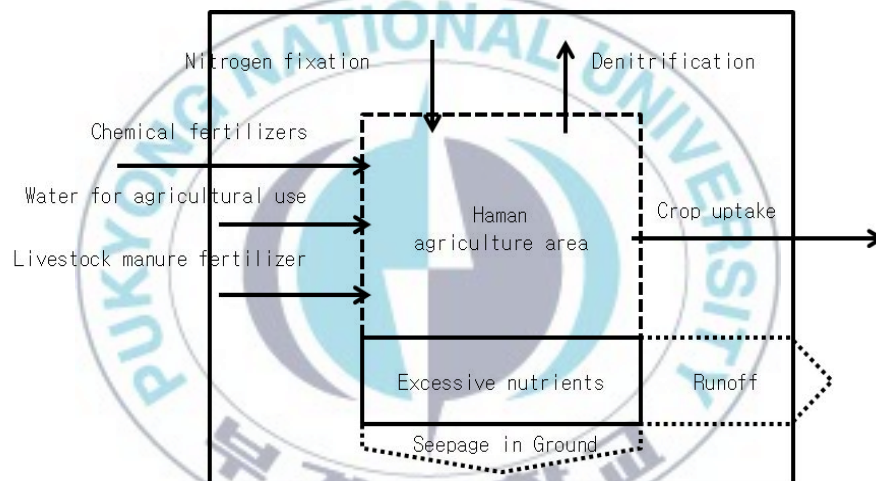


Fig. 3.2.1. Material flow of nutrient in Haman agricultural area.

유입물질은 크게 함안군을 기준으로 함안군 내에서 자체 생산보급 가능한 유입물질을 내부유입으로 하고 함안군 외에서 유입되는 물질은 외부유입으로 구분하였다. 유출물질 역시 유입물질과 같은 기준으로 내부·외부 유출물질로 구분하였다. 각각의 세부 항목은 Table 3.2.1과 같다.

Table 3.2.1. Indicators for nutrient material flow analysis in Haman agriculture area

| Type            | Item                        |
|-----------------|-----------------------------|
| External input  | Chemical fertilizers        |
| Inner input     | Livestock manure fertilizer |
|                 | Nitrogen fixation           |
|                 | Water for agricultural use  |
| External output | Crop uptake                 |
| Inner output    | Denitrification             |

#### 가. 유입량 산정

##### (1) 외부유입

함안군 농경지에 유입되는 외부요소는 화학비료로, 연간 사용되는 화학비료의 질소질과 인산질의 성분별 사용량을 함안군 통계연보를 이용하여 조사하였다.

##### (2) 내부유입

내부유입요소는 가축분뇨의 재이용 처리에 따른 유기질비료와 생물에 의한 질소고정, 농업용수 이용에 따른 영양물질 유입으로 나누어 산정하였다. 가축분뇨에서 기인된 유기질비료는 먼저 가축 1마리당 1일 분뇨배설량과

사육 가축수를 이용하여 가축분뇨발생량을 구한 후 각각 분뇨배설물에 포함된 N, P 함량을 곱하여 연간 가축분뇨에 의해 발생하는 N, P양을 구한다. 발생한 가축분뇨는 처리과정을 통하여 비료화, 해양투기, 정화처리되며 이중 자원화를 통한 비료 생산량은 전체 발생한 가축분뇨의 N, P 양은 전체 가축분뇨의 N, P양 중 자원화 처리비율을 곱하고 여기에 가축분뇨의 야적 또는 자원화 처리과정에서 발생하는 N, P의 손실량을 곱하여 산정한다. 자원화된 축산비료에 판매율을 곱하여 최종적으로 농경지로 유입되는 양을 산정한다.

가축분뇨에 의한 유기질비료의 유입량 산정식은 식 (1)~(4)와 같다.

연간 가축분뇨 발생량 (Ton)

$$= \text{가축 1마리당 1일 분뇨 발생량(kg/day·마리)} * \text{사육 가축수(마리)} * 1/1000(\text{Ton/kg}) * 365(\text{day}) \quad (1)$$

연간 가축분뇨에 의해 발생하는 N, P의 양(Ton)

$$= \text{연간 가축분뇨 발생량(Ton)} * \text{분뇨에 포함된 N, P 함량(\%)} \quad (2)$$

분뇨 자원화에 의한 축산비료 생산량(Ton)

$$= \text{연간 가축분뇨에 의해 발생하는 N, P의 양 (Ton)} * \text{전체 분뇨발생량 중 자원화 처리 비율(\%)} * \text{처리과정에 발생하는 N, P 손실율(\%)} \quad (3)$$

농경지에 투입되는 축산비료량(Ton)

$$= \text{분뇨 자원화에 의한 축산비료 생산량(Ton)} * \text{판매율(\%)} \quad (4)$$

생물에 의한 질소고정은 크게 두 가지 분류로 나누어진다.  
먼저 콩과식물의 근류균에 의해 토양과 공기 중의 질소를 고정하여 식물에 질소를 공급하는 공생 질소고정과 남조류와 같은 수생 및 토양 생물과 같은 단생질소 고정생물에 의해 질소를 고정하는 비공생 질소고정으로 나눌 수 있다.(홍과 송, 2006)

공생 질소고정은 콩과식물의 단위면적당 질소고정량을 조사하고 콩과식물 재배면적을 곱하여 산정한다.

공생 질소고정 산정식은 식 (5)과 같다.

공생 질소고정량(Ton)

$$= 10a \text{ 당 콩과식물의 년 평균 질소고정량(kg/10a)} * \text{콩과식물 재배면적 (ha)} * 1/1000(\text{Ton/kg}) * 10(10a/\text{ha}) \quad (5)$$

비공생 질소고정은 논과 밭의 수생 및 토양생물에 의한 연간 단위면적당 질소고정량에 논·밭의 면적을 곱하여 산정한다.

비공생 질소고정 산정식은 식(6)와 같다.

비공생 질소고정량(Ton)

$$= 10a \text{ 당 논과 밭의 년 평균 질소고정량(kg/10a)} * \text{논과 밭의 재배면적 (ha)} * 1/1000(\text{Ton/kg}) * 10(10a/\text{ha}) \quad (6)$$

농업용수에 의한 영양물질 유입은 농업용수로 이용된 하천 및 호소수의 이용량에 평균 N, P 농도를 곱한 값과 농업용수용 지하수 이용량에 따른 N,

P 유입량의 합으로 산정한다.

농업용수에 의한 영양물질 산정식은 식(7)와 같다.

농업용수에 의한 N, P 유입량(Ton)

$$= \{ \text{하천 및 호소수의 농업용수 이용량(L)} * \text{하천 및 호소수의 평균 N, P 농도(mg/L)} \} + \{ \text{지하수의 농업용수 이용량(L)} * \text{농업용수로 이용된 지하수의 평균 N, P 농도(mg/L)} \} * 1/10^9 (\text{Ton} / \text{mg}) \quad (7)$$

## 나. 유출량 산정

### (1) 외부유출

함안군 경작지의 영양물질의 외부유출은 양분이 함안군 외부로 빠져나가는 인자로 작물이 영양물질을 흡수하여 성장하고 이를 수확하게 되면 외부로 유출이 일어나게 된다. 작물이 단위면적당 흡수하는 영양물질량을 영양물질흡수량이라고 한다. 식 (8)과 같이 각 해당 작물별 필요 영양물질량을 조사하여 재배면적을 곱하여 영양물질흡수량을 산정한다.

작물의 N, P 흡수량(Ton)

$$= 10\text{a당 작물의 년 평균 N, P 흡수량(kg/10a)} * \text{작물별 재배면적(ha)} * 1/1000 (\text{Ton/kg}) * 10 (10\text{a/ha}) \quad (8)$$

### (2) 내부유출

내부유출 인자로는 무기화학비료 및 축산비료의 성분 중 질소의 탈질량이

있다. 식 (9)는 무기화학 비료에 대한 탈질량에 대한 식으로 10a당 탈질량과 재배면적을 이용하여 산출하며, 식 (9)는 축산비료에 대한 탈질량에 대한 식으로 농경지에 투입 된 축산비료의 양과 탈질율을 이용하여 산출한다

무기화학 비료의 탈질량(Ton)

$$= 10a \text{당 무기화학 비료의 탈질량 (kg/10a)} * \text{작물재배면적 (ha)} * 1/1000(\text{Ton/kg}) * 10(10a/\text{ha}) \quad (9)$$

축산 비료의 탈질량(Ton)

$$= \text{농경지에 투입된 축산비료(Ton)} * \text{탈질율(\%)} \quad (10)$$



## IV. 결과 및 고찰

### 1. 함안군 농경지의 물질흐름분석(MFA)

#### 가. 유입량 산정

##### (1) 외부유입

함안군 경작지에 유입되는 영양물질의 외부유입요소는 무기화학비료로, 연간 화학비료 사용량은 함안군 통계연보를 통하여 조사하였다. 조사결과는 Table 4.1.1과 같다.

Table 4.1.1. Annual fertilizer consumption in Haman (unit : Ton)

| Year | Nitrogen | Phosphorus |
|------|----------|------------|
| 1995 | 2,281    | 1,082      |
| 1996 | 2,253    | 1,028      |
| 1997 | 2,469    | 1,188      |
| 1998 | 2,087    | 976        |
| 1999 | 2,176    | 961        |
| 2000 | 2,640    | 1,172      |
| 2001 | 2,508    | 1,113      |
| 2002 | 1,700    | 797        |
| 2003 | 1,615    | 714        |
| 2004 | 1,575    | 702        |
| 2005 | 1,800    | 670        |
| 2006 | 1,503    | 684        |
| 2007 | 1,819    | 829        |
| 2008 | 1,096    | 703        |
| 2009 | 1,115    | 747        |
| 2010 | 1,108    | 747        |

연간 비료사용량은 1995년도 질소질 2,281 Ton, 인산질 1,082 Ton에서 2010년 1,108 Ton, 747 Ton으로 다소 줄어든 모습을 보인다(Fig. 4.1.1). 특히 2001년에서 2002년 사이에 화학비료의 사용량이 약 30 %가량 줄어든 모습을 보였는데 이는 친환경농업의 도입으로 정부의 농약 및 비료사용량 저감정책에 따른 보조금 축소 및 폐지 등의 정부 정책에 의하여 사용량이 줄어든 것으로 판단된다. 질소질의 경우 2007년~2008년 사이 대폭 줄어든 것은 지역 단위 양분총량제 도입에 의한 1단계 저감방안 등을 통한 질소성분의 저감효과가 기인된 것으로 판단된다.

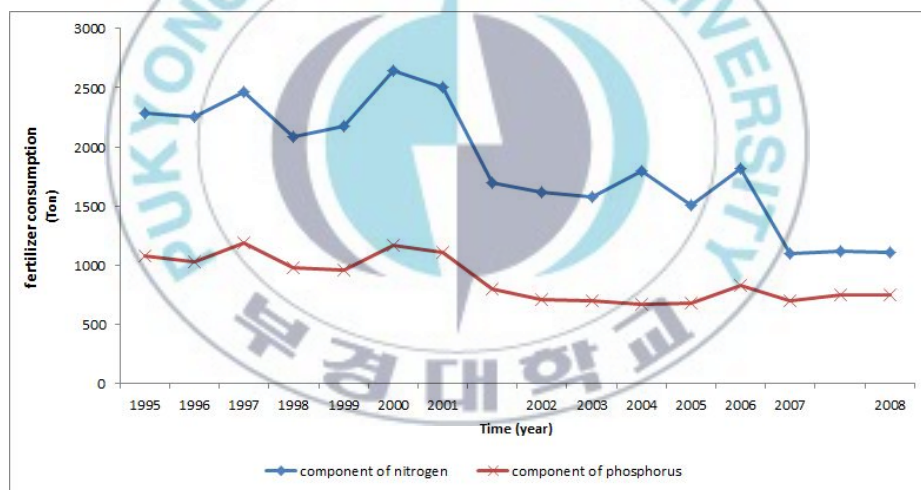


Fig. 4.1.1. Annual fertilizer consumption in Haman.

## (2) 내부유입

함안군 내에서 발생되어 유입되는 내부유입요소는 가축분뇨를 이용한 유기질 비료, 생물에 의한 질소고정, 농업용수 이용에 따른 영양물질 유입으로 나누어 산정하였다.

먼저 가축분뇨를 이용한 유기질비료 유입량을 구하기 위하여 통계자료를 이용하여 함안군 내에서 사육하는 가축의 종류와 수를 조사하였다(Table 4.1.2). 젓소는 조사기간 동안 사육수의 변화는 크게 없었으며 한우육의 경우 2000년 초 중반에 다소 줄었다가 다시 증가하는 추세를 보였다. 돼지와 닭의 경우 매년 꾸준히 사육수가 증가하는 것으로 보이며 이는 국민소득이 높아지고 식문화의 변화로 인한 육류의 소비가 증가하여 이에 기인한 것으로 사료된다.

**Table 4.1.2. Livestock population in Haman (unit : head)**

| Year | Cattle | Dairy cattle | Pig    | Poultry |
|------|--------|--------------|--------|---------|
| 1995 | 14,872 | 3,931        | 54,310 | 311,870 |
| 1996 | 16,073 | 4,072        | 68,202 | 233,854 |
| 1997 | 14,913 | 4,426        | 73,438 | 311,765 |
| 1998 | 14,021 | 4,553        | 69,674 | 237,920 |
| 1999 | 11,228 | 4,399        | 81,827 | 322,130 |
| 2000 | 9,681  | 3,981        | 87,457 | 232,048 |
| 2001 | 7,498  | 3,867        | 88,035 | 253,878 |
| 2002 | 7,003  | 4,009        | 97,666 | 254,166 |
| 2003 | 6,846  | 3,512        | 89,865 | 275,504 |
| 2004 | 7,937  | 3,803        | 87,605 | 372,880 |
| 2005 | 8,787  | 3,757        | 88,851 | 543,642 |
| 2006 | 10,043 | 3,463        | 93,006 | 794,854 |
| 2007 | 10,748 | 3,122        | 95,827 | 708,646 |
| 2008 | 12,553 | 2,996        | 82,984 | 756,570 |
| 2009 | 12,673 | 2,757        | 88,143 | 584,490 |
| 2010 | 14,192 | 3,057        | 91,089 | 683,186 |

가축분뇨에 포함된 영양염의 양을 산정하기 위하여 가축별 마리당 분뇨 배설량과 분뇨에 포함된 영양염 함량을 연구자료를 통하여 조사하였다. 가축분뇨의 배설량은 함안군 지역내의 가축에 대한 배설량에 관한 연구자료가 구축되어 있지 않았으나 1999년 환경부와 농림부가 실시한 가축 분뇨 자원화 및 이용기술 개발 연구를 통하여 가축별 1일 분뇨 배설량과 분과 뇨에 포함된 N, P 함량에 관한 조사가 시행되었으며 이후 가축 사료의 발달 및 가축종의 변화 등으로 국립축산과학원에서 2008년에 가축별 분뇨배출량을 산정하였는데, 시대별 배설량 및 함량의 변화가 있음을 고려하여 1995~2002년까지는 1999년 환경부와 농림부의 자료를 이용하였으며 2003년 이후에는 국립축산과학원의 자료를 적용하여 산출하였다. 가축별 분뇨배설량과 영양염의 함량은 Table 4.1.3, 4.1.4와 같다.

**Table 4.1.3. Livestock manure emissions and nutrient content (Ministry of Environment, 2000)**

| Type of livestock | Excreta excretion rate | Contents of nitrate in excreta | Contents of phosphorus in excreta | Urine excretion rate | Contents of nitrate in urine | Contents of phosphorus in urine |
|-------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|
|                   | kg/day                 |                                | %                                 | kg/day               |                              | %                               |
| Cattle            | 10.8                   | 0.34                           | 0.029                             | 4.1                  | 0.48                         | 0.006                           |
| Dairy cattle      | 24.3                   | 0.26                           | 0.1                               | 10.2                 | 0.34                         | 0.003                           |
| Pig               | 1.62                   | 0.77                           | 0.5                               | 2.35                 | 0.83                         | 0.007                           |
| Poultry           | 0.1275                 | 0.89                           | 0.26                              | -                    | -                            | -                               |

Table 4.1.4. Livestock manure emissions and nutrient content(National Institute of Animal Science, 2008)

| Type of livestock | Excreta excretion rate<br>kg/day | Contents of nitrate in excreta<br>% | Contents of phosphorus in excreta<br>% | Urine excretion rate<br>kg/day | Contents of nitrate in urine<br>% | Contents of phosphorus in urine<br>% |
|-------------------|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Cattle            | 8                                | 0.5                                 | 0.6                                    | 5.7                            | 0.68                              | 0.07                                 |
| Dairy cattle      | 19.2                             | 0.33                                | 0.49                                   | 10.9                           | 1.02                              | 0.27                                 |
| Pig               | 1.07                             | 0.96                                | 0.83                                   | 2.39                           | 0.8                               | 0.09                                 |
| Poultry           | 0.125                            | 1.19                                | 0.29                                   | -                              | -                                 | -                                    |

연간 가축사육수와 가축별 분뇨배출량 및 영양물질 함량을 이용하여 연간 가축분뇨 발생량과 분뇨에 포함된 영양물질의 양을 산정하였다. 여기서 전체 발생되는 가축분뇨 중 퇴비나 액비로 자원화되는 비율을 곱하여 분뇨 자원화량을 산정하게 되며 본 연구에서는 농림식품부의 연구조사 결과 2006년 기준으로 82.7 %을 적용하였다(농림수산식품부, 2009). 분뇨의 퇴비제조 시 초기에 암모니아가스 등의 형태로 질소가 휘산되거나 야적시 강우 등에 의하여 손실이 일어나게 되는 등 가축분뇨의 처리형태 및 주변 환경연건에 따라 손실량은 다양하게 나타난다. 이연 등(2003)은 OECD가 추천하는 15 %의 손실량을 적용하였고 홍과 송(2006)은 지리적·기후적 여건을 감안하여 일본자료를 기준으로 하여 28 %의 손실량을 적용한 사례가 있다. 윤 등(2009)은 우분 야적시 암모니아 휘산량과 강우에 의한 N, P의 유출량에 대한 평가를 하였다. 평가 결과 3주간 암모니아의 휘산량은 전체의 9.4 %가 휘산하였으며 강우에 의한 N, P 유실은 각각 15.2 %, 10.1 %로 나타났다. 본 연구에서는 국내 환경을 감안하여 윤 등(2009)을 이용하여 9.4 %의 휘산률과 15.2

%, 10.1 %의 N, P 유실량을 적용하여 질소의 손실율은 24.6 %, 인의 손실율은 10.1 %로 산출하였다. 질소의 손실량이 고려된 분뇨의 자원화에 판매율을 곱하여 실제 농경지에 투입되는 유기질 비료의 양을 산정하였다. 축분 퇴비의 판매율은 전체 생산량의 72.2 %을 적용하였다(농림수산식품부, 2008). 가축분뇨의 의한 연간 유기질 비료의 유입량은 다음 Table 4.1.5와 같다.

**Table 4.1.5. Input of livestock manure fertilizer in Haman agricultural area (unit : Ton)**

| Year | Nitrogen | Phosphorus |
|------|----------|------------|
| 1995 | 544.60   | 232.53     |
| 1996 | 616.45   | 261.80     |
| 1997 | 653.44   | 271.29     |
| 1998 | 613.66   | 254.57     |
| 1999 | 664.87   | 265.12     |
| 2000 | 656.60   | 258.51     |
| 2001 | 641.64   | 247.09     |
| 2002 | 690.00   | 262.96     |
| 2003 | 690.55   | 364.79     |
| 2004 | 725.85   | 384.76     |
| 2005 | 783.19   | 406.88     |
| 2006 | 872.34   | 439.01     |
| 2007 | 864.28   | 437.94     |
| 2008 | 833.69   | 429.00     |
| 2009 | 811.34   | 423.46     |
| 2010 | 877.90   | 459.19     |

생물학적 질소고정은 크게 콩과식물에 의한 공생 질소고정과 고정생물에 의한 비공생 질소고정으로 나누어 산정하였다. 먼저 공생 질소고정의 경우 작물의 종류와 토양의 특성과 같은 환경요인에 따라 차이가 있으며 우리나라

라의 경우 지역별로 정확한 공생 질소고정량에 대한 연구가 미비하여 OECD 기준에 따라 10 kg/10a(이춘수, 1998)을 적용하였고 콩과식물의 면적은 통계 연보를 통하여 두류작물과 특용작물 중 땅콩의 재배면적을 합산하여 산출하였다(Table 4.1.6).

**Table 4.1.6. The area of legumes and Fixed amount of symbiotic nitrogen in Haman agricultural area**

| Year | Area of legumes | Nitrogen fixation |
|------|-----------------|-------------------|
|      | ha              | Ton               |
| 1995 | 1067.0          | 106.7             |
| 1996 | 920.8           | 92.1              |
| 1997 | 774.8           | 77.5              |
| 1998 | 693.0           | 69.3              |
| 1999 | 638.5           | 63.9              |
| 2000 | 646.4           | 64.6              |
| 2001 | 600.9           | 60.1              |
| 2002 | 802.8           | 80.3              |
| 2003 | 586.1           | 58.6              |
| 2004 | 417.2           | 41.7              |
| 2005 | 338.6           | 33.9              |
| 2006 | 36.0            | 3.6               |
| 2007 | 29.2            | 2.9               |
| 2008 | 31.3            | 3.1               |
| 2009 | 38.7            | 3.9               |
| 2010 | 146.0           | 14.6              |

비공생 질소고정량은 Bashkin et al.(2002)의 한국지역의 질소수지 연구결과에서 논의 단위면적당 비공생 질소고정은 4.5 kg/10a, 밭의 단위면적당 비공생 질소고정은 1.5 kg/10a의 값을 제시하였으며 이를 이용하여 산출하였다 (Table 4.1.7).

Table 4.1.7. Non-symbiotic nitrogen-fixing the amount of Haman agricultural area

| Year | Paddy        |                               | Upland       |                               |
|------|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|
|      | Area<br>(ha) | Nitrogen<br>fixation<br>(Ton) | Area<br>(ha) | Nitrogen<br>fixation<br>(Ton) |
| 1995 | 8,441.00     | 379.85                        | 4,047.00     | 60.71                         |
| 1996 | 8,305.00     | 373.73                        | 3,853.00     | 57.80                         |
| 1997 | 8,199.00     | 368.96                        | 3,787.00     | 56.81                         |
| 1998 | 8,167.00     | 367.52                        | 3,618.00     | 54.27                         |
| 1999 | 8,167.00     | 367.52                        | 3,603.00     | 54.05                         |
| 2000 | 8,198.00     | 368.91                        | 3,542.00     | 53.13                         |
| 2001 | 8,537.04     | 384.17                        | 4,339.97     | 65.10                         |
| 2002 | 8,525.63     | 383.65                        | 4,316.60     | 64.75                         |
| 2003 | 8,512.94     | 383.08                        | 4,304.11     | 64.56                         |
| 2004 | 8,474.44     | 381.35                        | 4,229.72     | 63.45                         |
| 2005 | 8,333.03     | 374.99                        | 4,185.02     | 62.78                         |
| 2006 | 8,283.16     | 372.74                        | 4,171.33     | 62.57                         |
| 2007 | 8,236.28     | 370.63                        | 4,156.11     | 62.34                         |
| 2008 | 8,117.05     | 365.27                        | 4,088.75     | 61.33                         |
| 2009 | 8,073.52     | 363.31                        | 4,073.61     | 61.10                         |
| 2010 | 8,041.29     | 361.86                        | 4,047.82     | 60.72                         |

함안군에서 농업용수의 이용형태는 크게 하천 및 호소수와 지하수를 농업용수로 이용하고 있다. 하천 및 호소수의 농업용수 이용량은 국가수자원관리 종합정보시스템(WAMIS)의 조사자료를 통하여 논용수와 밭용수의 연간 사용량을 이용하였다. 지하수의 농업용수 이용량은 국가지하수정보센터(GIMS)의 지하수 조사연보통계자료를 인용하였다. 연간 농업용수 이용량은 Table 4.1.8과 같다.

Table 4.1.8. Agricultural water usage in Haman agricultural area  
(unit : 1000m³)

| Year | Water for paddy | Water for upland | Groundwater for agricultural use | Total      |
|------|-----------------|------------------|----------------------------------|------------|
| 1995 | 90,529.50       | 9,725.50         | 753,754.00                       | 100,255.00 |
| 1996 | 77,176.40       | 12,140.70        | 753,754.00                       | 89,317.10  |
| 1997 | 77,255.40       | 11,297.70        | 753,754.00                       | 88,553.10  |
| 1998 | 57,437.30       | 5,437.70         | 819,754.00                       | 62,875.00  |
| 1999 | 39,770.10       | 4,990.70         | 819,754.00                       | 44,760.80  |
| 2000 | 51,462.90       | 8,212.40         | 18,503,728.00                    | 59,675.30  |
| 2001 | 72,505.10       | 9,767.10         | 19,416,228.00                    | 82,272.20  |
| 2002 | 62,932.60       | 6,654.50         | 12,519,365.00                    | 69,587.10  |
| 2003 | 33,275.50       | 3,964.10         | 12,709,690.00                    | 37,239.60  |
| 2004 | 63,768.80       | 7,049.70         | 12,927,660.00                    | 70,818.50  |
| 2005 | 64,719.80       | 5,453.10         | 12,996,875.00                    | 70,172.90  |
| 2006 | 59,450.60       | 4,501.60         | 13,085,946.00                    | 63,952.20  |
| 2007 | 59,138.10       | 6,354.10         | 12,877,571.00                    | 65,492.20  |
| 2008 | 77,606.00       | 9,849.10         | 12,958,009.00                    | 87,455.10  |
| 2009 | 62,429.90       | 9,817.10         | 14,340,555.00                    | 72,247.00  |
| 2010 | 85,695.00       | 9,587.88         | 17,738,401.00                    | 95,282.88  |

연간 농업용수이용량에 하천 및 호소수의 경우, 물환경정보시스템 (<http://water.nier.go.kr>)의 함안군지역의 농업용수로 이용되는 광려천, 남지, 남강, 함안천, 명관저수지, 봉성저수지, 입곡저수지의 연간 N, P농도를 조사하여 평균자료를 이용하여 산출하였으며(Appendix 1 참고), 지하수의 경우 환경부의 지하수 수질측정망 수질검사 결과를 이용하여 함안군 지역의 농업용수용 지하수의 N, P 농도를 이용하였다. P는 대부분의 지하수에서 검출되지 않았기 때문에 지하수에 의한 P의 유입은 없는 것으로 간주하고 산출하

였으며(Table 4.1.9) 농업용수에 의한 연간 영양물질 유입량은 Table 4.1.10과 같이 적용하였다.

**Table 4.1.9. Content of the nitrogen and phosphorus in Haman Agricultural water (unit : mg/L)**

| Year | T-N   | T-P   |
|------|-------|-------|
| 1995 | 7.287 | 0.182 |
| 1996 | 3.825 | 0.219 |
| 1997 | 3.846 | 0.163 |
| 1998 | 2.835 | 0.096 |
| 1999 | 2.057 | 0.085 |
| 2000 | 2.602 | 0.097 |
| 2001 | 2.494 | 0.088 |
| 2002 | 2.536 | 0.078 |
| 2003 | 2.656 | 0.122 |
| 2004 | 2.551 | 0.072 |
| 2005 | 2.240 | 0.084 |
| 2006 | 2.384 | 0.081 |
| 2007 | 2.218 | 0.091 |
| 2008 | 2.078 | 0.115 |
| 2009 | 2.115 | 0.090 |
| 2010 | 2.057 | 0.085 |

Table 4.1.10. Input by agricultural nutrient in Haman agricultural area (unit : Ton)

| Year | Paddy   |            | Upland  |            | Groundwater |
|------|---------|------------|---------|------------|-------------|
|      | Nitrate | Phosphorus | Nitrate | Phosphorus | Nitrate     |
| 1995 | 659.72  | 16.49      | 70.87   | 1.77       | 2.23        |
| 1996 | 295.20  | 16.93      | 46.44   | 2.66       | 2.23        |
| 1997 | 297.12  | 12.59      | 43.45   | 1.84       | 2.23        |
| 1998 | 162.85  | 5.52       | 15.42   | 0.52       | 2.43        |
| 1999 | 118.32  | 5.05       | 14.85   | 0.63       | 2.43        |
| 2000 | 133.88  | 4.97       | 21.36   | 0.79       | 54.87       |
| 2001 | 180.79  | 6.36       | 24.35   | 0.86       | 57.57       |
| 2002 | 159.61  | 4.89       | 16.88   | 0.52       | 37.12       |
| 2003 | 88.38   | 4.05       | 10.53   | 0.48       | 37.69       |
| 2004 | 162.70  | 4.58       | 17.99   | 0.51       | 38.33       |
| 2005 | 144.99  | 5.44       | 12.22   | 0.46       | 38.54       |
| 2006 | 141.70  | 4.79       | 10.73   | 0.36       | 38.80       |
| 2007 | 131.19  | 5.37       | 14.10   | 0.58       | 38.18       |
| 2008 | 161.30  | 8.94       | 20.47   | 1.13       | 38.42       |
| 2009 | 132.05  | 5.63       | 20.77   | 0.88       | 42.52       |
| 2010 | 176.27  | 7.25       | 19.72   | 0.81       | 52.60       |

유입지수들을 종합하면 질소의 유입량은 Table 4.1.11와 같다. 전체 유입되는 질소항목 중 화학비료가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 유기질 비료, 농업용수의 이용, 질소고정 순으로 나타났다. 화학비료의 사용량을 살펴보면 2002년과 2008년을 기준으로 사용량이 일정량 줄어들었는데 이는 각각 2000년 초 정부의 친환경농업의 일환으로 화학비료 사용량 30 %저감방안 등의 정책과 2007년 지역단위 양분총량제의 도입으로 인한 효과인 것으로 사료된다. 유기질 비료의 경우 연간 사육 가축의 수가 늘면서 이로 인해 기여되는 유기질비료 생산도 늘었으며 화학비료 사용량 저감에 따라 유기질 비료의 비중이 점점 늘어가고 있는 추세이다(Fig. 4.1.2). 단위면적당 질소유입량의 변화 역시 Fig. 4.1.2와 같은 추세의 형태를 보이고 있으나 2004~2007년의

경우 경작지의 감소(Appendix 2 참고)와 유기질 비료의 증가로 단위 면적당 유입량은 증가한 것으로 나타났으며 2008년부터 다소 줄어든 것으로 나타났다(Fig. 4.1.3).

**Table 4.1.11. Input of nitrogen in Haman agricultural area**

| Year | Chemical fertilizers | Nitrogen fixation | Water for agricultural use | Livestock manure fertilizer | Total   | Input of per <i>ha</i> |
|------|----------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|------------------------|
|      |                      |                   | Ton                        |                             |         | kg/ <i>ha</i>          |
| 1995 | 2,281.00             | 547.25            | 732.83                     | 544.60                      | 4105.68 | 328.77                 |
| 1996 | 2,253.00             | 523.60            | 343.87                     | 616.45                      | 3736.93 | 307.36                 |
| 1997 | 2,469.00             | 503.24            | 342.81                     | 653.44                      | 3968.49 | 331.09                 |
| 1998 | 2,087.00             | 491.09            | 180.70                     | 613.66                      | 3372.45 | 286.16                 |
| 1999 | 2,176.00             | 485.41            | 135.59                     | 664.87                      | 3461.87 | 293.90                 |
| 2000 | 2,640.00             | 486.68            | 210.11                     | 656.60                      | 3993.39 | 340.15                 |
| 2001 | 2,508.00             | 509.36            | 262.72                     | 641.64                      | 3921.71 | 334.02                 |
| 2002 | 1,700.00             | 528.68            | 213.61                     | 690.00                      | 3132.29 | 268.22                 |
| 2003 | 1,615.00             | 506.25            | 136.60                     | 690.55                      | 2948.40 | 254.22                 |
| 2004 | 1,575.00             | 486.52            | 219.02                     | 725.85                      | 3006.38 | 261.06                 |
| 2005 | 1,800.00             | 471.62            | 195.74                     | 783.19                      | 3250.55 | 286.42                 |
| 2006 | 1,503.00             | 438.91            | 191.23                     | 872.34                      | 3005.48 | 267.22                 |
| 2007 | 1,819.00             | 435.89            | 183.47                     | 864.28                      | 3302.65 | 298.56                 |
| 2008 | 1,096.00             | 429.73            | 220.19                     | 833.69                      | 2579.61 | 236.73                 |
| 2009 | 1,115.00             | 428.28            | 230.23                     | 811.34                      | 2584.86 | 240.94                 |
| 2010 | 1,108.00             | 437.18            | 248.59                     | 877.90                      | 2671.67 | 256.82                 |

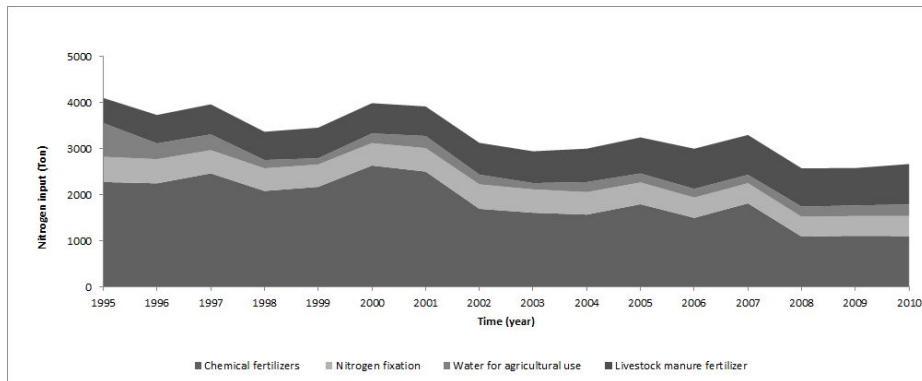


Fig. 4.1.2. Annual input of nitrogen in Haman agricultural area.



Fig. 4.1.3. Annual nitrogen input of per ha in Haman agricultural area.

인의 연간 유입량은 Table 4.1.12과 같다. 농경지에 투입되는 인의 대다수는 화학비료에서 기인되는 인이 높은 비중을 차지하고 있으며 유기질 비료가 다음으로 많은 비중을 차지하고 있다. 질소와 마찬가지로 2002년을 기준

으로 기존 유입량이 다소 줄어들었는데 2000년대 초 친환경농업의 정책일환으로 화학비료의 보조금지원의 축소에 따라 비료 사용량이 저감한 것이 원인인 것으로 사료된다. 그러나 친환경농업 정책 이후 인 관리 정책에 관하여 특별한 관리가 부족하여 2003년을 기준으로 사용량과 단위면적당 인이 점차 증가하고 있다(Fig. 4.1.4, 4.1.5).

**Table 4.1.12. Input of phosphorus in Haman agricultural area**

| Year | Chemical fertilizers | Water for agricultural use | Livestock manure fertilizer | Total    | Input of per <i>ha</i> |
|------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|----------|------------------------|
|      |                      | Ton                        |                             |          | kg/ <i>ha</i>          |
| 1995 | 1,082.00             | 18.27                      | 232.53                      | 1,332.80 | 106.73                 |
| 1996 | 1,028.00             | 19.60                      | 261.80                      | 1,309.39 | 107.70                 |
| 1997 | 1,188.00             | 14.43                      | 271.29                      | 1,473.73 | 122.95                 |
| 1998 | 976.00               | 6.05                       | 254.57                      | 1,236.62 | 104.93                 |
| 1999 | 961.00               | 5.68                       | 265.12                      | 1,231.81 | 104.58                 |
| 2000 | 1,172.00             | 5.77                       | 258.51                      | 1,436.27 | 122.34                 |
| 2001 | 1,113.00             | 7.22                       | 247.09                      | 1,367.31 | 116.46                 |
| 2002 | 797.00               | 5.41                       | 262.96                      | 1,065.37 | 91.23                  |
| 2003 | 714.00               | 4.53                       | 364.79                      | 1,083.32 | 93.41                  |
| 2004 | 702.00               | 5.09                       | 384.76                      | 1,091.85 | 94.81                  |
| 2005 | 670.00               | 5.89                       | 406.88                      | 1,082.77 | 95.41                  |
| 2006 | 684.00               | 5.16                       | 439.01                      | 1,128.17 | 100.31                 |
| 2007 | 829.00               | 5.95                       | 437.94                      | 1,272.89 | 115.07                 |
| 2008 | 703.00               | 10.08                      | 429.00                      | 1,142.08 | 104.81                 |
| 2009 | 747.00               | 8.00                       | 423.46                      | 1,178.45 | 109.85                 |
| 2010 | 747.00               | 8.06                       | 459.19                      | 1,214.25 | 116.72                 |

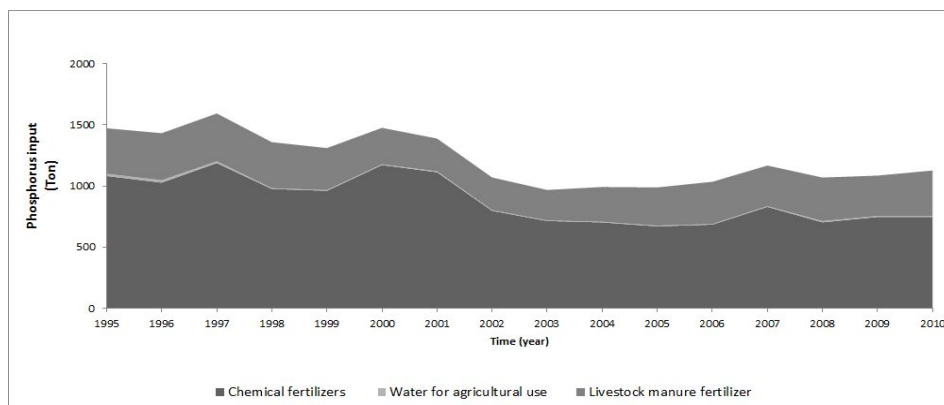


Fig. 4.1.4. Annual input of phosphorus in Haman agricultural area.

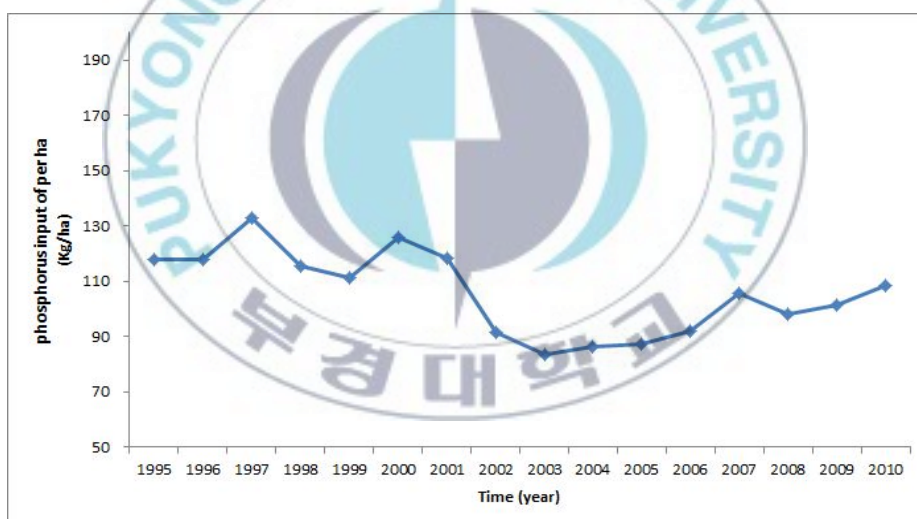


Fig. 4.1.5. Annual phosphorus input of per ha in Haman agricultural area.

## 나. 유출량 산정

### (1) 외부유출

경계시스템 내부의 물질이 시스템 외부로 빠져나가는 외부유출로는 함안군 농경지내에서 작물이 영양염을 흡수하여 성장하고 이를 수확하여 함안군 외부로 판매되는 것을 산정하였으며 영양염을 흡수한 작물은 생산량 모두가 외부로 판매되었다고 가정하였다. 본 연구에서는 단위면적당 작물이 흡수하는 양분량(Table 4.1.13)을 이용하여 재배면적을 곱하여 산출하였다. 각 지역별 토양의 특성이나 작물의 품종에 따른 차이는 발생할 수 있으나 관련된 자료가 미비하여 이 차이는 배제하기로 하였다. 참외, 고추, 마늘, 사과, 배, 복숭아, 포도, 땅콩과 같은 양분의 흡수량이 제시되지 않은 경우에는 농업과학기술원의 표준시비량(농업과학기술원, 2006)을 적용하여 산출하였다. 작물의 분류는 함안군 통계연감의 작물분류에 따라 분류하였으며 크게 정곡, 채소, 특용작물, 과실류로 분류하였다(Appendix 2). 연간 작물별 흡수량은 Table 4.1.14과 같다(Fig. 4.1.6, 4.1.7). 작물별 흡수량의 변화는 재배면적에 영향을 받으며 주된 흡수는 정곡에 의한 흡수가 가장 큰 비중을 차지하고 있으며 지속적으로 정곡의 재배면적이 줄어들에 따라 작물의 영양염 흡수량도 줄어들고 있는 추세이다.

Table 4.1.13. The crop uptake of Nutrients (unit : kg/ha)

| Crop                    | T-N | $P_2O_5$ | Crop              | T-N | $P_2O_5$ |
|-------------------------|-----|----------|-------------------|-----|----------|
| rice                    | 118 | 43       | radish            | 183 | 120      |
| barley                  | 105 | 37       | Chinese           | 104 | 83       |
| pulses                  | 105 | 21       | cabbage           | 303 | 173      |
| root and<br>tuber crops | 113 | 48       | cucumber          | 188 | 71       |
| peanut                  | 30  | 104      | pumpkin           | 138 | 69       |
| sesame                  | 56  | 39       | oriental<br>melon | 187 | 63       |
| perilla                 | 70  | 68       | watermelon        | 94  | 27       |
| apple                   | 150 | 120      | pepper            | 103 | 33       |
| pear                    | 200 | 130      | garlic            | 118 | 58       |
| peach                   | 130 | 70       | tomato            | 96  | 31       |
| grape                   | 130 | 70       | scallion          | 107 | 23       |
| persimmon               | 250 | 125      | carrot            | 141 | 64       |
| onion                   | 117 | 63       | lettuce           | 169 | 35       |
| strawberry              | 89  | 40       | spinach           | 91  | 22       |

Table 4.1.14. The crop uptake of Nutrients in Haman  
agricultural area

| Year | Area      | Nitrate  | Phosphorus |
|------|-----------|----------|------------|
|      | ha        | Ton      |            |
| 1995 | 13,059.80 | 1,520.66 | 571.87     |
| 1996 | 13,477.60 | 1,574.27 | 588.76     |
| 1997 | 13,587.00 | 1,576.53 | 586.02     |
| 1998 | 14,221.00 | 1,686.21 | 639.01     |
| 1999 | 13,745.80 | 1,652.44 | 631.34     |
| 2000 | 14,179.90 | 1,705.03 | 647.49     |
| 2001 | 12,533.60 | 1,698.82 | 644.53     |
| 2002 | 12,562.40 | 1,678.53 | 634.29     |
| 2003 | 11,504.10 | 1,620.34 | 625.03     |
| 2004 | 12,641.10 | 1,538.44 | 596.29     |
| 2005 | 12,050.30 | 1,448.39 | 556.79     |
| 2006 | 11,614.40 | 1,433.20 | 558.61     |
| 2007 | 11,402.80 | 1,435.16 | 558.39     |
| 2008 | 11,643.00 | 1,417.77 | 549.91     |
| 2009 | 11,198.40 | 1,369.59 | 530.18     |
| 2010 | 11,318.30 | 1,384.16 | 533.87     |

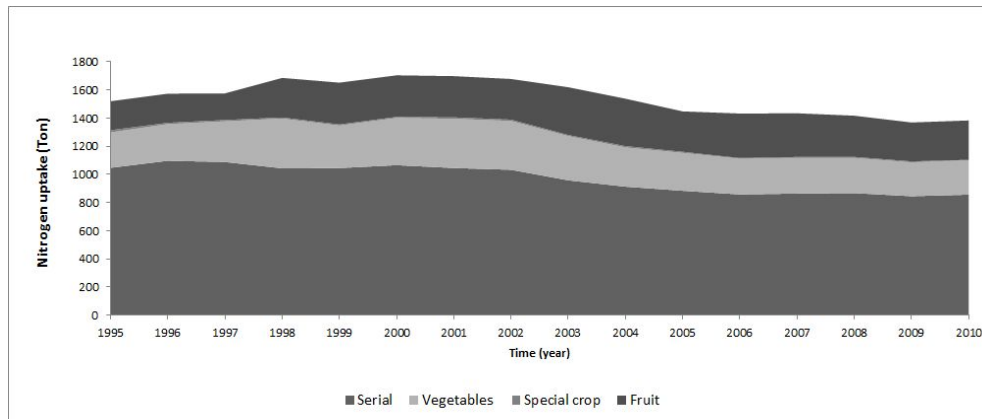


Fig. 4.1.6. Annual crop uptake of nitrogen in Haman agricultural area.



Fig. 4.1.7. Annual crop uptake of phosphorus in Haman agricultural area.

## (2) 내부유출

함안군 경작지내의 내부 유출은 질소의 탈질화가 해당된다.

질소의 탈질화는 함안군 지역 및 인근지역에 대한 탈질화에 대한 연구자료가 없어 국내에서 선행된 자료를 사용하였다. Bashkin et al.(2002)의 연구에 의하면 무기화학비료로 투입된 질소는 농경지의 단위면적당 3.3 kg/10a로 탈질된다. 축산분뇨의 탈질량은 IPCC(1997)의 가이드라인에 따르면 농경지에 투입된 축산분뇨의 20 %로 제시되어 있으며 이와 같은 기준에 따라 탈질량을 산출하였다(Table 4.1.15). 특히 축산분뇨의 탈질량의 경우 가축의 종과 사료, 생활환경의 차이를 감안하면 실제 탈질량과 일정부분 오차가 발생할 것으로 예상된다.

Table 4.1.15. Denitrification of Haman agricultural area (unit : Ton)

| Year | Chemical fertilizers | Livestock manure<br>fertilizer | Total  |
|------|----------------------|--------------------------------|--------|
| 1995 | 430.97               | 108.92                         | 539.89 |
| 1996 | 444.76               | 123.29                         | 568.05 |
| 1997 | 448.37               | 130.69                         | 579.06 |
| 1998 | 469.29               | 122.73                         | 592.03 |
| 1999 | 453.61               | 132.97                         | 586.59 |
| 2000 | 467.94               | 131.32                         | 599.26 |
| 2001 | 424.94               | 128.33                         | 553.27 |
| 2002 | 423.79               | 138.00                         | 561.79 |
| 2003 | 422.96               | 138.11                         | 561.07 |
| 2004 | 419.24               | 145.17                         | 564.41 |
| 2005 | 413.10               | 156.64                         | 569.73 |
| 2006 | 411.00               | 174.47                         | 585.47 |
| 2007 | 408.95               | 172.86                         | 581.81 |
| 2008 | 402.79               | 166.74                         | 569.53 |
| 2009 | 400.86               | 162.27                         | 563.12 |
| 2010 | 398.94               | 175.58                         | 574.52 |

외부·내부의 유출지수를 종합하면 질소의 연간 유출량은 Table 4.1.16과 같다. 유출량 전체의 약 70 %가 작물의 영양염 흡수에 의해 유출되며 해마다 재배면적이 줄어들어 작물에 의한 흡수량이 줄어들고 있는 추세이다(Fig 4.1.8). Fig. 4.1.9는 단위면적당 질소의 유출로 매년 다소 차이가 있으나 전반적으로 180 kg/ha를 유지하고 있다.

Table 4.1.16. Output of nitrogen in Haman agricultural area

| Year | Crop uptake | Denitrification | Total   | Output of |
|------|-------------|-----------------|---------|-----------|
|      |             |                 |         | per ha    |
|      |             | Ton             |         | kg/ha     |
| 1995 | 1520.66     | 607.68          | 2060.55 | 165.00    |
| 1996 | 1574.27     | 639.89          | 2142.32 | 176.21    |
| 1997 | 1576.53     | 653.49          | 2155.59 | 179.84    |
| 1998 | 1686.21     | 662.36          | 2278.24 | 193.32    |
| 1999 | 1652.44     | 655.81          | 2239.03 | 190.09    |
| 2000 | 1705.03     | 662.41          | 2304.29 | 196.28    |
| 2001 | 1698.82     | 612.33          | 2252.09 | 191.81    |
| 2002 | 1678.53     | 622.72          | 2240.32 | 191.84    |
| 2003 | 1620.34     | 608.89          | 2181.41 | 188.09    |
| 2004 | 1538.44     | 614.97          | 2102.84 | 182.60    |
| 2005 | 1448.39     | 624.38          | 2018.12 | 177.82    |
| 2006 | 1433.20     | 646.43          | 2018.66 | 179.48    |
| 2007 | 1435.16     | 642.53          | 2016.97 | 182.33    |
| 2008 | 1417.77     | 628.98          | 1987.30 | 182.37    |
| 2009 | 1369.59     | 621.17          | 1932.71 | 180.16    |
| 2010 | 1384.16     | 637.52          | 1958.68 | 188.28    |

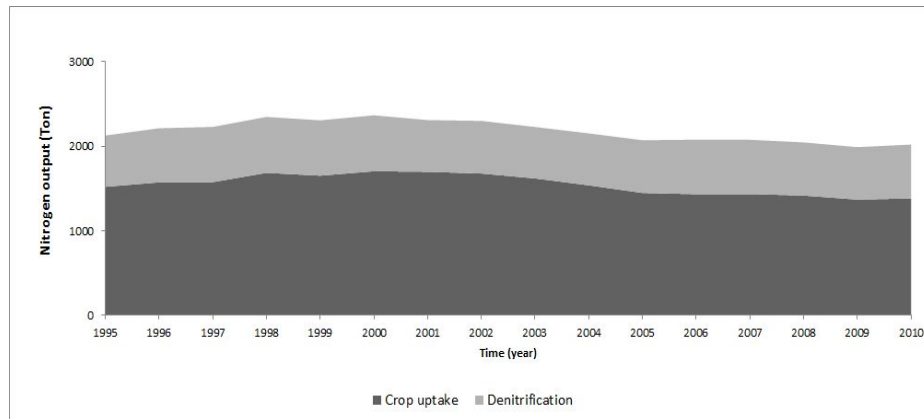


Fig. 4.1.8. Annual output of nitrogen in Haman agricultural area.

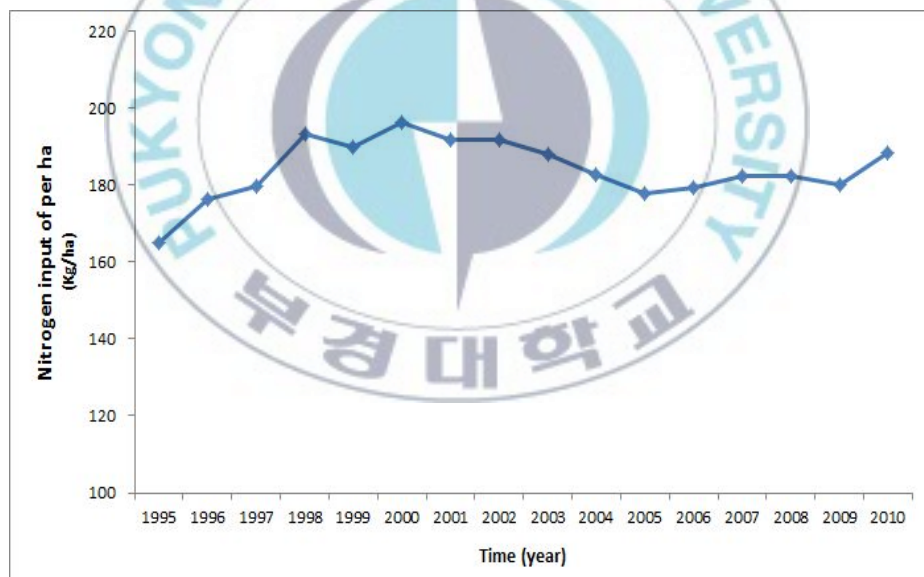


Fig. 4.1.9. Annual output of nitrogen of per ha in Haman agricultural area.

#### 다. 기간별 물질흐름분석

함안군 경작지의 영양물질 유출은 재배면적의 변화에 따라 소폭 변화하고 있으나 15년 대비 큰 차이는 보이지 않았다. 하지만 유입물질량의 변화는 1995~2001년, 2002~2007년, 2008~2010년 3구간에서 차이를 보였으며 각각 차이는 보이는 기간 사이의 농업정책의 변화 및 관리방향에 대한 조사를 시행하였다. 2000년대 초 친환경농업 정책이 초기 도입이 되어 과도한 영양물질의 농경지 유입을 줄이기 위하여 화학비료 구매지원금의 축소와 같은 농업정책이 시행되었다. 2007년의 경우 농경지의 물질량을 파악하여 관리하기 위한 정책으로 ‘지역단위 양분 총량제’의 시범도입이 시작되고 있는 시점으로 정부의 관리정책에 따른 영향으로 판단되었다. 따라서 정부의 정책의 영향을 알아보기 위하여 시기별로 구간을 나누어 흐름분석을 실시하였다. 1995~2001년의 기간을 친환경 농업 도입이전기간, 2002~2007년의 기간을 친환경 농업 육성 5개년 계획기간, 2008~2010년의 기간을 지역단위 양분총량제 시범도입기간으로 분류하고 각각 기간의 질소와 인에 대한 물질흐름분석을 비교 하였다. 유입되는 영양물질량에 유출되는 영양물질을 뺀 나머지 양은 초과물질이라 하고 초과물질은 토양에 잔류하거나 강우시 강우유출수의 형태로 하천 및 연안으로 유출된다(홍과 송, 2006).

Fig. 4.1.10~4.1.12은 각 기간의 평균 질소의 유입과 유출을 나타낸 물질흐름 흐름도이다. 친환경 농업 도입이전기간에는 무기화학비료의 이용량이 연간 2,344.86 Ton에서 친환경 농업 육성 5개년 계획 기간에는 1,668.57 Ton, 지역단위 양분총량제 시범도입기간에는 1,106.33 Ton으로 점차적으로 화학비료의 사용량이 줄어들음을 알 수 있었다. 이는 각각 화학비료 구매보조금의 축소 및 폐지와 양분총량제의 초기 질소저감 위주의 정책의 영향을 받아 줄어 든 것으로 사료된다. 유기질 비료의 경우 현대인의 식문화가 육류를 선호

하는 식문화로 변화됨에 따라 사육 가축수가 증가에 영향을 받아 지속적으로 유입되는 유기질 비료의 양은 증가하고 있는 것으로 보이고 있으며 단위면적당 질소의 초과량은 연간 132.70 kg/ha에서 연간 61.23 kg/ha 으로 저감되었지만 여전히 초과하고 있는 것으로 나타났으며 가축분뇨에서 기인되는 유기질 비료의 증가량을 고려하여 저감방안이 필요할 것으로 사료된다.

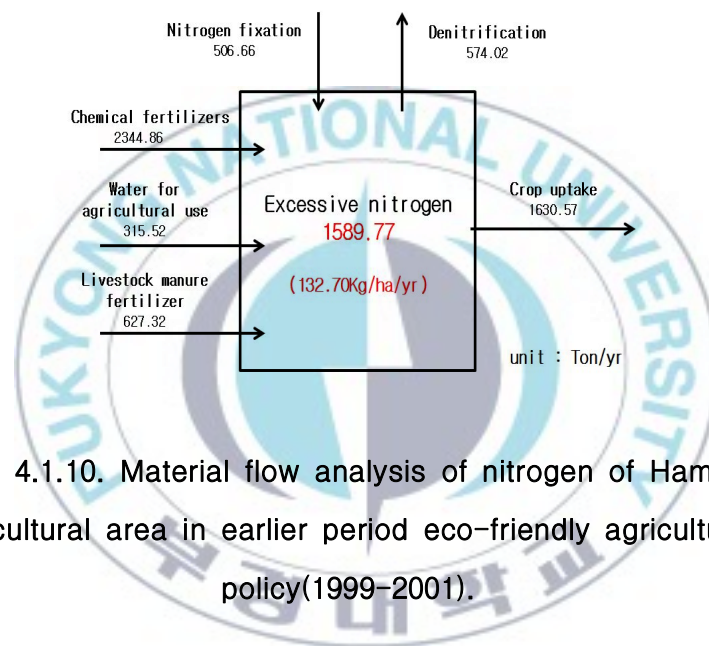


Fig. 4.1.10. Material flow analysis of nitrogen of Haman agricultural area in earlier period eco-friendly agricultural policy(1999-2001).

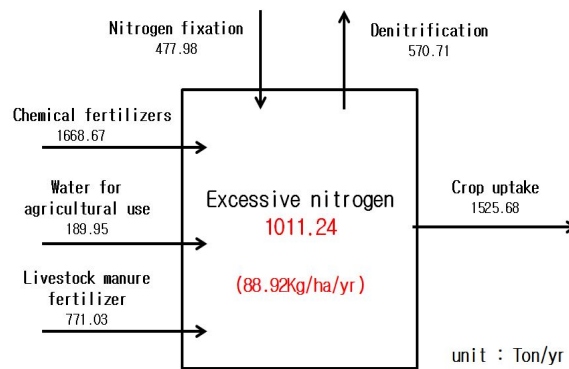


Fig. 4.1.11. Material flow analysis of nitrogen of Haman agricultural area in period of eco-friendly agricultural policy(2002-2007).

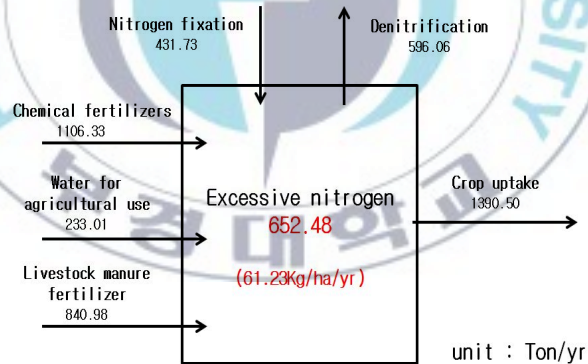


Fig. 4.1.12. Material flow analysis of nitrogen of Haman agricultural area in trial period of regionally based maximum nutrients loading system(2008-2010).

Fig. 4.1.13~4.1.15는 각 기간별 인의 물질흐름분석도이며, 질소와 비슷하게 친환경 농업이 도입이 되는 2000년 초에는 1990년대와 비교하여 인의 화학비료사용량이 약 30 %정도 줄어들어 초과 인의 양 및 단위면적당 초과량이 다소 줄어들었으나 친환경 농업 도입 이후 화학비료에 의한 인의 유입량은 비슷한 양을 유지하고 있다. 유기질 비료의 사용량이 증가하고 있는 반면 작물재배면적은 점차 감소하고 있어 단위면적당 초과 인량이 증가하고 있으며, 2003년 이후 매년 사용량이 증가하고 있으며 지역단위 양분총량제 도입에도 인에 대한 마땅한 관리정책이 시행되지 않고 있는 실정이다.

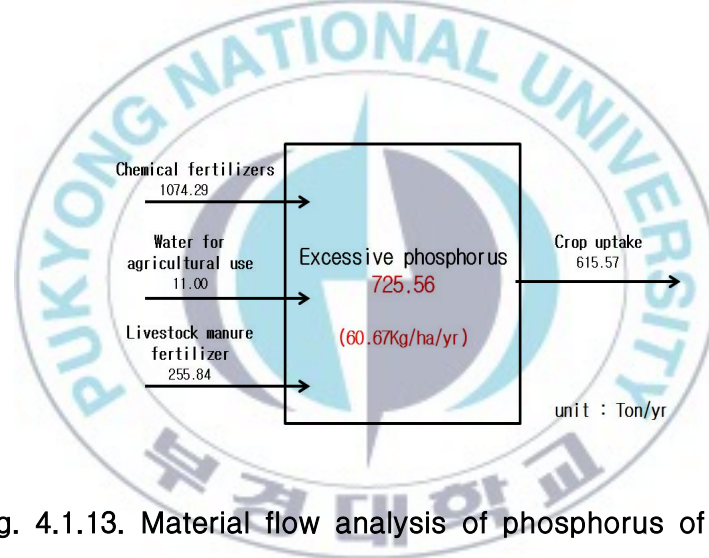


Fig. 4.1.13. Material flow analysis of phosphorus of Haman agricultural area in earlier period eco-friendly agricultural policy(1999-2001).

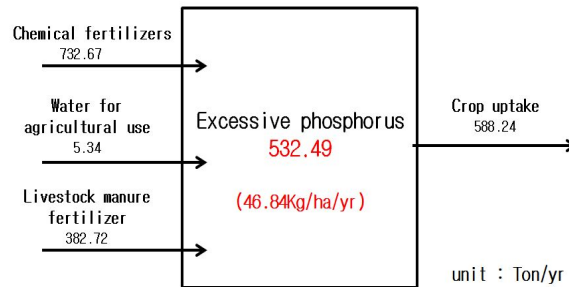


Fig. 4.1.14. Material flow analysis of phosphorus of Haman agricultural area in period of eco-friendly agricultural policy(2002-2007).

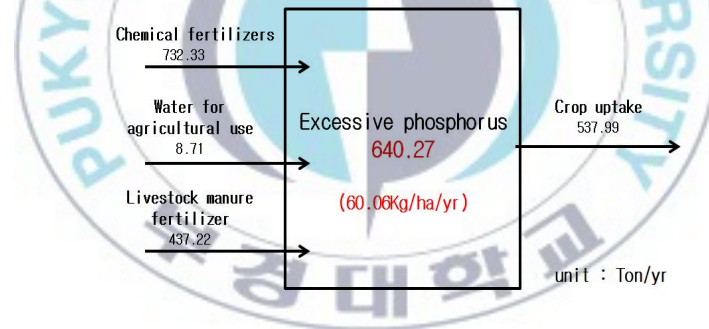


Fig. 4.1.15. Material flow analysis of phosphorus of Haman agricultural area in trial period of regionally based maximum nutrients loading system(2008-2010).

함안군 경작지에 대한 기간별 영양물질의 초과량의 변화는 Fig. 4.1.16에서 나타나는 것과 같이 질소의 경우 꾸준한 저감관리 정책으로 사용량이 줄어들고 있는 반면 인의 경우 초기 친환경 농업 도입으로 화학비료의 사용량은 다소 줄어들었지만 지속적인 관리의 부재로 오히려 증가하고 있는 것으로

분석된다. 따라서 향후 함안군 농업지역의 영양물질관리에 있어서 인에 대한  
사용저감대책이 필요한 것으로 사료된다.

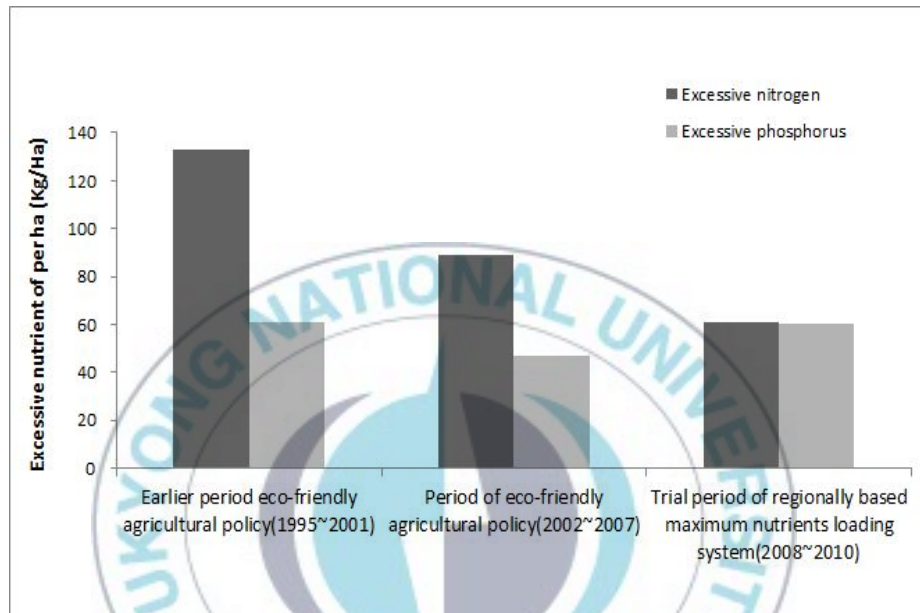


Fig. 4.1.16. Comparison of excess nitrogen and phosphorus by  
policy period in Haman agricultural area.

## 2. 함안군 농경지의 초과 영양물질의 관리방안

과잉된 영양물질을 관리하기 위해서는 중앙정부와 지방자치정부 그리고 농민을 중심으로 다양한 방안 및 정책이 시행되어야 할 것이다. 이에 본 연구는 유입되는 물질의 양이 많아지면 유출되는 폐기량도 많아지므로 물질흐름분석을 통하여 시스템내의 물질 흐름량을 파악하고 필요량에 대하여 조사한 결과를 토대로 함안지역의 과잉된 영양물질 관리 방안에 대해 몇 가지 제시하고자 한다.

먼저 생산된 작물이 자체 소비 또는 판매를 통한 소비가 모두 이루어지지 않는 경우 남은 재고는 폐기물로 배출되거나 다시 농지에 환원되게 된다. 즉 생산하고자 하는 목표 수확량이 정해지지 않으면 생산량이 많아질 경우 이는 결국 유출량의 증가로 이어지는 것을 의미한다. 따라서 유입되는 영양물질을 제어하기 위하여 매년 기대수확량을 산정하여 영양물질의 투입량을 산정할 수 있는 영양물질 관리계획이 필요하다. 이러한 관리를 위해서는 사전에 재배되는 작물의 수확효율, 매수 및 판매·유통량 등에 대한 데이터 수집 및 지역단위별 기대 수확량에 대한 산정이 필요한데 현재 농산물의 판매 및 유통량의 파악이 각 기관별로 산재되어 있어 정확한 수량을 파악하기가 어려운 실정이므로 군단위 또는 읍단위의 단위조합을 이용하여 작물의 생산량 및 소비량을 이용한 다음해의 작물별 소비요구량을 예측하여 영양물질의 관리 대책이 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 농가의 재배수확량의 목표설정 외에 화학비료를 적절한 수준으로 사용할 수 있도록 토양의 화학적 특징과 유기화학비료와 질소고정량, 농업용수에서 기인되는 영양물질 등 농경지 내부에서 자체적으로 조달 가능한 영양물질의 양을 파악하여 필요한 경우만 화학비료의 사용을 유도할 수 있는 관리가 모색되어야 한다. 실제로 함안군 농경지 토양의 특징은 다음 Fig. 4.2.1, 4.2.2와 같다. Fig. 4.2.1은 함안군 농경지 토양의 유기물 함량으로 논과 밭의 약 50%가 51 g/kg이상 분포되어 있으며 이는 농업과학기술원에서 제시한

평균적인 작물의 생장에 적합한 유기물 함량은 21~30 g/kg 범위를 초과하는 수치이다(농업과학기술원, 2006).

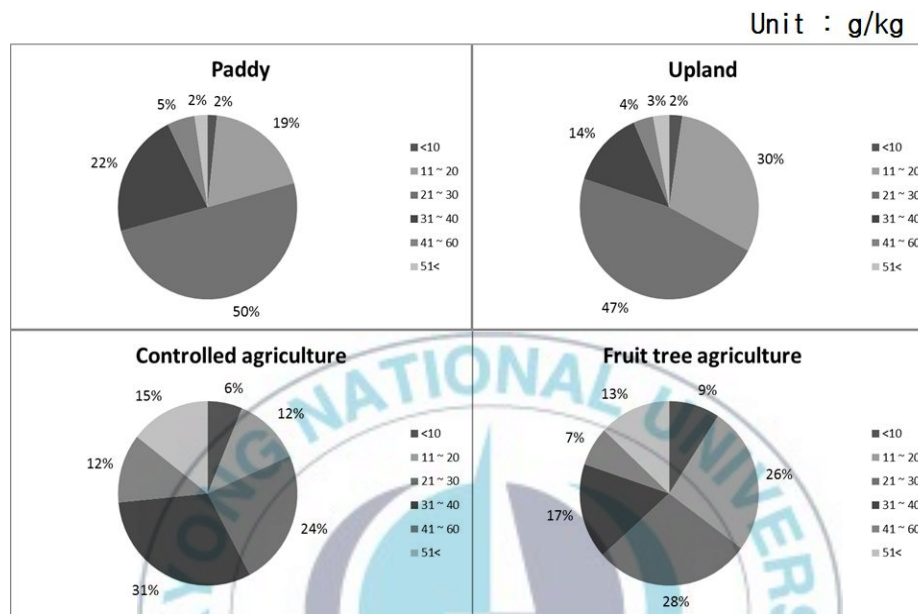


Fig. 4.2.1. Organic matter content of Haman agricultural area.

Fig. 4.2.2는 함안군 농경지의 유효인산함량으로 논외의 경우 80~120 mg/kg 정도가 곡류의 이상적인 성장 환경이며 밭작물 및 시설작물의 경우 평균적으로 200~400 mg/kg, 과수의 200~300 mg/kg 정도의 농도가 생장에 가장 적합한 환경이다(농업과학기술원, 2006). 함안군의 농경지의 유효인산의 농도는 논외의 경우 60 %가량의 면적이 200 mg/kg이 넘으며, 밭과 시설작물의 경우 대다수가 600 mg/kg이상의 분포현황을 나타내고 있으며 이는 농경지의 토양에 과다한 영양물질이 축적되어 있는 것으로 판단된다. 가지, 딸기, 들깨잎 등의 선행 연구사례를 살펴보면 토양에 일정 농도 이상 영양물질이 존재하는 경우 별도의 비료의 시비를 하지 않더라도 작물의 생산이 가능하며 오히려 과잉될 경우 수확량 감소 등의 경제적 문제와 강우 시 환경오염문제가 수반되게 되므로 토양검정을 통한 유입량 산정이 필요한 것으로 사료

된다.

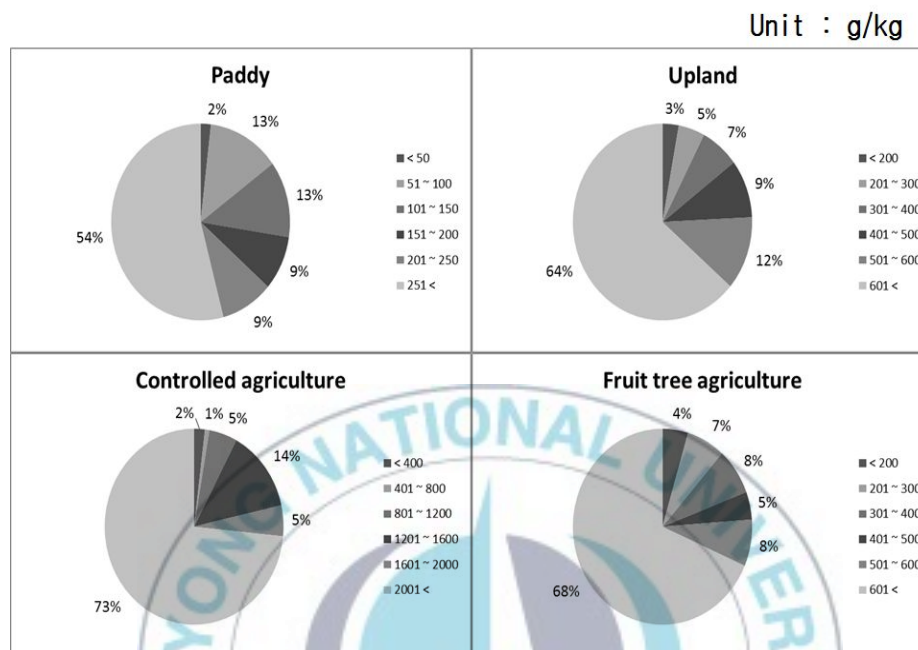


Fig. 4.2.2. Available phosphorous content of Haman agricultural area.

셋째, 가축분뇨에 기인하는 영양물질 수치가 균형을 이룰 수 있도록 사육 가축수도 함께 조절 할 수 있거나 영양물질이 결핍되어 영양물질이 요구되는 관내 지역이나 인근지역으로 공급할 수 있도록 지역단위 영양물질관리 시스템이 구축되어야 한다. 이러한 관리는 적절한 가축 사육수의 감축에 따른 보상방안과 영양물질 저감에 따른 농가의 적절한 보상안도 함께 검토되어야 하므로 중앙 정부 및 각 지자체의 협동관리 방안이 필요하다.

넷째, 과잉 영양물질을 관리 할 수 있는 정부의 강력한 규제방안도 모색되어야 한다. 함안군 농경지의 영양물질흐름분석의 결과 1995년부터 15년간 흐름분석 결과 농경지에 유입된 영양물질이 크게 줄어든 원인 중 하나는 정부의 강력한 농업정책과 규제를 통하여 저감관리된 것으로 나타났다. 따라서

지역단위 자체적인 저감관리 대책도 중요하지만 정부의 관리 정책이 동시에 수반되지 않으면 참여율이 낮아질 우려가 있으며 강압적 규제와 더불어 장려정책을 동시에 마련하여 농민의 자발적 영양물질관리에 참여할 수 있도록 유도하여야 할 것이다.

다섯째, 농경지에 투입되는 양분투입량을 조절뿐만 아니라 비료시비기간에 발생하는 집중강우 및 장마와 같은 환경영향과 이에 의해 발생하는 영양물질의 유출량을 고려하여 비점오염저감을 위한 인공습지 조성 등의 관리정책이 함께 고려되어야 할 것이다.

마지막으로 농경지에 대한 보다 정확한 물질흐름을 파악하기 위해서는 파악하고 자하는 장소의 비료 사용량 및 판매량 및 재배 작물의 수확 및 판매량 등의 정확한 통계자료가 구축되어야 하며 탈질화, 질소고정, 분뇨의 암모니아 휘발 등의 국내 환경에 맞는 연구가 선행되어야 한다. 따라서 중앙정부를 주축으로 연구기관과 지방자치단체 등의 유기적인 역할분담을 통하여 체계적이고 지속가능한 관리가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결론

과다한 비료 및 영양물질의 투입으로 인해 현대 농업 생태계의 환경문제가 증가되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 친환경농업이 도입되었고 최근 효율적인 영양물질 관리를 위하여 작물의 시비기준량 준수, ‘지역단위 양분총량제’ 등의 제도가 추진되고 있다. 이처럼 농경지의 물질을 관리하기 위하여 지역단위의 시스템관리 구축이 요구되고 있으며 이에 대하여 본 연구는 함안군 농경지에 대한 영양물질에 대한 물질흐름을 분석하였다.

함안군 농경지의 물질흐름을 질소와 인에 대하여 농업정책 시기에 따라 친환경 농업 도입이전, 친환경 농업육성 5개년 계획기간, 지역단위 양분총량관리제 시범도입기간으로 나누어 비교분석하였다. 분석결과 질소의 경우 친환경 농업 도입이후 꾸준한 관리정책으로 인하여 1995년 초과 질소량이 1,589.77 Ton에서 2010년 652.48 Ton으로 크게 저감되었고 단위면적당 초과량 역시 연간 132.70 kg/ha에서 61.23 kg/ha로 줄어들었다. 반면 인의 경우 1995년 725.56 Ton에서 2003년 640.27 Ton으로 초과 인량이 줄어들었으나 이후 2010년 653.48 Ton으로 질소와는 다르게 증가하는 것으로 나타났다. 단위면적당 초과 인량 역시 1995년 60.67 kg/ha에서 2003년 46.84 kg/ha로 30 %가량 줄었지만 이후 증가하여 2010년 약 60.06 kg/ha로 증가하였다. 인의 사용량이 증가한 이유로는 친환경 농업도입 이후 화학비료사용량 저감대책이외에 특별한 저감대책이 시행되지 않았으며 유기질 비료의 사용량은 증가하고 있지만 작물의 재배면적이 줄어들면서 상대적으로 단위면적당 초과되는 인의 양은 늘어 난 것으로 사료된다.

물질흐름분석(MFA)의 결과를 보면 함안군의 친환경농업의 도입이전인 1990년대 평균 질소초과량은 약 130 kg/ha/yr에서 2000년대 친환경농업 도입으로 인한 정부의 규제와 정책을 통하여 질소초과량이 약 60 kg/ha/yr 으로 줄어들었지만 여전히 많은 양이 초과하고 있으며 인의 경우 적절한 관리대책과 규제가 마련되지 않아 농경지의 영양물질이 축적되는 것으로 나타났다

다.

과다한 양의 비료를 사용할 경우 농경지내에서 과잉의 영양물질이 축적되거나 강우에 의하여 하천으로 유출될 가능성이 크다. 따라서 농경지에 투입되는 비료의 사용량 저감을 위하여 정부 및 지방자치단체는 기대수확량 산정을 통한 유입 영양물질량 산정 등의 사전 오염방지적인 관리와 축산업에서 기인되는 유기질 비료의 조절 및 정부의 강력한 규제적 정책 등 현실에 부합하는 영양물질 흐름관리가 필요하며 이를 위하여 비료의 생산량 및 판매·이용량, 작물의 판매수량 등의 체계적인 통계자료 구축과 지역별 환경에 부합하는 질소와 인의 유출계수 등에 대한 연구조사가 선행되어야 할 것이다.



## 참고문헌

- Baskin, V.N., Park, S. U., Lee, C. B., 2002, "Nitrogen budgets for the Republic of Korea and the Yellow sea region", *Biogeochemistry* 57&58, 387-403
- Bennett, W.F, 1993, Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants, AS Press, St. Paul, Minn
- Bringezu, S., H. Schutz, S. Moll, 2003, Rationable for and Interpretation of Economy-Wide Material Fow Analysis and Derived Indicators, *Journal of Industrial Ecology* 7(2), 43-64
- Gibson, J.L., D.S. Pitchay, A.L. Williams-Rhodes, B.E. Whipker, P.V. Nelson, and J.M. Dole, 2007, Nutrient deficiencies in bedding plants, Ball Publishing, Batavia, Illinois
- Hanan, J.J 1998, Greenhouses: Advanced technology for protected horticulture, Prentice Hall, Upper Saddle river, N.J.
- Marschner, H. 1995, Mineral nutrition of higher plants, 2nd ed., Academic Press Inc, San Diego, USA
- Matthews E., C. amann, S. Bringezu, M.F. Kowalski, W. Hittler, R. Klejin, Y. Moiguchi, E. Rodenburg, D. rogichi, H. Schandl, H. Schutz, H. Weisz, 2000, The weight of nations: Material outflows from industrial economies, Wourld Resource Institute Report
- Mengel, K. and E.A. Kirkby, 1987, Principles of plant nutrition, 4th ed., Int'l Potash Inst, Bern, Swizerland
- Nelson, P.V, 2003 Greenhouse operation and management, 6th ed., Prentice Hall, N.J

- WGEIO, 2005, Material Flow and Telated Indicators : Inventory of Work Plan for 2005-6, ENV/EPOC/SE(2005)3/Final FEB-2005
- 강성수·홍순달, 2004, 토양의 질산태 질소 검정에 의한 시설재배 방울토마토의 질소 적정량 추정, 한국토양비료학회지 37(2), pp. 74-82
- 국립축산과학원, 2008, 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, pp. 18-82
- 김정만·김주·전형권·박은석·정종성·최종명, 2009, 질소 시비농도가 가지의 생육과 양분흡수 및 무기원소 함량에 미치는 영향, 농업생명과학연구, 40(2), pp. 50-58
- 김정만·김주·전형권·박은석·정종성·최종명, 2009, 시설재배 가지에서 인산 시비농도가 생육과 양분흡수 및 무기원소 함량에 미치는 영향, 농업과학연구, 36(2), pp. 135-145
- 김진수·오광영, 2000, 농촌지역에서의 농업 유기물 흐름의 평가, 한국농공학회지, 42(5), pp. 114-124
- 김창길·강창용·허장, 김태영·신용광, 2004a, 친환경농업체제로의 전환을 위한 전략과 추진방안, 연부고보고 R469, 한국농촌경제연구원
- 김창길·김태영·신용광, 2004b, 환경친화적 농업자원관리를 위한 농업환경 분석과 정책 개발, 한국농촌경제연구원, pp. 35-50
- 김창길·김태영, 2006, 잉여양분의 효과적인 관리를 위한 지역단위 양분총량제 시행 방안, 농업경영·정책연구, 33(2), pp. 326-350
- 국립축산과학원, 2008, 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, pp. 18-82
- 농림수산식품부, 2008, 가축분뇨처리시설 운영실태 조사결과
- 농림수산식품부, 2009, 가축분뇨발생량 및 처리실태
- 농업과학기술원, 2005, 발작물 재배를 위한 양분종합관리(INM)
- 농업과학기술원, 2006, 작물별 시비처방기준
- 박양호·이연·김석철·노재승·박광래·이주영, 2004, 벼 재배를 위한 양분의 종합관리, 농촌과학기술원
- 윤홍배·이연·이상민·김석철·홍승길·이용복, 2009, 우분 야적시 암모니아 휘산량과 강우에 의한 질소 및 인산 유출량 평가, 한국환경농학회지, 28(4), pp. 392-396

- 이연 · 김석철 · 박양호, 2002, 농업양분지표 기준설정 연구, 농업과학기술원, pp. 282-296
- 이연 · 빅양호 · 김석철, 2004, 작물재배시 대기중으로의 질소손실에 관한 연구, 농업과학기술원, pp. 477-486
- 이춘수, 1998, OECD 농업환경 지표에 관한 연구, 농업과학기술원
- 정덕영 · 이교석, 2008, 우리나라 농업의 변천과 비료의 역할, 농업과학연구지, 35(1), pp. 69-83
- 정영상 · 양재익 · 박철수 · 권영기 · 주영규, 1998, 북한강 울문천 소유역에서 수질 변화와 농업활동에 의한 N, P 부하량, 한국토양비료학회지, 31(2), pp. 170-176
- 정종배 · 김병호, 2010, 질산화작용 억제 처리가 논토양의 인산 가용화와 비의 양분흡수 및 생육에 미치는 영향, 한국환경농학회지, 29(4), pp. 336-342
- 조영탁 · 최정수, 2006, 물질흐름분석의 의의와 정책적 함의, 환경정책연구, 5(2), pp. 1-26
- 최종명 · 박종윤, 2007, 인산 시비농도가 잎들깨의 생육, 결핍증상 및 무기원소 함량에 미치는 영향, 생물환경조절학회지, 16(4), pp. 358-364
- 최종명 · 정석기 · 고관달, 2009, '매향' 딸기의 인산 영양진단을 위한 결핍증상 및 식물체 내 한계농도, 원예과학기술지, 27(1), pp. 55-61
- 하옥원, 2010, 지역특성을 고려한 친환경축산 발전 방안 : 가축분뇨 발생 및 처리동향의 분석, 건국대학교 농촌대학원, 석사논문
- 홍성규 · 송재욱, 2006, 충주지역 농경지의 양분수지 분석, 농업경영 · 정책연구, 33(4), pp. 1127-1150
- 홍순달, 1998, 토양검정에 의한 시설재배 토마토의 적정 시비량 추천, 한국토양비료학회지, 31(4), pp. 350-358
- 황기성 · 이상민 · 이성재 · 윤정희 · 광용호, 1997, 당근 생육에 적정한 토양의 인산과 가리함량 구명, 한국토양비료학회, 30(1), pp. 89-93
- 국가수자원관리종합정보시스템 홈페이지(<http://wamis.go.kr>)
- 국가지하수정보센터 홈페이지([www.gims.go.kr](http://www.gims.go.kr))

물환경정보시스템 홈페이지(<http://water.nier.go.kr>)

함안군, 1996~2011, 통계연보

함안군정백서, 2009, 함안군

환경부, 2001, 비점오염원 관리요령



# Appendix

Appendix 1. 1999~2010년 함안군 농업용수의 N, P 농도  
(단위 : mg/L)

| 년    | 측정소명  | 총 질소(T-N) | 총 인(T-P) |
|------|-------|-----------|----------|
| 1995 | 광려천2  | 9.374     | 0.127    |
|      | 광려천3  | 6.822     | 0.143    |
|      | 남지    | 5.421     | 0.361    |
|      | 함안천1  | 6.737     | 0.071    |
|      | 함안천2  | 8.083     | 0.209    |
|      | 평균    | 7.287     | 0.182    |
| 1996 | 광려천2  | 2.806     | 0.164    |
|      | 광려천3  | 2.191     | 0.166    |
|      | 남지    | 4.721     | 0.194    |
|      | 함안천1  | 3.966     | 0.090    |
|      | 함안천2  | 5.441     | 0.483    |
|      | 평균    | 3.825     | 0.219    |
| 1997 | 봉성저수지 | 0.448     | 0.019    |
|      | 광려천2  | 2.934     | 0.164    |
|      | 광려천3  | 3.008     | 0.112    |
|      | 남지    | 5.223     | 0.191    |
|      | 함안천1  | 5.963     | 0.067    |
|      | 함안천2  | 5.500     | 0.425    |
|      | 평균    | 3.846     | 0.163    |
| 1998 | 봉성저수지 | 0.308     | 0.011    |
|      | 광려천2  | 2.686     | 0.080    |
|      | 광려천3  | 3.129     | 0.094    |
|      | 남지    | 3.851     | 0.141    |
|      | 함안천1  | 2.992     | 0.073    |
|      | 함안천2  | 4.046     | 0.178    |
|      | 평균    | 2.835     | 0.096    |

# Appendix 1. 계속

| 년    | 측정소명  | 총 질소(T-N) | 총 인(T-P) |
|------|-------|-----------|----------|
| 2000 | 명관저수지 | 0.567     | 0.016    |
|      | 봉성저수지 | 0.705     | 0.013    |
|      | 입곡저수지 | 0.850     | 0.012    |
|      | 광려천2  | 2.649     | 0.081    |
|      | 광려천3  | 3.054     | 0.144    |
|      | 남지    | 4.007     | 0.147    |
|      | 함안천1  | 2.668     | 0.083    |
|      | 함안천2  | 6.312     | 0.277    |
|      | 평균    | 2.602     | 0.097    |
| 2001 | 광려천2  | 2.351     | 0.075    |
|      | 광려천3  | 3.077     | 0.094    |
|      | 남지    | 3.602     | 0.165    |
|      | 함안천1  | 2.688     | 0.077    |
|      | 함안천2  | 5.974     | 0.216    |
|      | 명관저수지 | 0.423     | 0.027    |
|      | 봉성저수지 | 0.791     | 0.025    |
|      | 입곡저수지 | 1.042     | 0.023    |
|      | 평균    | 2.494     | 0.088    |
| 2002 | 광려천2  | 2.692     | 0.063    |
|      | 광려천3  | 2.974     | 0.105    |
|      | 남지    | 3.385     | 0.146    |
|      | 함안천1  | 1.724     | 0.052    |
|      | 함안천2  | 6.680     | 0.201    |
|      | 명관저수지 | 0.755     | 0.015    |
|      | 봉성저수지 | 0.810     | 0.020    |
|      | 입곡저수지 | 1.270     | 0.020    |
|      | 평균    | 2.536     | 0.078    |
| 2003 | 명관저수지 | 1.813     | 0.048    |
|      | 봉성저수지 | 1.583     | 0.030    |
|      | 입곡저수지 | 2.257     | 0.041    |
|      | 광려천2  | 2.628     | 0.159    |
|      | 광려천3  | 2.674     | 0.178    |
|      | 남지    | 3.229     | 0.138    |
|      | 함안천1  | 2.260     | 0.146    |
|      | 함안천2  | 4.805     | 0.233    |
|      | 평균    | 2.656     | 0.122    |

Appendix 1. 계속

| 년    | 측정소명  | 총 질소(T-N) | 총 인(T-P) |
|------|-------|-----------|----------|
| 2004 | 명관저수지 | 0.615     | 0.010    |
|      | 봉성저수지 | 1.290     | 0.015    |
|      | 입곡저수지 | 1.635     | 0.010    |
|      | 광려천2  | 2.830     | 0.079    |
|      | 광려천3  | 2.953     | 0.106    |
|      | 남지    | 2.827     | 0.125    |
|      | 함안천1  | 2.117     | 0.067    |
|      | 함안천2  | 6.144     | 0.163    |
|      | 평균    | 2.551     | 0.072    |
| 2005 | 명관저수지 | 0.577     | 0.005    |
|      | 봉성저수지 | 1.067     | 0.015    |
|      | 입곡저수지 | 1.227     | 0.006    |
|      | 광려천2  | 2.634     | 0.090    |
|      | 광려천3  | 2.241     | 0.151    |
|      | 남지    | 3.069     | 0.154    |
|      | 함안천1  | 2.290     | 0.069    |
|      | 함안천2  | 4.817     | 0.182    |
|      | 평균    | 2.240     | 0.084    |
| 2006 | 명관저수지 | 0.492     | 0.007    |
|      | 봉성저수지 | 1.319     | 0.002    |
|      | 입곡저수지 | 1.485     | 0.015    |
|      | 광려천2  | 2.595     | 0.083    |
|      | 광려천3  | 2.337     | 0.137    |
|      | 남지    | 3.331     | 0.162    |
|      | 함안천1  | 2.671     | 0.042    |
|      | 함안천2  | 4.838     | 0.197    |
|      | 평균    | 2.384     | 0.081    |
| 2007 | 명관저수지 | 0.956     | 0.006    |
|      | 봉성저수지 | 1.061     | 0.016    |
|      | 입곡저수지 | 0.954     | 0.012    |
|      | 광려천2  | 2.606     | 0.082    |
|      | 광려천3  | 2.390     | 0.193    |
|      | 남강4-1 | 2.802     | 0.132    |
|      | 남지    | 3.167     | 0.169    |
|      | 함안천1  | 2.123     | 0.032    |
|      | 함안천2  | 3.907     | 0.175    |
|      | 평균    | 2.218     | 0.091    |

Appendix 1. 계속

| 년    | 측정소명  | 총 질소(T-N) | 총 인(T-P) |
|------|-------|-----------|----------|
| 2008 | 명관저수지 | 0.471     | 0.017    |
|      | 봉성저수지 | 0.658     | 0.014    |
|      | 입곡저수지 | 0.957     | 0.040    |
|      | 광려천2  | 2.423     | 0.103    |
|      | 광려천3  | 2.285     | 0.216    |
|      | 남강4-1 | 2.689     | 0.126    |
|      | 남지    | 3.053     | 0.179    |
|      | 함안천1  | 1.759     | 0.117    |
|      | 함안천2  | 4.411     | 0.225    |
|      | 평균    | 2.078     | 0.115    |
| 2009 | 명관저수지 | 0.305     | 0.015    |
|      | 봉성저수지 | 0.848     | 0.014    |
|      | 입곡저수지 | 0.718     | 0.016    |
|      | 광려천2  | 2.441     | 0.076    |
|      | 광려천3  | 2.293     | 0.136    |
|      | 남강4-1 | 3.573     | 0.150    |
|      | 남지    | 3.331     | 0.197    |
|      | 함안천1  | 2.108     | 0.027    |
|      | 함안천2  | 3.420     | 0.180    |
|      | 평균    | 2.115     | 0.090    |
| 2010 | 명관저수지 | 0.690     | 0.015    |
|      | 봉성저수지 | 1.009     | 0.009    |
|      | 입곡저수지 | 1.339     | 0.015    |
|      | 광려천2  | 2.222     | 0.075    |
|      | 광려천3  | 2.308     | 0.179    |
|      | 남강4-1 | 2.793     | 0.087    |
|      | 남지    | 3.400     | 0.156    |
|      | 함안천1  | 1.945     | 0.053    |
|      | 함안천2  | 2.807     | 0.172    |
|      | 평균    | 2.057     | 0.085    |

Appendix 2. 1999~2010년 함안군 농경지의 작물 재배면적 및 작물흡수량

| 연 별  | 총합계      |         |        | 정 곡     |         |        | 미 곡     |        |        | 맥 류     |        |       |
|------|----------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|-------|
|      | 면적       | 질소      | 인      | 면적      | 질소      | 인      | 면적      | 질소     | 인      | 면적      | 질소     | 인     |
|      |          | 양분      | 양분     |         | 양분      | 양분     |         | 양분     | 양분     |         | 양분     | 양분    |
|      |          | 흡수량     | 흡수량    |         | 흡수량     | 흡수량    |         | 흡수량    | 흡수량    |         | 흡수량    | 흡수량   |
|      | ha       | Ton     |        | ha      | Ton     |        | ha      | Ton    |        | ha      | Ton    |       |
| 1995 | 13059.80 | 1522.40 | 577.90 | 9226.00 | 1047.62 | 364.04 | 6742.00 | 795.56 | 289.91 | 1200.00 | 126.00 | 44.40 |
| 1996 | 13477.60 | 1574.48 | 589.47 | 9624.20 | 1097.43 | 383.89 | 7350.00 | 867.30 | 316.05 | 1098.00 | 115.29 | 40.63 |
| 1997 | 13587.00 | 1576.73 | 586.73 | 9543.00 | 1088.88 | 383.35 | 7388.00 | 871.78 | 317.68 | 1108.00 | 116.34 | 41.00 |
| 1998 | 14221.00 | 1686.33 | 639.42 | 9144.00 | 1043.90 | 368.37 | 7238.00 | 854.08 | 311.23 | 952.00  | 99.96  | 35.22 |
| 1999 | 13745.80 | 1652.52 | 631.60 | 9126.00 | 1045.71 | 370.08 | 7247.00 | 855.15 | 311.62 | 983.00  | 103.22 | 36.37 |
| 2000 | 14179.90 | 1705.25 | 648.26 | 9328.00 | 1066.50 | 377.43 | 7269.00 | 857.74 | 312.57 | 1149.00 | 120.65 | 42.51 |
| 2001 | 14055.30 | 1699.33 | 646.28 | 9140.00 | 1046.32 | 371.16 | 7279.00 | 858.92 | 313.00 | 1007.00 | 105.74 | 37.26 |
| 2002 | 14057.90 | 1678.91 | 635.62 | 9042.00 | 1033.44 | 363.10 | 7120.00 | 840.16 | 306.16 | 857.00  | 89.99  | 31.71 |
| 2003 | 13020.40 | 1620.70 | 626.29 | 8346.00 | 958.90  | 339.96 | 6887.00 | 812.67 | 296.14 | 625.00  | 65.63  | 23.13 |
| 2004 | 12641.10 | 1538.83 | 597.66 | 7916.00 | 913.52  | 326.53 | 6700.00 | 790.60 | 288.10 | 559.00  | 58.70  | 20.68 |
| 2005 | 12050.30 | 1448.53 | 557.27 | 7689.00 | 884.39  | 316.56 | 6629.00 | 782.22 | 285.05 | 526.00  | 55.23  | 19.46 |
| 2006 | 11614.40 | 1433.29 | 558.92 | 7329.00 | 858.07  | 312.46 | 6829.00 | 805.82 | 293.65 | 343.00  | 36.02  | 12.69 |
| 2007 | 11402.80 | 1435.29 | 558.83 | 7386.00 | 864.66  | 314.20 | 6887.00 | 812.67 | 296.14 | 453.00  | 47.57  | 16.76 |
| 2008 | 11638.0  | 1418.02 | 550.78 | 7402.0  | 867.71  | 315.36 | 6954.00 | 820.57 | 299.02 | 413.00  | 43.37  | 15.28 |
| 2009 | 11198.40 | 1369.85 | 531.08 | 7211.00 | 845.54  | 307.29 | 6803.00 | 802.75 | 292.53 | 356.00  | 37.38  | 13.17 |
| 2010 | 11318.30 | 1384.37 | 534.60 | 7353.00 | 856.81  | 309.78 | 6684.00 | 788.71 | 287.41 | 431.00  | 45.26  | 15.95 |

Appendix 2. 계속

| 연 별  | 두 류     |        |       | 서 류    |       |      | 채소      |        |        | 무 우   |       |       |
|------|---------|--------|-------|--------|-------|------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|
|      | 면적      | 질소     | 인     | 면적     | 질소    | 인    | 면적      | 양분     | 인      | 면적    | 질소    | 인     |
|      |         | 양분     | 양분    |        | 양분    | 양분   |         | 흡수량    | 양분     |       | 양분    | 양분    |
|      |         | 흡수량    | 흡수량   |        | 흡수량   | 흡수량  |         | 흡수량    | 흡수량    |       | 흡수량   | 흡수량   |
|      | ha      | Ton    |       | ha     | Ton   |      | ha      | Ton    |        | ha    | Ton   |       |
| 1995 | 1009.00 | 105.95 | 21.19 | 178.00 | 20.11 | 8.54 | 2368.90 | 251.71 | 91.55  | 67.70 | 12.39 | 8.12  |
| 1996 | 914.00  | 95.97  | 19.19 | 167.00 | 18.87 | 8.02 | 2590.80 | 261.00 | 92.89  | 58.90 | 10.78 | 7.07  |
| 1997 | 768.00  | 80.64  | 16.13 | 178.00 | 20.11 | 8.54 | 2850.80 | 289.46 | 99.74  | 70.80 | 12.96 | 8.50  |
| 1998 | 689.00  | 72.35  | 14.47 | 155.00 | 17.52 | 7.44 | 3325.50 | 354.21 | 122.79 | 86.50 | 15.83 | 10.38 |
| 1999 | 636.00  | 66.78  | 13.36 | 182.00 | 20.57 | 8.74 | 2962.30 | 302.28 | 104.78 | 43.10 | 7.89  | 5.17  |
| 2000 | 639.00  | 67.10  | 13.42 | 186.00 | 21.02 | 8.93 | 3194.60 | 336.19 | 115.10 | 49.30 | 9.02  | 5.92  |
| 2001 | 584.00  | 61.32  | 12.26 | 180.00 | 20.34 | 8.64 | 3203.90 | 349.77 | 117.43 | 44.30 | 8.11  | 5.32  |
| 2002 | 790.00  | 82.95  | 16.59 | 180.00 | 20.34 | 8.64 | 3350.20 | 347.44 | 117.98 | 44.30 | 8.11  | 5.32  |
| 2003 | 574.00  | 60.27  | 12.05 | 180.00 | 20.34 | 8.64 | 3020.40 | 314.66 | 107.81 | 51.10 | 9.35  | 6.13  |
| 2004 | 404.00  | 42.42  | 8.48  | 193.00 | 21.81 | 9.26 | 3046.60 | 279.00 | 92.46  | 35.00 | 6.41  | 4.20  |
| 2005 | 334.00  | 35.07  | 7.01  | 105.00 | 11.87 | 5.04 | 2936.90 | 269.27 | 88.74  | 31.00 | 5.67  | 3.72  |
| 2006 | 33.00   | 3.47   | 0.69  | 113.00 | 12.77 | 5.42 | 2812.60 | 254.37 | 82.66  | 35.00 | 6.41  | 4.20  |
| 2007 | 25.00   | 2.63   | 0.53  | 16.00  | 1.81  | 0.77 | 2536.50 | 254.14 | 82.99  | 37.60 | 6.88  | 4.51  |
| 2008 | 23.00   | 2.42   | 0.48  | 12.00  | 1.36  | 0.58 | 2821.10 | 250.47 | 81.64  | 40.30 | 7.37  | 4.84  |
| 2009 | 30.00   | 3.15   | 0.63  | 20.00  | 2.26  | 0.96 | 2635.60 | 241.29 | 78.65  | 40.50 | 7.41  | 4.86  |
| 2010 | 139.00  | 14.60  | 2.92  | 73.00  | 8.25  | 3.50 | 2629.10 | 245.19 | 81.56  | 35.80 | 6.55  | 4.30  |

Appendix 2. 계속

| 연 별  | 배 추    |       |       | 오 이   |      |      | 호 박   |       |      | 참 외    |       |       |
|------|--------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|--------|-------|-------|
|      | 면적     | 질소    | 인     | 면적    | 질소   | 인    | 면적    | 질소 양분 | 인    | 면적     | 질소    | 인     |
|      |        | 양분    | 양분    |       | 양분   | 양분   |       | 흡수량   | 양분   |        | 양분    | 양분    |
|      |        | 흡수량   | 흡수량   |       | 흡수량  | 흡수량  |       | 흡수량   | 흡수량  |        | 흡수량   | 흡수량   |
|      | ha     | Ton   |       | ha    | Ton  |      | ha    | Ton   |      | ha     | Ton   |       |
| 1995 | 161.60 | 16.81 | 13.41 | 31.00 | 5.83 | 2.20 | 19.60 | 2.70  | 1.35 | 188.10 | 35.17 | 11.85 |
| 1996 | 155.30 | 16.15 | 12.89 | 25.20 | 4.74 | 1.79 | 13.20 | 1.82  | 0.91 | 179.00 | 33.47 | 11.28 |
| 1997 | 118.20 | 12.29 | 9.81  | 32.00 | 6.02 | 2.27 | 8.60  | 1.19  | 0.59 | 202.00 | 37.77 | 12.73 |
| 1998 | 135.20 | 14.06 | 11.22 | 35.50 | 6.67 | 2.52 | 63.70 | 8.79  | 4.40 | 284.20 | 53.15 | 17.90 |
| 1999 | 154.40 | 16.06 | 12.82 | 22.20 | 4.17 | 1.58 | 11.80 | 1.63  | 0.81 | 296.00 | 55.35 | 18.65 |
| 2000 | 123.30 | 12.82 | 10.23 | 22.20 | 4.17 | 1.58 | 33.90 | 4.68  | 2.34 | 412.00 | 77.04 | 25.96 |
| 2001 | 118.20 | 12.29 | 9.81  | 39.00 | 7.33 | 2.77 | 15.00 | 2.07  | 1.04 | 395.00 | 73.87 | 24.89 |
| 2002 | 127.30 | 13.24 | 10.57 | 33.30 | 6.26 | 2.36 | 26.40 | 3.64  | 1.82 | 371.70 | 69.51 | 23.42 |
| 2003 | 123.60 | 12.85 | 10.26 | 20.60 | 3.87 | 1.46 | 29.50 | 4.07  | 2.04 | 322.10 | 60.23 | 20.29 |
| 2004 | 87.00  | 9.05  | 7.22  | 20.60 | 3.87 | 1.46 | 29.50 | 4.07  | 2.04 | 206.00 | 38.52 | 12.98 |
| 2005 | 86.00  | 8.94  | 7.14  | 21.10 | 3.97 | 1.50 | 6.70  | 0.92  | 0.46 | 200.00 | 37.40 | 12.60 |
| 2006 | 53.10  | 5.52  | 4.41  | 29.00 | 5.45 | 2.06 | 24.00 | 3.31  | 1.66 | 168.00 | 31.42 | 10.58 |
| 2007 | 55.80  | 5.80  | 4.63  | 29.30 | 5.51 | 2.08 | 28.60 | 3.95  | 1.97 | 163.00 | 30.48 | 10.27 |
| 2008 | 57.50  | 5.98  | 4.77  | 31.80 | 5.98 | 2.26 | 10.90 | 1.50  | 0.75 | 151.00 | 28.24 | 9.51  |
| 2009 | 57.50  | 5.98  | 4.77  | 29.20 | 5.49 | 2.07 | 3.60  | 0.50  | 0.25 | 139.00 | 25.99 | 8.76  |
| 2010 | 95.60  | 9.94  | 7.93  | 29.40 | 5.53 | 2.09 | 3.60  | 0.50  | 0.25 | 141.20 | 26.40 | 8.90  |

Appendix 2. 계속

| 연 별  | 수 박     |        |       | 고 추    |       |      | 마 늘   |       |      | 토 마 토 |      |      |
|------|---------|--------|-------|--------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
|      | 면적      | 질소     | 인     | 면적     | 질소    | 인    | 면적    | 양분    | 인    | 면적    | 질소   | 인    |
|      |         | 양분     | 양분    |        | 양분    | 양분   |       | 흡수량   | 양분   |       | 양분   | 양분   |
|      |         | 흡수량    | 흡수량   |        | 흡수량   | 흡수량  |       | 흡수량   | 흡수량  |       | 흡수량  | 흡수량  |
|      | ha      | Ton    |       | ha     | Ton   |      | ha    | Ton   |      | ha    | Ton  |      |
| 1995 | 1480.20 | 139.14 | 39.97 | 207.20 | 21.34 | 6.84 | 97.50 | 11.51 | 5.66 | 13.00 | 1.25 | 0.40 |
| 1996 | 1617.40 | 152.04 | 43.67 | 219.50 | 22.61 | 7.24 | 90.80 | 10.71 | 5.27 | 31.60 | 3.03 | 0.98 |
| 1997 | 1902.20 | 178.81 | 51.36 | 201.40 | 20.74 | 6.65 | 79.30 | 9.36  | 4.60 | 44.00 | 4.22 | 1.36 |
| 1998 | 2249.00 | 211.41 | 60.72 | 204.60 | 21.07 | 6.75 | 81.40 | 9.61  | 4.72 | 62.00 | 5.95 | 1.92 |
| 1999 | 1902.00 | 178.79 | 51.35 | 198.40 | 20.44 | 6.55 | 79.50 | 9.38  | 4.61 | 49.30 | 4.73 | 1.53 |
| 2000 | 2002.30 | 188.22 | 54.06 | 197.70 | 20.36 | 6.52 | 83.30 | 9.83  | 4.83 | 43.40 | 4.17 | 1.35 |
| 2001 | 2255.00 | 211.97 | 60.89 | 176.00 | 18.13 | 5.81 | 66.00 | 7.79  | 3.83 | 40.00 | 3.84 | 1.24 |
| 2002 | 2190.40 | 205.90 | 59.14 | 204.60 | 21.07 | 6.75 | 88.40 | 10.43 | 5.13 | 45.30 | 4.35 | 1.40 |
| 2003 | 1954.30 | 183.70 | 52.77 | 213.60 | 22.00 | 7.05 | 73.00 | 8.61  | 4.23 | 43.00 | 4.13 | 1.33 |
| 2004 | 1908.00 | 179.35 | 51.52 | 250.00 | 25.75 | 8.25 | 52.50 | 6.20  | 3.05 | 27.00 | 2.59 | 0.84 |
| 2005 | 1877.00 | 176.44 | 50.68 | 230.00 | 23.69 | 7.59 | 54.70 | 6.45  | 3.17 | 38.00 | 3.65 | 1.18 |
| 2006 | 1876.00 | 176.34 | 50.65 | 160.00 | 16.48 | 5.28 | 28.90 | 3.41  | 1.68 | 38.00 | 3.65 | 1.18 |
| 2007 | 1847.00 | 173.62 | 49.87 | 174.80 | 18.00 | 5.77 | 29.00 | 3.42  | 1.68 | 36.00 | 3.46 | 1.12 |
| 2008 | 1843.00 | 173.24 | 49.76 | 171.80 | 17.70 | 5.67 | 29.00 | 3.42  | 1.68 | 36.00 | 3.46 | 1.12 |
| 2009 | 1795.00 | 168.73 | 48.47 | 159.00 | 16.38 | 5.25 | 31.00 | 3.66  | 1.80 | 39.00 | 3.74 | 1.21 |
| 2010 | 1812.00 | 170.33 | 48.92 | 154.00 | 15.86 | 5.08 | 35.00 | 4.13  | 2.03 | 37.60 | 3.61 | 1.17 |

Appendix 2. 계속

| 연 별  | 과     |      |      | 당 근  |      |      | 상 추   |       |      | 시 금 치 |      |      |
|------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
|      | 면적    | 질소   | 인    | 면적   | 질소   | 인    | 면적    | 질소 양분 | 인    | 면적    | 질소   | 인    |
|      |       | 양분   | 양분   |      | 양분   | 양분   |       | 흡수량   | 양분   |       | 양분   | 양분   |
|      |       | 흡수량  | 흡수량  |      | 흡수량  | 흡수량  |       | 흡수량   | 흡수량  |       | 흡수량  | 흡수량  |
|      | ha    | Ton  |      | ha   | Ton  |      | ha    | Ton   |      | ha    | Ton  |      |
| 1995 | 31.50 | 3.37 | 0.72 | 4.00 | 0.56 | 0.26 | 1.40  | 0.24  | 0.05 | 1.20  | 0.11 | 0.03 |
| 1996 | 31.50 | 3.37 | 0.72 | 2.60 | 0.37 | 0.17 | 1.50  | 0.25  | 0.05 | 1.50  | 0.14 | 0.03 |
| 1997 | 32.00 | 3.42 | 0.74 | 0.50 | 0.07 | 0.03 | 5.20  | 0.88  | 0.18 | 0.00  | 0.00 | 0.00 |
| 1998 | 37.50 | 4.01 | 0.86 | 3.00 | 0.42 | 0.19 | 8.00  | 1.35  | 0.28 | 3.50  | 0.32 | 0.08 |
| 1999 | 0.50  | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.50  | 0.76  | 0.16 | 3.00  | 0.27 | 0.07 |
| 2000 | 1.70  | 0.18 | 0.04 | 2.20 | 0.31 | 0.14 | 12.40 | 2.10  | 0.43 | 2.40  | 0.22 | 0.05 |
| 2001 | 2.30  | 0.25 | 0.05 | 3.70 | 0.52 | 0.24 | 5.00  | 0.85  | 0.18 | 2.60  | 0.24 | 0.06 |
| 2002 | 4.30  | 0.46 | 0.10 | 2.20 | 0.31 | 0.14 | 5.90  | 1.00  | 0.21 | 2.20  | 0.20 | 0.05 |
| 2003 | 7.00  | 0.75 | 0.16 | 2.30 | 0.32 | 0.15 | 9.30  | 1.57  | 0.33 | 2.40  | 0.22 | 0.05 |
| 2004 | 6.00  | 0.64 | 0.14 | 1.80 | 0.25 | 0.12 | 9.00  | 1.52  | 0.32 | 1.70  | 0.15 | 0.04 |
| 2005 | 4.00  | 0.43 | 0.09 | 2.20 | 0.31 | 0.14 | 4.00  | 0.68  | 0.14 | 1.30  | 0.12 | 0.03 |
| 2006 | 2.00  | 0.21 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.30  | 0.56  | 0.12 | 1.40  | 0.13 | 0.03 |
| 2007 | 4.80  | 0.51 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.20  | 0.88  | 0.18 | 1.90  | 0.17 | 0.04 |
| 2008 | 4.80  | 0.51 | 0.11 | 2.00 | 0.28 | 0.13 | 6.90  | 1.17  | 0.24 | 1.80  | 0.16 | 0.04 |
| 2009 | 4.90  | 0.52 | 0.11 | 2.20 | 0.31 | 0.14 | 6.50  | 1.10  | 0.23 | 1.70  | 0.15 | 0.04 |
| 2010 | 3.20  | 0.34 | 0.07 | 1.30 | 0.18 | 0.08 | 3.60  | 0.61  | 0.13 | 1.20  | 0.11 | 0.03 |

Appendix 2. 계속

| 연 별  | 양 파   |      |      | 딸 기  |      |      | 특용작물합계 |       |       | 땅 콩   |      |      |
|------|-------|------|------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|------|------|
|      | 면적    | 질소   | 인    | 면적   | 질소   | 인    | 면적     | 질소    | 인     | 면적    | 질소   | 인    |
|      |       | 양분   | 양분   |      | 양분   | 양분   |        | 양분    | 양분    |       | 양분   | 양분   |
|      |       | 흡수량  | 흡수량  |      | 흡수량  | 흡수량  |        | 흡수량   | 흡수량   |       | 흡수량  | 흡수량  |
|      | ha    | Ton  |      | ha   | Ton  |      | ha     | Ton   |       | ha    | Ton  |      |
| 1995 | 10.70 | 1.25 | 0.67 | 0.50 | 0.04 | 0.02 | 325.00 | 16.92 | 16.91 | 58.00 | 1.74 | 6.03 |
| 1996 | 13.00 | 1.52 | 0.82 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 161.80 | 9.14  | 7.29  | 6.80  | 0.20 | 0.71 |
| 1997 | 14.40 | 1.68 | 0.91 | 0.50 | 0.04 | 0.02 | 161.80 | 9.14  | 7.29  | 6.80  | 0.20 | 0.71 |
| 1998 | 12.60 | 1.47 | 0.79 | 1.00 | 0.09 | 0.04 | 125.40 | 7.09  | 5.77  | 4.00  | 0.12 | 0.42 |
| 1999 | 22.80 | 2.67 | 1.44 | 1.00 | 0.09 | 0.04 | 134.50 | 7.67  | 5.83  | 2.50  | 0.08 | 0.26 |
| 2000 | 25.80 | 3.02 | 1.63 | 0.50 | 0.04 | 0.02 | 128.00 | 7.07  | 5.68  | 7.40  | 0.22 | 0.77 |
| 2001 | 19.30 | 2.26 | 1.22 | 3.00 | 0.27 | 0.12 | 189.70 | 10.39 | 8.93  | 16.90 | 0.51 | 1.76 |
| 2002 | 23.80 | 2.78 | 1.50 | 2.00 | 0.18 | 0.08 | 170.20 | 9.40  | 7.89  | 12.80 | 0.38 | 1.33 |
| 2003 | 21.50 | 2.52 | 1.35 | 5.10 | 0.45 | 0.20 | 137.70 | 7.59  | 6.55  | 12.10 | 0.36 | 1.26 |
| 2004 | 3.00  | 0.35 | 0.19 | 3.00 | 0.27 | 0.12 | 179.00 | 9.89  | 8.27  | 13.20 | 0.40 | 1.37 |
| 2005 | 2.80  | 0.33 | 0.18 | 3.00 | 0.27 | 0.12 | 134.00 | 7.94  | 6.67  | 4.60  | 0.14 | 0.48 |
| 2006 | 10.40 | 1.22 | 0.66 | 3.00 | 0.27 | 0.12 | 79.00  | 4.71  | 4.03  | 3.00  | 0.09 | 0.31 |
| 2007 | 9.80  | 1.15 | 0.62 | 3.50 | 0.31 | 0.14 | 96.90  | 5.72  | 4.88  | 4.20  | 0.13 | 0.44 |
| 2008 | 9.80  | 1.15 | 0.62 | 3.50 | 0.31 | 0.14 | 119.90 | 6.98  | 6.22  | 8.30  | 0.25 | 0.86 |
| 2009 | 9.80  | 1.15 | 0.62 | 2.00 | 0.18 | 0.08 | 126.00 | 6.69  | 5.98  | 8.70  | 0.26 | 0.90 |
| 2010 | 8.70  | 1.02 | 0.55 | 0.90 | 0.08 | 0.04 | 73.00  | 2.67  | 2.68  | 7.00  | 0.21 | 0.73 |

Appendix 2. 계속

| 연 별  | 참 개    |       |      | 들 개   |      |      | 과실류     |        |        | 사 과  |      |      |
|------|--------|-------|------|-------|------|------|---------|--------|--------|------|------|------|
|      | 면적     | 질소    | 인    | 면적    | 질소   | 인    | 면적      | 양분     | 인      | 면적   | 질소   | 인    |
|      |        | 양분    | 양분   |       | 양분   | 양분   |         | 흡수량    | 양분     |      | 양분   | 양분   |
|      |        | 흡수량   | 흡수량  |       | 흡수량  | 흡수량  |         | 흡수량    | 흡수량    |      | 흡수량  | 흡수량  |
|      | ha     | Ton   |      | ha    | Ton  |      | ha      | Ton    |        | ha   | Ton  |      |
| 1995 | 251.00 | 14.06 | 9.79 | 16.00 | 1.12 | 1.09 | 1139.90 | 206.16 | 105.40 | 0.90 | 0.14 | 0.11 |
| 1996 | 136.50 | 7.64  | 5.32 | 18.50 | 1.30 | 1.26 | 1100.80 | 206.90 | 105.40 | 0.90 | 0.14 | 0.11 |
| 1997 | 136.50 | 7.64  | 5.32 | 18.50 | 1.30 | 1.26 | 1031.40 | 189.25 | 96.34  | 0.90 | 0.14 | 0.11 |
| 1998 | 91.50  | 5.12  | 3.57 | 26.30 | 1.84 | 1.79 | 1626.10 | 281.14 | 142.50 | 1.90 | 0.29 | 0.23 |
| 1999 | 117.50 | 6.58  | 4.58 | 14.50 | 1.02 | 0.99 | 1523.00 | 296.86 | 150.91 | 2.00 | 0.30 | 0.24 |
| 2000 | 113.60 | 6.36  | 4.43 | 7.00  | 0.49 | 0.48 | 1529.30 | 295.50 | 150.06 | 1.60 | 0.24 | 0.19 |
| 2001 | 158.00 | 8.85  | 6.16 | 14.80 | 1.04 | 1.01 | 1521.70 | 292.85 | 148.76 | 1.60 | 0.24 | 0.19 |
| 2002 | 143.00 | 8.01  | 5.58 | 14.40 | 1.01 | 0.98 | 1495.50 | 288.64 | 146.65 | 1.60 | 0.24 | 0.19 |
| 2003 | 111.90 | 6.27  | 4.36 | 13.70 | 0.96 | 0.93 | 1516.30 | 339.55 | 171.97 | 1.50 | 0.23 | 0.18 |
| 2004 | 151.00 | 8.46  | 5.89 | 14.80 | 1.04 | 1.01 | 1499.50 | 336.43 | 170.41 | 1.50 | 0.23 | 0.18 |
| 2005 | 89.90  | 5.03  | 3.51 | 39.50 | 2.77 | 2.69 | 1290.40 | 286.94 | 145.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2006 | 50.00  | 2.80  | 1.95 | 26.00 | 1.82 | 1.77 | 1393.80 | 316.13 | 159.78 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2007 | 64.20  | 3.60  | 2.50 | 28.50 | 2.00 | 1.94 | 1383.40 | 310.76 | 156.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2008 | 77.00  | 4.31  | 3.00 | 34.60 | 2.42 | 2.35 | 1295.00 | 292.86 | 147.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2009 | 76.50  | 4.28  | 2.98 | 30.70 | 2.15 | 2.09 | 1225.80 | 276.32 | 139.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2010 | 29.00  | 1.62  | 1.13 | 12.00 | 0.84 | 0.82 | 1263.20 | 279.69 | 140.58 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

Appendix 2. 계속

| 연 별  | 배     |      |      | 복 승 아  |       |       | 포 도    |       |      | 감       |        |        |
|------|-------|------|------|--------|-------|-------|--------|-------|------|---------|--------|--------|
|      | 면적    | 질소   | 인    | 면적     | 질소    | 인     | 면적     | 양분    | 인    | 면적      | 질소     | 인      |
|      |       | 양분   | 양분   |        | 양분    | 양분    |        | 흡수량   | 양분   |         | 양분     | 양분     |
|      |       | 흡수량  | 흡수량  |        | 흡수량   | 흡수량   |        | 흡수량   | 흡수량  |         | 흡수량    | 흡수량    |
|      | ha    | Ton  |      | ha     | Ton   |       | ha     | Ton   |      | ha      | Ton    |        |
| 1995 | 19.50 | 3.90 | 2.54 | 238.90 | 31.06 | 16.72 | 100.50 | 13.07 | 7.04 | 632.00  | 158.00 | 79.00  |
| 1996 | 14.20 | 2.84 | 1.85 | 197.20 | 25.64 | 13.80 | 100.30 | 13.04 | 7.02 | 661.00  | 165.25 | 82.63  |
| 1997 | 18.10 | 3.62 | 2.35 | 102.20 | 13.29 | 7.15  | 124.70 | 16.21 | 8.73 | 624.00  | 156.00 | 78.00  |
| 1998 | 26.30 | 5.26 | 3.42 | 108.10 | 14.05 | 7.57  | 103.00 | 13.39 | 7.21 | 992.60  | 248.15 | 124.08 |
| 1999 | 40.00 | 8.00 | 5.20 | 126.00 | 16.38 | 8.82  | 111.00 | 14.43 | 7.77 | 1031.00 | 257.75 | 128.88 |
| 2000 | 35.70 | 7.14 | 4.64 | 132.90 | 17.28 | 9.30  | 100.30 | 13.04 | 7.02 | 1031.20 | 257.80 | 128.90 |
| 2001 | 35.80 | 7.16 | 4.65 | 133.80 | 17.39 | 9.37  | 104.30 | 13.56 | 7.30 | 1018.00 | 254.50 | 127.25 |
| 2002 | 36.30 | 7.26 | 4.72 | 132.60 | 17.24 | 9.28  | 102.30 | 13.30 | 7.16 | 1002.40 | 250.60 | 125.30 |
| 2003 | 35.20 | 7.04 | 4.58 | 88.30  | 11.48 | 6.18  | 126.00 | 16.38 | 8.82 | 1217.70 | 304.43 | 152.21 |
| 2004 | 35.00 | 7.00 | 4.55 | 89.00  | 11.57 | 6.23  | 126.00 | 16.38 | 8.82 | 1205.00 | 301.25 | 150.63 |
| 2005 | 28.50 | 5.70 | 3.71 | 77.10  | 10.02 | 5.40  | 118.00 | 15.34 | 8.26 | 1023.50 | 255.88 | 127.94 |
| 2006 | 28.50 | 5.70 | 3.71 | 58.20  | 7.57  | 4.07  | 113.20 | 14.72 | 7.92 | 1152.60 | 288.15 | 144.08 |
| 2007 | 19.30 | 3.86 | 2.51 | 50.00  | 6.50  | 3.50  | 110.80 | 14.40 | 7.76 | 1144.00 | 286.00 | 143.00 |
| 2008 | 13.40 | 2.68 | 1.74 | 34.80  | 4.52  | 2.44  | 110.80 | 14.40 | 7.76 | 1085.00 | 271.25 | 135.63 |
| 2009 | 9.30  | 1.86 | 1.21 | 35.40  | 4.60  | 2.48  | 110.80 | 14.40 | 7.76 | 1021.80 | 255.45 | 127.73 |
| 2010 | 0.00  | 0.00 | 0.00 | 35.20  | 4.58  | 2.46  | 112.40 | 14.61 | 7.87 | 1042.00 | 260.50 | 130.25 |

## 감사의 글

20대의 시작을 대학교에서 시작하여 어느덧 벌써 20대의 마지막을 대학교에서 마무리하니 대학교에서 보낸 20대의 추억들이 되새겨지며 감회가 새롭습니다. 논문을 마무리하면서 지금까지 큰 어려움 없이 이 자리에 있을 수 있게 해주신 주변에서 많은 도움을 주시고 응원과 격려를 해주신 분들께 이 자리를 통하여 감사의 마음을 전합니다.

학부생활부터 관심을 주시고 부족한 저를 대학원까지 이끌어 주신 지도교수님 이석모 교수님 늘 감사하고 주시는 사랑만큼 따라가지 못하는 것 같아서 죄송스러운 마음뿐입니다. 앞으로 좀 더 멋진 모습으로 발전할 수 있도록 노력하겠습니다. 그리고 학부시절부터 많은 조언과 도움을 주시고 부족한 논문을 꼼꼼하게 체크해주신 정용현교수님 감사합니다. 세미나수업과 논문심사 때 잘못된 표현을 설명해주신 김동명 교수님, 위트있는 농담과 재미나게 수업을 해주신 최창근 교수님, 미국에 갔다 오셔서 대학원 수업은 듣지 못했지만 학부시절부터 전공지식을 가르쳐주신 강대석 교수님과 지금은 미국에 계신 성기준 교수님께 항상 감사하고 있습니다.

그리고 항상 의지되고 격려를 해준 우리 하천 및 해양생태공학연구실의 모든 실원분들께 감사하는 마음을 표현합니다. 먼저 학부때부터 지켜봐주시고 가끔은 채찍과 당근으로 관리해주신 연구실의 멘토! 영윤형님, 아무것도 모르던 저를 많이 알려주시고 타일러주시고 늘 감사하고 더욱더 많이 배울 수 있도록 노력하겠습니다. 지난해의 멘붕과 밤샘의 추억은 잊지 않겠습니다. 꼭 성공합시다!!ㅋ 항상 격려와 도움을 많이 주시는 봉균형님, 형님덕분에 힘이 많이 났습니다. 바쁘시지만 오실 때 마다 항상 괜찮다고 잘할 수 있다고 조언해주신 김진만 박사님, 임정혁 박사님! 자주 뵙진 못하지만 가끔씩 실험

실을 들러 앞으로 배워야 할 것들을 많이 알려주신 문보형님, 광섭형님, 종명형님, 혜옥선배, 혜현선배, 직영형님 모두모두 감사하며 실장으로서 매번 미리미리 연락도 못드리고 준비도 많이 미흡하지만 매번 연락드릴 때 마다 반갑게 맞이 해주신 김영진 국장님, 손지호 박사님, 최영근 박사님, 김진이 박사님, 수웅선배, 용수형님 그리고 후배 효선이, 주연이, 언급은 하지 못했지만 연구실 선후배님 모두들 늘 미안한 마음이고 감사했습니다.

벌써 알게 된지 10년이나 된 지긋지긋 할 만한 내동기 동주! 덕분에 대학원 납치도 되어보고 알지 못하던 새로운 세계로 인도해줘서 고맙다. 만약 니가 없었으면 많이 힘들었겠지? ㅋ실장도 뭐 걱정은 되지 않네.. 메기랑 함께 나는 하지 못했던 즐거운 연구실을 이끌어 나갈 거라고 믿어 의심치 않는다.

헤민누나 무뚝뚝해서 살갑게 대하지 못해서 미안하고 졸업준비 잘 하시기를, 그리고 이제 곧 학부에서 대학원생이 될 메기 용현이, 행님 잔소리와 구박을 견뎌내느라고 고생이 많았다. 많은 발전을 하길 바라고....니도 이제 1년 반 남았다!!+\_+b, 메기와 콤보 앞잡이 현용이 비록 지금 수과원에 취업해서 자주 볼 수는 없지만 항상 건강하고 열심히 공부하길....그리고 졸지에 소개 잘못 받아서 실험실에 납치당한(?) 현재 막내 현진이, 데리고 와서 많이 못챙겨줘서 미안하지만 의외로 많이 적응하고 생활해서 다행이네! 더욱더 멋진 사람이 되기를... 그리고 best friend Puji !! 한국어 잘하니깐 영어 멘트따윈 없어요!!ㅋㅋㅋ 푸지덕에 연구실생활 즐거웠어요. 멋진 박사가 되어서 인도네시아 정복하고 꼭 연락 주기를....ㅋㅋㅋ, 울 어머니보다 더 많이 챙겨주시는 김영옥쌤! 늘 감사합니다. 남은 대학원생활 잘 하실거라고 믿습니다. 그리고 영옥쌤과 함께 이제 1년 남은 진희누나 파이팅입니다!! 비록 졸업은 같이 못하지만 흥가!, 민기야 한학기만 힘내면 된다! 파이팅! 졸업동기인 유영이와 우성이, 모두들 수고했어잉

복학때 부터 많은 도움 받은 지금은 조교쌤 석지, 고맙고~ 자주 보자잉~

용민형님 꼭 멋지게 박사학위 따시길 기원합니다! 같이 대학원 생활한 규진형님, 덕분에 재미나게 생활 할 수 있었습니다 ^^ 권박사님 많이 친해질수 있는 기회가 적어서 아쉽습니다... ㅠㅠ, 재호는 남은기간동안 논문 잘쓰고! 민수쌤!! 언제나 파이팅이웃\*^^\*. 대규형님 항상 가정에 좋은 일만 생기기를 기원합니다~ 한번 동기는 영원한 동기 이뻐, 한개! 낙동강 프리덤!! 특별했던 첫 후배인 광주서 열심히 박사를 위해 공부하는 헨지, 지금은 학원가의 카리스마 진주, 상승이, 선덕이, 대학원생보다 더 학교에 오래 있는 청이..그리고 대학원 생활을 하게 될 수민이 재미나게 생활하기를...

항상 맛있는 걸 사주시고 격려와 용기를 주시는 이정숙매니저님, 사...사...아니 감사합니다. 해해...대학원 생활동안 영혼의 안식처이자 10년만에 처음 단골집이 생긴 엔돌핀 팩토리인 황제쟁반짜장 맛은편의 心!! 형진이 형님 매번 맛있는 음식!! 써비쓰!! 감사합니다~

지금은 50대 기업을 다니며 한때 백반에 죽고 백반에 살던 연예인이 되고 싶었던 내 군대동기 장호야....힘든 순간에 근처에 있어서 든든했다!! 그리고 열심히 공부하는 똥, 성공하자!! 민석이, 순호, 선호, 원송이 현규 모두 이제 한번 모여야지? 그리고 병상에 누워있는 양가...기적처럼 꼭 쾌차하길 빕니다.

동천고 치킨으로 똥똥 똥똥 영호, 용준이, 한신이, 진우 모두 건강하기를...

항상 티격태격이지만 열심히 하고자 하는 일을 하고 있는 동생 유나, 언제나 파이팅이다! 그리고 진급 축하축하!! 마지막으로 늘 감사한 마음을 표현하지 못했지만 지금껏 피곤하다고 짜증만 냈지만 언제나 따뜻하게 맞이해 주시는 아빠, 엄마! 사랑하고 더 열심히 하는 아들이 되겠습니다.

이렇게 감사의 글을 적고 있으니 많은 사람들에게 응원과 격려를 받은 것 같습니다. 경황이 없어 미처 적지 못한 모든 분께 감사합니다.