

최 중
연구보고서

농어촌지역 지하수자원의 오염에측도 작성기법에 관한 연구

**Regional assessment and mapping of groundwater
vulnerability to contamination for aquifers in Korea**

연 구 기 관
농 업 기 반 공 사

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “농어촌지역 지하수자원의 오염예측도 작성기법에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다

2000 년 10 월 일

주관연구기관명 : 농업기반공사 농어촌연구원
총괄연구책임자 : 농어촌연구원 이 기 철
선임연구책임자 : 농어촌연구원 정 형 재
연 구 원 : 농어촌연구원 김 경 만
연 구 원 : 농어촌연구원 송 성 호
연 구 원 : 농어촌연구원 김 정 희
연 구 원 : 농어촌연구원 이 주 영
연 구 원 : 농어촌연구원 배 광 옥
보 조 원 : 농어촌연구원 이 윤 경

위탁연구기관명 : 연세대학교 지하수토양환경연구소
위탁연구책임자 : 지구시스템과학과 우 남 칠
선임연구책임자 : 지구시스템과학과 원 중 선
연 구 원 : 지구시스템과학과 문 상 기
연 구 원 : 지구시스템과학과 조 시 범
연 구 원 : 지구시스템과학과 유 성 열

요 약 문

I. 제 목 : 농어촌지역 지하수자원의 오염예측도 작성기법에 관한 연구

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구개발의 목적은 지하수 부존 특성을 포함하여 수리지질학적으로 대수층의 오염에 대한 상대적인 취약성을 정량적으로 제시하는 가칭 『지하수 오염예측도』 작성기법에 대한 기준을 제시함으로써, 농어촌지역에 분포 또는 건설 예정인 각종 잠재오염원들의 입지선정 시 기준자료로 활용토록 하는 것이다.

지하수는 상수도 보급율이 미흡한 농어촌지역 주민이 생활용수로 이용하고 있으며 국가 자원으로서의 가치가 점차 증대 되고있다. 지하수는 산출 특성 상 무제한 개발 이용할 수 있는 자원이 아니고 수질과 수량을 보전·관리하면서 적정 채수량 범위 내에서 이용할 때만 영구적인 자원으로 활용이 가능하다. 또한편 일단 오염되고 나면 대수층 수질복원에 막대한 예산과 시간, 기술이 소요되기 때문에 오염 후에 정화사업을 추진하기 보다도 예방대책을 적극 추진하는 것이 현명한 정책이라 할 수 있다. 지하수 오염예방은 주민 개개인의 보호의식도 중요하지만 경제개발 정책 추진시 사전 오염 예방대책 수립 등 지역 전체적인 보호정책으로 추진해야 하기 때문에 정부차원에서 관리되어야 한다.

현재 일부 농어촌지역은 이미 지하수 오염이 진행되고 있음에도 그 정확한 현황파악 조차 어려운 실정으로서, 기오염지구에 대한 시급한 오염확산 방지조치 및 정화처리사업 추진과 적극적인 오염예방책이 있어야만 생활용수로 사용하는 국민의 건강보호와 복지정책을 추진한다 할 수 있다.

본 연구는 이러한 차원에서 농어촌지역의 지역별 잠재오염원 분포현황 및 수질오염현황을 체계적으로 관리할 수 있는 지하수 오염예측도 도면작성 기법을 제시함으로써 수질 보호 정책 추진시 판단자료로 활용코자 한다.

III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 우리나라 수리지질학적 특성에 맞는 지하수 오염예측도 작성 방안을 정립하는 것을 목표로, 1차적인 연구목표를 지하수 오염예측도 작성으로 설정하여 3년 간에 걸쳐 관련 자료 수집 및 대수층 조건이 상이한 4개 시범지구에 대한 현장조사를 실시하였다. 조사결과를 기초로 지하수 오염예측도에 대한 정의를 지하수 오염취약성과와 잠재오염원 분포현황도를 중첩시킨 도면으로 정하고, 각 도면에 대한 개별적인 연구 및 관련 조사자료를 검토하였다.

지하수 오염취약성도는 기존 DRASTIC 기법의 기준인자 및 인자별 가중치는 현행 기준을 유지하지만, 각 해당인자별로 선구조 밀도도, 산악지대의 고도별 지하수위 추정 기준 및 토지이용에 따른 영향 등을 포함시켜 해당인자별 지수 및 도면 작성 시 색도 별 기준을 새롭게 제시하였고, 잠재오염원 분포현황도는 지하수와 관련된 잠재오염원의 종류에 따라 해당위치에 오염발생 부하량, 오염원 처리형태 및 관리상태를 표준 등급화하여 도면에 나타낼 수 있도록 하였고, 특히 오염지수라는 개념을 설정하여 기존 수질분야에서 사용하는 오염부하량과 더불어 현재의 관리상태를 증점적으로 반영하였다.

연구 목표	연구 내용
1. 지하수 오염예측도 작성 방안 정립 및 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 개념 정립 (지하수 관련 오염정책수립을 위한 기초자료) • 지하수 오염취약성과와 잠재오염원 분포현황도를 중첩시킨 도면으로 정의
2. 지하수 오염취약성도 작성 방안 정립 및 제시	<ul style="list-style-type: none"> • DRASTIC 기법에 대한 국내외 연구자료 수집 및 검토 • 산악지대의 고도별 지하수위 추정 기준 제시 • 선구조 분포밀도 값 고려 • 토지이용에 따른 영향 고려 • 우리나라의 적용 가능한 기준을 정립
3. 잠재오염원 분포현황도 작성 방안 정립 및 제시	<ul style="list-style-type: none"> • 오염발생 부하량, 오염원 처리형태 및 관리상태 등의 표준 등급화 • 오염지수 개념 설정 (오염부하별 가중치×관리상태별 등급) • 잠재오염원 현장조사 방법 제시

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

본 연구의 결과를 항목별로 요약하면 다음과 같다.

가. 가칭 『지하수 오염예측도』는 지하수 관련 오염정책수립을 위한 기초 자료의 개념으로 한정하며, 기존의 지하수 오염취약성과 잠재오염원 분포현황도를 중첩시킨 도면으로 명명할 것을 제안하였다.

나. 효과적인 지하수 오염취약성도 작성을 위하여 본 연구에서는 우리나라의 수리지질학적 특성을 대표할 수 있는 4개 시범지구에 대한 현장조사를 실시하였고, 각 지구별로 DRASTIC 기법 및 연구결과 제시된 기법을 적용한 도면을 작성하여 상호 비교·검토하였다.

다. 지하수 오염취약성도에 작성 기준은 DRASTIC 기법의 기준인자 및 인자별 가중치는 현행 기준을 유지하지만, 각 해당인자별로 선구조 밀도도, 산악지대의 고도별 지하수위 추정 기준 및 토지이용에 따른 영향 등을 포함시켜 해당인자별 지수 및 도면 작성 시 색도 별 기준을 새롭게 제시하였다.

라. 지하수 오염취약성과 무주지구에 대한 지하수 오염현황도를 비교한 결과 상관성이 높음을 확인하였다.

마. 잠재오염원 분포현황도는 지하수와 관련된 잠재오염원의 종류에 따라 해당위치에 오염발생 부하량, 오염원 처리형태 및 관리상태를 표준 등급화하여 도면에 나타낼 수 있고, 특히 오염지수라는 개념을 설정하여 기존 수질분야에서 사용하는 오염부하량과 더불어 현재의 관리상태를 중점적으로 반영하였다.

2. 활용방안

가. 본 연구결과를 농어촌지역 지하수 오염예측도 작성기준으로 확정토록 하고, 제시된 기준에 따라 우리나라 전 지역에 대한 오염예측도를 작성하도록 한다.

나. 작성된 지하수 오염예측도는 농어촌지역 주민들이 접할 수 있도록 제도화하여, 향후 일반인들에게 지하수 오염에 대한 이해 및 지하수 보전 관리 개념을 정립시키도록 한다.

다. 지하수 오염예측도는 농어촌지역 개발관련 정책 수립 시 기초자료로 이용이 가능하며, 잠재적인 오염관련 시설물의 입지선정에 대한 타당성 검토자료로 활용토록 한다.

SUMMARY

I. Title

Regional assessment and mapping of groundwater vulnerability to contamination for aquifers in Korea

II. Objectives and Scope

The purpose of this study is to create a systematic methodology that mapping the Prediction Map of Groundwater Pollution of any hydrological setting to be systematically evaluated in the Korea.

This research project has been studied for three years from the year of 1998 by Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation and the Yonsei University as a one of the research work granted by the Agricultural Research Promotion Center under the Ministry of Agriculture.

National reliance on groundwater has increased dramatically over the past 20 years. And groundwater is clearly regarded to be one of our nations most valuable resources. Many of residents in rural area in Korea use groundwater as their drinking water source. Some of them uses it even they dont recognize weather it has contaminated.

The object of the Prediction Map of Groundwater Pollution is to identify areas where special attention or protection efforts are warranted. For example, the map might be used as a part of a strategy to identify areas where either additional or less stringent protection measures during siting new waste landfill. Using the map optimum use of the nations land and water resources can be assured and the threat pollution poses to the welfare for the rural residents in Korea.

The prediction map of groundwater pollution in this report means that superposition map of groundwater vulnerability map and identification map of pollution potential. The idea of a groundwater vulnerability mapping system is not new. Various system to evaluate groundwater pollution potential were developed to address site selection for waste disposal facilities such as sanitary landfills or liquid waste ponds by developed

countries which techniques are oriented into their aquifer systems. Some of previous researcher in Korea already pointed out that the existing system of foreign country are not suitable to adapt directly in Korea and, needed to be modify suitable for our aquifer system. Therefore, the objectives of this study is to create a systematic methodology that mapping the Prediction Map of Groundwater Pollution of any hydrological setting to be systematically evaluated in the Korea. It is obvious that the mapping system should be standardized in nationwide since the purpose of the map is not groundwater research study but to assist evaluation of groundwater pollution and the users of the map could be not only hydro-geologist but also administrator or planner in the regional governments. In order to assist users, who may have a limited knowledge of groundwater hydrology, the entire standardized system for evaluating groundwater pollution and potential pollutants in this report has been basically developed within the framework of an existing rating system.

III. Contents of the study

Predicting system for future groundwater pollution has two major portion: Evaluation aquifer characteristics and pollutants systematically (1) Delineation of Groundwater Vulnerability, and (2) Identification of Potential Contamination Sources. There is no argument that the best strategy for groundwater quality control is not the remediation after, but the protection before contamination. Followings are the contents of this research.

A. GROUND WATER VULNERABILITY MAPPING

- Reviews of existing techniques
- Factors of Ground Water Vulnerability Mapping
- Discrepancy in applying DRASTIC Index Map into aquifer in Korea
- Data Creating for Mountainous Area When it has No Data
- Case study for 4 sites
- Establishing Modified Ground Water Vulnerability Map

B. GROUND WATER CONTAMINANTS MAP

- Groundwater Contamination
- Surface water Contamination
- Soil Contamination
- Water Resources Contaminants Map

C. POTENTIAL CONTAMINANTS SOURCES MAP

- Pollutants Producing Rate and Rating System for Various Type of Potential Pollutants
- Regulatory Level of Water Quality by Water Quality Control Law
- Standardized Weighting System of Pollutants Producing
- Standardized Grading System for Pollutants Management Condition
- Establishing Pollutants Index and Rating System

D. PREDICTION MAP OF GROUNDWATER POLLUTION

IV. Conclusion

Standardized mapping technique to predict groundwater pollution has developed which is suitable for aquifer characteristics in Korea and easy to evaluate vulnerability systematically. However, the effect of this study can be maximized only when the future users supported the technique and utilized in various field as one of the groundwater protection skills.

This Prediction Map of Groundwater Pollution has been create to assist planners, managers and administrators in the task of evaluating the site for the new pollutants such as landfills, live-stock farm, industrial area. The map also may be used for preventative purposes through the prioritization of areas where groundwater protection is critical. The map may help delineate area where livestock farm may pose a greater threat to groundwater quality. It can be also employed in the evaluation of land use activities with respect to the development and assessment of the economic impacts of waste drain or disposal costs in highly vulnerable areas.

CONTENTS

Chapter 1 INTRODUCTION

Section 1 Background

Section 2 Purpose and Scope

1. Ground Water Vulnerability Mapping
2. Potential Contaminants Sources Mapping

Section 3 Contents of Work

1. 1st period : Analyzing Similar Methods and Applying to Study Area
2. 2nd period : Selecting of Site and Investigation of Aquifer
3. 3rd period : Establishing Criterion for Aquifer characteristics in Korea and Applying

Chapter 2 Prediction Map of Ground Water Pollution

Section 1 Summary

1. Prediction Map of Groundwater Pollution
2. Purpose
3. Methodology
4. Application
5. User

Section 2 Necessity for Standardized Methods nationwide

Chapter 3 GROUND WATER VULNERABILITY MAPPING

Section 1 Summary

1. Definition of Ground Water Vulnerability and Aquifer Sensitiveness (US EPA)

Section 2 Ground Water Vulnerability Map

1. Aquifer Sensitiveness
2. Transport of Pollution Fate in Ground Water
3. Ground Water Vulnerability
4. Various Methods of Vulnerability Map and Critical Factors
5. International Standards in Ground Water Vulnerability Mapping
6. Development of Ground Water Vulnerability Concept
7. Application of Ground Water Vulnerability Map - Using DRASTIC Index Map

Section 3 DRASTIC Index Map

1. DRASTIC Index Map
2. Factors of Ground Water Vulnerability Mapping - Using DRASTIC Index Map
3. Discrepancy in Applying DRASTIC Index Map into Aquifer in Korea

Section 4 Factors of Existing DRASTIC Index Map

1. Depth to Water (D)
2. Net Recharge (R)
3. Aquifer Media (A)
4. Soil Media (S)
5. Topography (T)
6. Impact of the Vadose Zone Media (I)
7. Hydraulic Conductivity (C)
8. Review for Application of 7 Factors into Aquifer in Korea

Section 5. Data Creating for Mountainous Area When it has No Data

1. Creating Depth of Ground Water Table for Mountainous Area When it has No Data
2. Creating Depth of Hydraulic Conductivity for Mountainous Area When it has No Data

Chapter 4 OVERVIEW of CASE STUDIES for GROUNDWATER VULNERABILITY MAP

Section 1 Sites Selection and Field Investigation for Case Study

1. Sites Selection
2. Field Investigation
3. Applicability of existing Standards and Modification

Chapter 5 Modified Ground Water Vulnerability Map

Section 1 Summary

Section 2 Modified Ground Water Vulnerability Map

1. Depth to Water (D)
2. Net Recharge (R)
3. Aquifer Media (A)
4. Soil Media (S)
5. Impact of the Vadose Zone Media (I)
6. Hydraulic Conductivity (C)
7. Modified Ground Water Vulnerability Map

Chapter 6 CRITERION of GROUND WATER VULNERABILITY MAPPING

Section 1 Summary

Section 2 Purpose of Ground Water Vulnerability Mapping

1. Purpose
2. Scope of Application
3. Application

Section 3 Criterion of Ground Water Vulnerability Mapping in Our Country

1. Basic Units
2. Vulnerability Units
3. Minimum Field Studies
4. Criterion of Ground Water Vulnerability Mapping in Our Country
5. Detail Standards of Mapping
6. Ground Water Vulnerability Map in Cheju Island

Chapter 7 GROUND WATER CONTAMINANTS MAP

Section 1 Summary

Section 2 Previous Ground Water Contaminants Map

Section 3 Ground Water Contaminants Map

1. Purpose
2. Methods

Section 4 Results of Case Study

1. Ground Water Contaminants of Seosan Area
2. Ground Water Contaminants Map of Muju Area
3. Surface Water Contaminants Map of Muju Area
4. Soil Contaminants Map of Muju Area
5. Water Resources Contaminants Map

Chapter 8 Potential Contaminants Sources Map

Section 1 Potential Contaminants Sources Map

1. Purpose
2. Methods

Section 2 Pollutants Producing Rate and Rating System for Various Type of Potential Pollutants

1. Regulatory Level of Water Quality by Water Quality Control Law
2. Standardized Weighting System of Pollutants Producing

- 3. Standardized Grading System for Pollutants Management Condition
 - 4. Establishing Pollutants Index and Rating System
- Section 3 Potential Contaminants Sources Map of Study Area
- 1. Study Area
 - 2. Field Investigation
- Section 4 Prediction Map of Groundwater Pollution

Chapter 9 Conclusion

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구배경	3
제 2 절 연구개발의 목적 및 중요성	6
1. 지하수 오염취약성도 작성분야	6
2. 잠재오염원 분포현황도 작성분야	7
제 3 절 연구내용 및 범위	8
1. 1 차 년도 : 기존 유사기법 검토 및 시범지구 적용	8
2. 2 차 년도 : 시범지구 선정 및 대수층 조사	8
3. 3 차 년도 : 우리나라 조건에 맞는 기준 정립 및 적용	9
제 2 장 지하수 오염예측도	11
제 1 절 개 요	13
1. 지하수 오염예측도	13
2. 작성목적	14
3. 작성방법	15
4. 세부 활용 범위	15
5. 활용 예상자	16
제 2 절 지하수 오염예측도 작성 기법 통일안 설정의 필요성	17
제 3 장 지하수 오염취약성도 작성 분야	19
제 1 절 개 요	21
1. 대수층 민감성 및 오염취약성 정의 (미국 EPA)	21
제 2 절 지하수 오염취약성	24
1. 대수층 민감성	25
2. 지하수 오염물질 거동작용	25

3. 지하수 오염취약성	26
4. 다양한 취약성도 분석기법 및 분석 대상 주요인자	26
5. 국제 “지하수 오염취약성도” 작성 기준 설정	42
6. 지하수 오염취약성 개념의 발전과정	43
7. DRASTIC 기법에 의한 오염취약성도의 적용사례 및 활용	52
제 3 절 DRASTIC 기법	54
1. DRASTIC 기법	54
2. DRASTIC 기법에 의한 지하수 오염취약성도 작성 진단항목	55
3. DRASTIC 기법을 그대로 국내 적용시의 문제점	56
제 4 절 기존 DRASTIC 기법 세부 항목별 검토	60
1. 지하수위 (D)	60
2. 함양율(R)	63
3. 대수층 매질특성 (A)	69
4. 지표토양 구성물질 (S)	74
5. 지형 경사 (T)	79
6. 불포화대 매질영향 (I)	81
7. 대수층 수리 전도도 (C)	88
제 5 절 산악지역 기존자료 없는 인자 대체 방안	92
1. 산악지역 지하수위 대체 방안	92
2. 산악지역 수리전도도 대체 방안	94
제 4 장 시범조사 및 오염취약성도 작성	97
제 1 절 시범지구 선정 및 현장조사	99
1. 시범지구 선정	99
2. 현장조사	101
3. 지구별 조사내역과 기존 오염취약성도 기준	102

제 5 장 수정 오염취약성도 기준 검토	165
제 1 절 개 요	165
제 2 절 항목별 기준 검토	167
1. 지하수위 (D)	168
2. 지하수 함양량 (R)	171
3. 대수층 구성물질 (A)	174
4. 지표토양 구성물질 (S)	174
5. 불포화대 영향 (I)	190
6. 대수층 수리전도도	201
7. 오염취약성도	203
제 6 장 지하수 오염취약성도 작성기준	207
제 1 절 개 요	209
제 2 절 지하수 오염취약성도 작성 목적	209
1. 작성목적	209
2. 활용범위	209
3. 활용 예상자	211
제 3 절 우리나라 지하수 오염취약성도 작성기준	211
1. 기본단위	211
2. 취약성 구분 단위	212
3. 최소한의 현장조사	212
4. 우리나라 지하수 오염취약성도 작성 기준	212
5. 우리나라 오염취약성도 작성 항목별 세부 기준	214
6. 제주 지하수의 오염취약성도	222
제 7 장 지하수 오염현황도	225
제 1 절 개 요	227
제 2 절 기존의 지하수 오염현황도	228

제 3 절 지하수 오염현황도	228
1. 작성목적	228
2. 작성방법	228
제 4 절 현장조사	236
1. 서산지구 지하수 수질오염 현황	236
2. 무주지구 지하수 수질오염 현황	238
3. 무주군 지표수 오염도	243
4. 무주군 토양오염도	250
5. 수자원 오염현황도	253
제 8 장 잠재오염원 분포현황도	255
제 1 절 잠재오염원 분포현황도	257
1. 작성목적	257
2. 작성방법	258
제 2 절 오염원별 발생부하량 및 가중치	262
1. 수질환경보전법에 의한 수질규제기준	262
2. 오염원별 발생 부하량 가중치 설정	264
3. 오염물질 관리상태 등급 설정	267
4. 오염지수 도면표시 및 판정기준	273
제 3 절 시범지구 잠재오염원 분포현황도	274
1. 시범지구	274
2. 조사내역	274
3. 잠재오염원 분포현황도 작성	286
제 4 절 지하수 오염예측도	287
제 9 장 결 론	289

표 목 차

〈표 3-1〉 대수층 민감성과 지하수 취약성의 용어 정의	22
〈표 3-2〉 대수층 민감성 평가방법의 개관	33
〈표 3-3〉 지하수의 고유 취약성 평가를 위한 주요 방법들 (Civita, 1993)	36
〈표 3-4〉 지하수 민감성 관련 주요 매질인자에 대한 속성들 (Vrba 수정, 1991) ..	41
〈표 3-5〉 지하수 민감성 관련 보조 매질인자에 대한 속성들 (Vrba 수정, 1991) ..	42
〈표 3-6〉 세계에서 발간된 지하수 오염취약성 지도의 목록	49
〈표 3-7〉 대수층 민감성과 지하수 취약성에 필요한 자료 구축	57
〈표 3-8〉 지하수위의 등급 기준	61
〈표 3-9〉 지하수함양율의 등급 기준	64
〈표 3-10〉 대수층 매질의 등급 기준	70
〈표 3-11〉 토양 매질의 등급 기준	75
〈표 3-12〉 지형경사의 등급 기준	80
〈표 3-13〉 불포화대 매질의 등급 기준	81
〈표 3-14〉 수리전도도의 등급 기준	89
〈표 3-15〉 DRASTIC의 7가지 인자 종합	91
〈표 4-1〉 국내 기존조사와 자료취득 방법 비교	100
〈표 4-2〉 조사량 총괄표	102
〈표 4-3〉 초정·미원지구 관정현황 (단위 : 개소, 톤/년)	105
〈표 4-4〉 초정·미원지구 용도별, 규모별 관정 현황 (단위:개소)	105
〈표 4-5〉 초정지구 암반 및 소형관정 시설현황 (단위:개소, 톤/년)	106
〈표 4-6〉 초정지구 지하수위 실측자료	107
〈표 4-7〉 미원지구 지하수위 실측자료	110
〈표 4-8〉 월별 강수량 (청주기상관측소)(단위 : mm)	113
〈표 4-9〉 토양의 성질 및 종류에 따른 토양형의 분류	117

<표 4-10> 지구별 토양형 분류 및 분포 면적	118
<표 4-11> 초정지구에 대한 토지이용별 토양형 분포 면적(단위 : m^2)	118
<표 4-12> 미원지구에 대한 토지이용별 토양형 분포 면적(단위 : m^2)	119
<표 4-13> 초정지구의 SCS-CN값(면적단위 : km^2)	119
<표 4-14> 농경지역 및 삼림지역의 토양-피복형별 유출곡선지수, CN (AMC-II, $I_a=0.2S$ 일 때; 윤용남, 1998)	120
<표 4-15> 미원지구의 SCS-CN값(면적단위 : km^2)	121
<표 4-16> 선행토양함수조건의 분류 (윤용남, 1998)	121
<표 4-17> 조사지구에서 CN값에 대한 함양률 변화	123
<표 4-18> SCS-CN 방법으로 구한 조사지구의 함양률	124
<표 4-19> 조사지역 비포화대 매질의 분류	127
<표 4-20> 대수층시험(Slug 시험) 분석 결과	129
<표 4-21> 지하수위의 깊이 실측 자료	133
<표 4-22> 대수층의 매질에 관한 자료 및 면적	139
<표 4-23> 지질분류에 따른 대수층의 매질, 불포화대와 수리전도도 등급	141
<표 4-24> 무주군 중대형 관정 구경별 용도별 개발 현황	151
<표 4-25> 무주군 소형 지하수시설 현황	152
<표 4-26> 지하수위 측정자료 (TOC : 케이싱 상단부터의 깊이)	153
<표 4-27> 월별 강수량 (금산지방 관측소)(단위 : mm)	155
<표 5-1> Ring Permeameter로 측정한 토양별 토지이용별 침출율	178
<표 5-2> Guelph Permeameter로 실측한 토양별 침출율	182
<표 5-3> 토양별 침출율	188
<표 5-4> 토양별 침출율 실측자료에 의한 등급 산정	189
<표 5-5> 1993년 10월 15일 얻어진 Landsat-5 TM 위성의 통계적 특성	194
<표 5-6> 위성영상 자료의 특성	196
<표 6-1> 우리나라 지하수 오염취약성도 작성기준 (일반지역)	213

<표 6-2> 우리나라 오염취약성도 지수별 도면 작성기준 제시(안)	213
<표 6-3> 지하수위 심도별 등급	215
<표 6-4> 지하수 함양률별 등급	216
<표 6-5> 대수층 매질 등급	217
<표 6-6> 지표토양 구성매질 등급	218
<표 6-7> 지형 경사 등급	219
<표 6-8> 불포화대 영향에 따른 등급	220
<표 6-9> 수리전도도 등급	221
<표 7-1> 지하수 수질오염 현황 기준 지수 산출	229
<표 7-2> 하천수질환경기준	231
<표 7-3> 호소수질환경기준	233
<표 7-4> '99 토양측정망 운영현황	234
<표 7-5> 토양오염 우려기준 및 토양오염 대책기준(단위 : mg/kg)	235
<표 7-6> 서산지구 15개 관정의 지하수 수질오염 현황 진단결과	237
<표 7-7> 무주지구 38개 관정의 지하수수질오염현황 진단결과	238
<표 7-8> 지하수 오염지수별 내역	240
<표 7-9> 소하천 현황	244
<표 7-10> 수질조사 대상	245
<표 7-11> 원당천, 남대천 수질등급	247
<표 7-12> 남대천 유입지천 수질등급	248
<표 7-13> 저수지 수질등급	249
<표 7-14> 상수원수 수질	249
<표 7-15> 먹는물 수질검사결과	250
<표 7-16> 표면적이 높은 대표 토양 통 (단위 : ha)	251
<표 7-17> 채취 토양시료의 화학적 성질	252
<표 7-18> 주요 오염원지점 토양중 중금속 함량 (단위 : mg/kg)	253

<표 8-1> 지하수환경에 악영향을 미치는 각종 잠재 오염원들 (6군33종)	259
<표 8-2> 배출허용기준 적용지역	263
<표 8-3> 배출허용기준 (단위 : mg/l)	263
<표 8-4> 방류수 수질기준 (단위 : mg/l)	264
<표 8-5> 지하수오염예측도 잠재오염원별 오염부하 가중치	265
<표 8-6> 개별 농가 가정하수의 원단위 오염부하량 (약 3인 가족기준)	266
<표 8-7> 오염원별 오염부하량 원단위	267
<표 8-8> 축사의 정화처리 방법별 유출부하 원단위 (g/두·일)	268
<표 8-9> 일반농가 관리상태 등급	269
<표 8-10> 오폐수 방류시설 오염부하 등급 설정	269
<표 8-11> 축산농가 오염부하 등급 설정	271
<표 8-12> 특정오염원 오염부하 등급 설정	272
<표 8-13> 최종 잠재오염원 지수 등급	273
<표 8-14> 오염지수 70인 경우의 각 오염원	273
<표 8-15> 무주군 농가 오수·분뇨발생원 및 수세화율(인구 단위 : 천명) ...	275
<표 8-16> 무주군 오수분뇨 처리시설 현황	277
<표 8-17> 합병정화조 시설현황 조사내역 예	278
<표 8-18> '97년 말 무주군 주요 가축 사육 농가	279
<표 8-19> '98년 말 무주군 주요 가축 사육 농가	279
<표 8-20> 가축사육두수 및 축산 분뇨발생량 (1998, 무주군 통계 연보)	281
<표 8-21> 무주 부남면 축산농가 조사표	281
<표 8-22> 무주군 매립종료 매립지 9개소 중 3개소 (무주군 환경과)	283

그림 목 차

(그림 3-1) 지하수위 심도별 등급	60
(그림 3-2) 지하수함양율의 등급 기준	64
(그림 3-3) 대수층 매질별 등급	70
(그림 3-4) 토양 매질별 등급	75
(그림 3-5) 지형경사별 등급	79
(그림 3-6) 불포화대 매질별 등급	82
(그림 3-7) 수리전도도별 등급	88
(그림 3-8) 기설관정에 해발고도와 자연수위 관계도	93
(그림 4-1) 초정 지구의 표고도	104
(그림 4-2) 초정지구 기설관정 위치도	111
(그림 4-3) 기존기법에 의한 초정·미원지구 지하수위 분포도	112
(그림 4-4) 초정·미원지구 함양률 분포도	114
(그림 4-5) 초정·미원지구 대수층 매질 분포도	115
(그림 4-6) 초정지구 토양도	116
(그림 4-7) 조사지구의 CN과 함양률의 관계	124
(그림 4-8) 기존기법에 의한 초정·미원지구 토양매질 분포도	125
(그림 4-9) 초정지구 지형 모식도	126
(그림 4-10) 기존기법에 의한 초정·미원지구 경사도 분포도	127
(그림 4-11) 기존기법에 의한 초정·미원지구 불포화대 매질 분포도	128
(그림 4-12) 기존기법에 의한 초정·미원지구 수리전도도 분포도	130
(그림 4-13) 기존기법에 의한 초정·미원지구 지하수 오염취약성도	131
(그림 4-14) 서산지구 대수층 구조도	133
(그림 4-15) 기존기법에 의한 서산지구 지하수위 등급도	136
(그림 4-16) 조사지역(충남 서산시 고북면)의 지하수위 3차원도	136

(그림 4-17) 기존기법에 의한 서산지구 지하수 함양량 등급도	137
(그림 4-18) 대수층의 매질 등급도	142
(그림 4-19) 토양의 매질 등급도	143
(그림 4-20) 지형경사의 등급도	144
(그림 4-21) 불포화대의 영향 등급도	146
(그림 4-22) 대수층의 수리전도도 등급도	147
(그림 4-23) 기존기법에 의한 서산지구 지하수 오염취약성도	148
(그림 4-24) 무주지역의 기존방식으로 작성한 지하수위 깊이	154
(그림 4-25) 무주지역의 기존방식으로 작성한 지하수함양 등급	156
(그림 4-26) 무주지역의 기존방식으로 작성한 대수층매질 등급도	157
(그림 4-27) 무주지역의 기존방식으로 작성한 토양매질 등급도	158
(그림 4-28) 무주지역의 기존방식으로 작성한 지형경사 등급도	159
(그림 4-29) 무주지역의 기존방식으로 작성한 불포화대 등급도	160
(그림 4-30) 무주지역의 기존방식으로 작성한 대수층 수리전도도 등급도	161
(그림 4-31) 무주지역의 기존방식으로 작성한 지하수 오염취약성도	162
(그림 5-1) 시설관정에 대한 해발고도와 자연수위 관계도	169
(그림 5-2) 무주지역 기존기법에 의한 지하수위 등급도	170
(그림 5-3) 산악지역 지하수위 대체기법에 의한 지하수위 등급도	171
(그림 5-4) 서산지구에 대한 기존기법의 지하수 함양을 등급도	173
(그림 5-5) 토지이용을 고려한 수정기법에 의한 서산지구 지하수 함양을 등급도	173
(그림 5-6) Ring Permeameter 측정 모식도	175
(그림 5-7) Ring Permeameter로 실측한 토양별 침출율	176
(그림 5-8) Ring Permeameter로 실측한 토양별, 토지이용별 침출율	179
(그림 5-9) Guelph permeameter 모식도	180
(그림 5-10) 토양별 Guelph Permeameter로 산출한 수리전도도 분포	185
(그림 5-11) 토양별 Guelph Permeameter로 실측한 침출율 등급 분포	186

(그림 5-12) 개략토양도의 토양구분	187
(그림 5-13) 기존 토양토 구분에 의한 서산지구 토양매질 등급도	189
(그림 5-14) 침출물 실측자료와 토양도에 의해 보완된 서산지구 토양매질 등급도	190
(그림 5-15) 시범지구 충남 서산시 고북면 주변의 SPOT위성영상	195
(그림 5-16) 서산지구 선구조 밀도도	198
(그림 5-17) 서산지구 선구조 밀도도	199
(그림 5-18) 서산지구 당초기준에 의한 불포화대 매질 특성도	200
(그림 5-19) 서산지구 선구조 밀도를 고려한 불포화대 매질 특성도	201
(그림 5-20) 서산지구 기존기법에 의한 수리전도도 등급도	202
(그림 5-21) 서산지구 수정기법에 의한 수리전도도 등급도	203
(그림 5-22) 4개 시범지구 지하수 오염취약성도	204
(그림 7-1) 무주군 지하수 오염현황도	240
(그림 7-2) 주요 하천 수계도	243
(그림 7-3) 수질조사 위치도	245
(그림 7-4) 남대천 수질(BOD) 오염 map	248
(그림 8-1) 일반농가 잠재오염지수도	276
(그림 8-2) 일반오폐수 방류시설 잠재오염지수도	278
(그림 8-3) 지하수 오염현황지수도	282
(그림 8-4) 계곡으로 누수되는 군 매립장 침출수	283
(그림 8-5) 대차리 매립장 침출수에 의하여 오염된 하천	284
(그림 8-6) 무주리조트 매립장에서 매립 처분되는 슬러지	285
(그림 8-7) 특정오염원 잠재오염지수도	286
(그림 8-8) 지하수 오염현황지수도	286
(그림 8-9) 무주군 오염예측도	289

제 1 장 서 론

여 백

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

본 연구의 목적은 지하수 부존 특성을 포함한 수리지질학적으로 대수층의 오염에 대한 상대적인 취약성을 정량적으로 제시하는 가칭 『지하수 오염예측도』의 작성기법에 대한 기준을 제시함으로써, 농어촌지역에 분포 또는 건설 예정인 각종 잠재오염원들의 입지선정 시 기준자료로 활용토록 하는 것이다.

지하수는 우리나라 청정 지하수자원인 국가 자원으로서의 가치가 중요시 되고 있으며, 특히 상수도 보급율이 미흡한 농어촌지역에서는 생활용수로 이용하고 있다. 지하수는 산출 특성 상 무제한 개발 이용할 수 있는 자원이 아니므로 수질과 수량을 보전·관리하면서 적정한 한도 내에서 이용하는 경우 영구적인 수자원으로 활용할 수 있다. 그러나 지하수는 일단 한번 오염되고 나면 수질복원은 막대한 예산과 시간 및 기술이 필요하기 때문에 오염 이후의 정화추진 보다도 예방대책을 적극 추진하는 것이 현명한 정책이라 할 수 있다. 지하수 오염예방은 주민 개개인의 사고방식도 중요하지만 지역적인 보호가 필요하고 경제개발 정책 추진 등 종합적인 검토가 필요하므로 기본적으로 정부차원에서 관리되어야 한다.

현재 우리나라 대부분의 농어촌지역 지하수는 청정한 수질을 유지하고 있으나 일부 지역은 이미 지하수 오염이 진행되고 있음에도 그 정확한 현황조차 파악이 어려운 실정이다. 현재 지하수 오염현황은 대형관정 위주로 먹는물 수질 기준에 의한 수질분석 결과를 지표로서 관리하고 있으나, 체계적인 관리를 위해서는 지역적인 오염원 분포현황 및 수질오염현황을 파악할 수 있는 도면화 관리가 필수적이다.

1990년대 후반에 들어서면서 농어촌지역은 국가예산, 기술인력 및 관련법

등 지하수 보전정책이 추진되기 시작하였으나, 아직까지도 산업, 경제 개발에 따른 잠재오염원 확산이 보전정책을 앞지르고 있는 추세이다. 특히 소형관정을 생활용수로 이용하고 있는 농어촌지역 주변에 생활오수, 축산폐수, 숙박시설, 쓰레기 매립장, 골프장 및 유원지 등 크고 작은 잠재오염원들이 증가되고 있는 추세이지만 이러한 신규시설물 위치 선정 시 지하수 수질보전차원에서 검토되지 못하고 있어 지하수 오염에 의한 국민 건강이 위협받고 있다.

경제개발과 지하수자원 보호는 서로 상반되는 개념으로 관련정책 수립 시 서로를 조화시키기는 쉽지 않으며, 특히 결정권을 가진 일선 행정관서 담당자에게는 더욱 그러하다. 우리나라에서는 대형 시설물 신축개발 시 환경영향평가 제도를 법제화하여 시행하고 있으나, 지하수분야는 검토가 거의 미약한 현실로 민원이 발생된 이후에 지하수에 관한 별도의 환경영향조사가 시행되는 현실이다. 또한 쓰레기 매립장 및 하수종말 처리장 등 경제 개발에 따라 신규 건설이 불가피한 시설물 위치선정 시 주민의 지역 이기주의로 인하여 지하수 오염에 가장 심각할 수 있는 유역 상류부의 깊은 산 계곡 같은 곳으로 위치가 선정되는 경우가 있어, 현재 주민들의 민원은 피할 수 있을 지 몰라도 장래 우리의 후손이 이용해야 할 지하수자원을 오염시키는 문제를 발생시키고 있다.

선진국에서는 1980년대부터 자치단체 행정관서에서 지하수 오염취약성도 또는 오염가능성도 등의 명칭으로 각 자치지역 별로 지하수 특성에 맞는 오염취약성도를 작성하고, 신규로 설치되는 대형 잠재오염원은 오염위협에 저항력이 큰 지역으로 유도하므로 오염위협에 약한 지역은 지하수 수질보전구역으로 별도 지정·관리하고 있다. 우리나라의 경우는 일부에서 이러한 선진국의 기법을 적용한 사례와 이에 따른 적용 시의 문제점을 제시한 연구논문이 수 편 발표되었으나, 전체적인 방향제시에는 미흡하였다.

지하수 오염예측도는 정밀조사에 의거한 환경영향조사와는 다르며 개괄적인 지하수 부존특성 상 조사별로 오염에 대한 강약을 평가하므로써 신규 오염유발

시설물의 신축을 위한 위치 선정 시 기본적인 타당성 검토자료로 활용하는 도면이다.

본 연구에서는 토지이용계획 수립 단계에서 지하수 오염 예방차원의 타당성 검토를 위한 우리나라 지하수 부존 특성에 적합한 오염예측도 작성기법을 수립코자 하였다. 최소한의 경제적인 조사로 정책결정자료를 제시할 수 있도록 하여 지하수자원보호 정책의 일환으로 활용하고자 한다.

이에 따라 우리나라 지하수 부존특성 상 대표성을 가질 수 있는 시범지구를 선정하여 선진국의 기법을 검토함으로써 우리나라 실정에 맞는 기법을 수립하였다. 본 연구에 따른 결과는 오염예측도 작성기법의 정립 뿐만 아니라 향후 이를 활용하는 과정 또한 매우 중요한 문제이다. 이는 지하수오염예측도의 활용분야를 법으로 명문화하여 추진하면 가장 바람직하지만, 외국의 경우처럼 법으로 명시하지 않더라도 행정부서 담당자들이 신규 오염시설물 개발 신청 및 허가 시 지하수 오염예측도에 의한 검토를 하는 합리적인 정책추진이 더욱 바람직하다 하겠다. 이러한 차원에서 본 연구 추진단계 중 수 차례의 중간평가를 통한 관련전문가의 의견 수렴과정, 관련학회 세미나 발표를 통한 홍보 및 '99년 국무총리실 주관 수질개선기획단 전문가 회의 시 주제발표 등으로 꾸준히 관련 전문가들에게 전파하고자 노력하였으며, 향후에도 지속적인 노력을 계속할 계획이다.

제 2 절 연구개발의 목적 및 중요성

1. 지하수 오염취약성도 작성분야

지하수 오염취약성은 지하수 부존 특성과 관련하여 토양과 지층 구조특성에 의하여 지역별로 오염물질 유입 및 확산에 대한 저항정도를 일정 기준 수치로 표시하는 방법이다. 이는 지하수 수질을 보호하기 위하여 지역별 대수층 특성에 맞는 보호정책을 수립하기 위한 타당성 검토 개념의 기술이라 할 수 있다. 따라서 우리나라 토양 및 대수층 특성에 맞는 기준으로의 분류가 필요하지만, 아직까지 이에 대한 기준이 없기 때문에 기존 외국의 기준을 도입하여 작성하거나 일부 학계에서는 수정 필요성을 제기하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 지하수 오염취약성도 작성기법에 대하여 국제 수리학회에서 검증을 거쳐 권장하는 기법 중 가장 활용도가 높은 DRASTIC 기법을 시범지구 4개 지구에 대하여 적용 오염취약성도를 작성하고, 이러한 결과를 근거로 우리나라 지형, 지질, 대수층 특성에 적합한 항목들을 구분하고 해당 항목에 대한 정밀 검토를 거쳐 기존 기법을 수정 보완코자 하였다. 또한 기존 미국의 기준에 의한 오염취약성도를 비교 검증하여, 우리나라 특성에 맞는 새로운 취약성도 작성기준을 제시하고자 한다.

DRASTIC모델은 7가지 인자 (지하수위 깊이, 순수 충전량, 대수층 매질, 토양 매질, 지형경사율, 불포화대 매질, 대수층의 수리전도도)를 사용하는데, 이들 중 지하수위 깊이 · 순수 충전량 · 불포화대 매질 · 대수층의 수리전도도 등은 기존자료가 부족하여 인자의 중복사용과 부정확한 사용 등의 문제점이 지적되고 있다. 또한 기존의 기준을 근거로 오염취약성도를 작성하는 경우 우리나라의 지형과 지하수 부존 특성을 제대로 반영하지 못하는 것이 현실이다.

따라서 본 연구는 우리나라 농어촌에 맞는 경제적인 지하수 오염취약성도 작성기법을 체계화시켜 국가 시책 반영에 기초자료로 활용하며 정부 주도하여

지하수 보전관리 정책의 기초자료로 활용코자 함에 있다.

2. 잠재오염원 분포현황도 작성분야

잠재오염원 분포현황도는 잠재오염원의 종류와 위치만을 표시하고 있으며, 지금까지 작성과정에 관한 특정한 기준이 전무한 실정이다. 본 연구에서는 잠재오염원을 위치 표시 뿐만 아니라, 지하수 오염위협과 관련된 오폐수 발생량, 개별 처리방법 및 처리시설의 유지관리 상태별로 구분 표시하여 실제 지하수에 대한 위협정도를 표시할 수 있는 기준을 제시하고자 하였다. 따라서 본 연구에서 제시되는 잠재오염원 분포도는 오염원 위치와 오염위협 정도가 표시되어 이를 지하수 오염취약성도와 중첩 분석하면 개괄적인 오염진행 상황과 향후 오염 예측이 가능하여 효율적인 지하수 오염 대책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

제 3 절 연구내용 및 범위

연구 기간 : 1997. 10 ~ 2000. 10 (3년)

1. 1차년도 : 기존 유사기법 검토 및 시범지구 적용
 - 가. 기존 국내·외 연구자료 수집 및 검토
 - 나. 우리나라 농어촌 지하수 부존 특성 검토
 - 다. 기존자료에서의 대수층 특성인자별 적용 여부 검토
 - 라. 오염물질 유동특성 인자별 가중치 분석 모델 수립
 - 마. 원격탐사 기법에 의한 오염조사
 - 바. 시범지구 선정 및 대수층 조사
 - 사. 관련 전문가 의견수렴

2. 2차년도 : 시범지구 선정 및 대수층 조사
 - 가. 지하수 부존특성 파악
 - 나. 지하수 수문분석
 - 다. 대수층 모델 분석
 - 라. 잠재오염원 유동 예측
 - 마. 오염물질 및 미생물 분석
 - 바. 오염인자 검토
 - 사. 인자별 가중치분석
 - 아. 오염예측도 작성
 - 자. D/B 구축 및 GIS 도면화 작업
 - 차. 관련전문가 검증

3. 3차년도 : 우리나라 조건에 맞는 기준 정립 및 적용
- 가. 우리나라의 적용 가능한 기준을 정립
 - 나. 학계 의견수렴 및 검증
 - 다. 농어촌 지하수 오염 관측 모델수립
 - 라. DRASTIC 기법 기준(안) 작성
 - 마. 활용방안 검토

여 백

제 2 장 지하수 오염에측도

여 백

제 2 장 지하수 오염예측도

제 1 절 개 요

상수도 보급율이 낮은 농어촌지역 (읍지역 : 71.5%, 면지역 : 22.8%, '98년 환경부)의 생활용수는 주로 간이상수도, 소형관정, 계곡수 등을 이용하고 있는데, 이 중 간이상수도와 소형관정은 대부분 층적층 지하수를 이용하고, 이러한 소형관정은 체계적인 관리 및 정기적인 수질검사가 시행되지 않고 있다. 최근 지방자치제도의 시행과 더불어 농어촌 지역경제 개발이 적극 추진되며 각종 신규 시설물 인허가권이 자치단체로 이양되면서, 숙박업소, 음식점, 휴양지, 유원지, 축산단지, 공장, 각종 매립장 등 수자원측면에서의 다양한 오염원들이 적절한 환경영향 검토를 받지 않은 채 설립되는 경우가 증가하고 있다. 그러나 한번 오염되면 정화처리에 따르는 비용 및 기간이 막대하게 소요되는 지하수 보전관리 측면에서는 매우 우려할 만한 상황이며, 따라서 본 연구에서는 이러한 신규 시설물 인허가 검토 시 위치 선정을 지하수 오염에 저항력이 강한 지역으로 유도할 수 있도록 지하수 오염 타당성 검토 차원의 분석기법을 제시하고자 하였다.

선진국에서는 오염물질 유발이 예상되는 시설물 신규 허가를 위한 위치 선정 시 기본적으로 지하수 오염취약성도를 검토하고 있으며, 이에 따라 오염유발 가능시설물은 오염취약성이 낮은 곳으로 유도하며, 부득이 취약성이 높은 지역에 설치할 경우는 그만큼 정화처리시설 및 오염물질 관리기준을 엄격하게 적용하고 있다.

1. 지하수 오염예측도

일반적으로 지하수 오염예측도는 현재의 오염 Plume으로 부터 미래의 확산

범위를 예측하기 위하여 오염물질 거동 분석 모델링을 실시하고 그 결과로서 미래에 예측되는 농도분포도를 예상하는 도면을 말한다. 이러한 오염예측도는 지하수 전문가들에게 필요한 내용이라 할 수 있으며 본 연구에서는 일반인이나 비전문가들에게 지하수 문제점을 쉽게 이해시킬 수 있고, 수질보전정책을 홍보할 수 있으며, 지하수 오염정책수립을 위한 자료로서의 오염예측도면에 대한 정의로 범위를 한정하려고 하였다.

본 연구에서 지하수 오염예측도는 시,군 단위 지하수 오염예방 및 환경친화적 개발정책 추진을 위한 타당성 검토자료로서 기존의 지하수오염취약성도와 잠재오염원 분포현황도를 중첩시킨 도면을 지하수 오염예측도라 명명할 것을 제안하였다.

지하수오염예측도 = 지하수오염취약성도 + 잠재오염원 분포현황도 (중첩 도면)	
목 적	지하수 수질을 보전하며 환경친화적인 국토개발 추진을 위한 정책자료를 제공
방 법	최소한의 조사비로 목적인 효과를 얻을 수 있는 도면작성

2. 작성목적

지역경제발전에 필수적으로 따르는 개발관련 신규 시설물 (잠재 오염원)을 되도록 오염확산에 저항력이 강한 지역으로 유도하고, 오염취약지구는 수질보호정책을 강화 추진함으로써 청정한 지하수 자원을 보전, 이용, 관리할 수 있는 정책 판단자료로 활용하기 위하여 시, 군단위 오염취약성도를 작성한다.

- ▶ 국토개발 이용계획 수립단계의 시설물 위치선정 타당성 검토

▶ 지하수 자원 수질 보호 정책 판단

3. 작성방법

지하수 유동에 영향을 미치는 요소와 오염물질 거동에 영향을 미치는 여러 인자들 중 대표성 있는 주요인자들에 대해 가중치와 등급을 주어 표준 점수화 하고 도면으로 작성하여 오염취약지구와 저항력이 큰 지역을 구분한다.

기존 자료를 최대한 활용토록 하고 조사량은 지하수 부존상태, 오염물질 거동특성에 영향을 미치는 인자에 대한 최소한의 경제적인 조사만을 시행한다.

4. 세부 활용 범위

신규 오염 유발시설 인허가시 지하수 보전 타당성 검토시 활용할 수 있다.

가. 오염에 강한 지역

- 각종 오염유발 시설물의 신규 부지로 선정

예) 농공단지, 쓰레기매립장, 축산단지, 공동묘지, 골프장 등 각종 오염유발시설물 신규 위치로 유도

나. 오염취약지구

- 신규 오염시설물 설치 제한
- 소규모 오폐수 정화시설 지원사업 우선 추진
- 지하수 오염조사 및 상, 하수도 설치 우선 추진
- 지하수 수질오염 보전대책을 위한 감시정(관측정) 위치선정
: 잠재오염원 밀집지역 하류부, 오염취약성 경계부
- 오수관, 폐수관 매립시 재질의 선정 기준 자료
: 취약성 낮은 지역과 높은 지역의 보조 처리대책 경제적으로 설계, 잠재오염원 분포지역 오염성분별 각종 지하 매립시설물 재질 설계자료

1) 오염에 취약한 지구로서 이미 상당부분 오염이 진행된 지역

- 오염원을 추적하여 조사하고 오염확산 방지 조치 시행
- 오염지역 정화처리 대책 우선 시행 지구로 관리

2) 현재 오염이 없으나 오염에 취약한 지역은 지하수 수질보전구역으로 설정 관리.

- 상수원 용도의 지하수 개발 적지
- 지하수 보전구역으로 지정관리

예) 오염취약지역 내 토지이용에 대하여는 지하수자원에 대한 잠재오염원으로 규정되는 어떠한 행위와 잠재오염시설의 설치를 제한.

- 지하수오염 취약 지구 내 행위제한(안)
 - : 독성폐기물 처분, 취급시설 설치 금지
 - : 석유 및 유류, 화학제품 저장탱크 설치 금지
 - : 고농도 오염물질 배출업소(공단, 축산단지)설치 금지
 - : 오염물질 유출 사고시 긴급 재해대책 가동

다. 3~5년마다 주기적으로 잠재오염원 및 지하수 이용상태 변화를 수정하고 기존도면과의 비교로 지하수 오염현황 변화를 파악하여 향후 추세 파악 및 오염대책 수립

5. 활용 예상자

- 각 시군 환경과, 상하수도과, 건설과, 지하수과, 위생과 등 잠재오염원 시설물 인허가 관련 및 위치선정 관련 공무원
- 도청 및 중앙정부 관련 공무원
- 지하수 관련 기술자 등

제 2 절 지하수 오염예측도 작성 기법 통일안 설정의 필요성

- 현재 오염취약성과와 잠재오염원 분포현황도는 외국에서 도입된 다양한 기준이 있으나, 표준화된 국내 세부 기준이 없음
- 외국기준은 해당 국가의 지하수 부존특성 및 대수층 특성에 맞추어 설정 되었으므로, 우리나라 지형지질 및 지하수 특성에 부합치 않는 부분이 많고 특히 산악지형 등의 자료가 부족한 우리나라의 경우는 기준설정이 필요하다.
- 통일된 작성기준의 부재는 분석기관마다 서로 다른 기준을 적용함에 따라 일관된 정책판단 기준으로 활용 할 수 없고, 변화되는 요소들을 추가하는 경우에서도 서로 다른 결과를 초래할 수 있다.
- 현재처럼 기준이 단일화되지 못한 경우 그 작성기법을 이해할 수 있는 취약성도 전문가들만이 활용할 수 있으나 본 연구에서 제시하는 단일화된 기법에서는 비전문가일지라도 누구나 쉽게 이해할 수 있도록 최종도면을 단순화시켜 정책 담당자들도 쉽게 활용할 수 있도록 하여 오염예측도의 활용성을 높이고자 한다.

위와 같은 관점에서 최대한 우리나라 각 지역별 특성을 감안 할 수 있고 관련 전문가의 의견을 반영한 우리나라 지하수 부존 특성에 맞는 지하수오염예측도 작성 기준 설정이 절실하다. 본 연구에서는 지하수 오염예측도 작성을 위한 조사공정과 분석기법 및 도면제작 지침을 우리나라 지하수 부존특성에 맞는 국내 통일안을 수립함으로써 지하수 보전정책자료로 활용하고자 한다.

여 백

제 3 장 지하수 오염취약성도 작성 분야

여 백

제 3 장 지하수 오염취약성도 작성 분야

제 1 절 개 요

지하수 오염취약성도란 1987년 국제수리지질학회(IAH) 부다페스트 회의에서 처음 지하수 오염취약성도 작성에 대한 토론이 있었으며, 이로부터 수 차례에 걸쳐 회의를 거쳐 1994년 UNESCO, IAH 공동으로 “지하수 오염취약성도 작성과 활용기준”을 발표하였다. 여기에서 국제적으로 통일된 어떤 한가지 작성기준을 설정하지 않고, 큰 기준과 방향은 제시하되 각 나라별로 대수층 부존 특성에 따라 세부 작성기준을 달리하기로 하였으며 미국에서 제시한 DRASTIC 기법을 위시하여 다수의 여러가지 작성기준이 적절한 기준으로 채택되었다.

우리나라에서의 DRASTIC 기법에 대한 소개로는 '90년대 초부터 일부 학계의 전문가들이 검토하기 시작하였고, 최근에도 많은 전문가들이 학계와 연구소에서 지속적으로 연구 검토하고 있다. 본 연구에서는 미국의 DRASTIC 작성기법을 정밀 검토하고 국내 기존 연구자료 검토와 현장 시범지구 조사 및 분석을 통하여 우리나라 지형 지질 및 지하수 부존특성에 맞는 작성기준을 제시하였다.

1. 대수층 민감성 및 오염취약성 정의 (미국 EPA)

지하수 오염취약성이란 오염물질에 대한 대수층 자체 특성에 의한 민감성과 오염물질 자체 특성을 함께 고려하여 종합적인 대수층의 오염에 대한 취약성 정도를 나타내는 말이다 <표 3-1>.

<표 3-1> 에서 보는바와 같이 지하수오염과 관련한 용어 정의는 여러전문기관과 학자들이 서로 조금씩 다르게 표현하고 있지만 개념은 모두 유사하며 단지 표현만 조금씩 다를 뿐이다.

<표 3-1> 대수층 민감성과 지하수 취약성의 용어 정의

Reference	AQUIFER SENSITIVITY와 유사한 용어와 정의	GROUNDWATER VULNERABILITY와 유사한 용어와 정의
EPA, Office of Programs, 1993 Draft, Page3-1. (Definition presented in this Document)	<p>AQUIFER SENSITIVITY</p> <p>농약관리차원에서 지표 부근에 누출된 농약이 관심지역의 대수층으로 이동할 수 있는 상대적 용이성. 민감성은 수리지질환경의 고유특성에 의한 영향만을 고려할 뿐 농작법 혹은 농약특성은 고려하지 않는다.</p>	<p>GROUND WATER VULNERABILITY</p> <p>농약관리차원에서 대수층 민감성을 포함하여 농작관리법, 농약특성에 의해 주어진 환경하에서 농약이 관심지역의 대수층으로 이동할 수 있는 상대적 용이성. 지하수취약성 방법은 농약, 농작법, 수리지질환경 등의 특성에 의한 영향 모두를 고려한다.</p>
National Research Council, Water Science and Technology Board, Committee on Techniques for Assessing Ground Water Vulnerability, 1993.	<p>INTRINSIC GROUND WATER VULNERABILITY</p> <p>오염에 대한 지하수 취약성 평가라는 관점에서 “오염물질이 상부 대수층위의 어떤 지점에 누출된 후에, 지하수계에서 특정 위치에 도달하려는 상대적 용이성(2쪽).” 이 용어는 특정한 오염물질 자체특성과 거동을 고려하지 않고 대수층 특성으로 분석된 취약성에 관한 것이다.</p>	<p>SPECIFIC GROUND WATER VULNERABILITY</p> <p>지하수 오염에 대한 가능성 평가라는 관점에서 특정 오염물질의 특성, 오염물질 등급 혹은 인간활동의 영향에 의해 “오염물질이 상부 대수층위의 어떤 지점에 누출된 후에, 지하수계에서 특정 위치에 도달하려는 상대적 용이성.”</p>
Pettyjohn et al., 1991, Pages 2-4.	<p>AQUIFER VULNERABILITY</p> <p>대수층의 오염에 대한 취약성을 분석한다는 점에서 “물리적 환경인 지질이 취약성을 조절한다(2-3쪽).” 저투수성 상부퇴적물과 같은 보호매물이 적거나 없는 대수층은 천부 혹은 지표부근의 오염원으로부터 오는 오염물질로 인한 오염에 취약하다.</p>	<p>AQUIFER SENSITIVITY</p> <p>대수층의 오염에 대한 확산 가능성을 분석한다는 점에서 “대수층 민감성과 오염물질 분포에 연관된다(4쪽).” 높은 취약성을 갖고, 많은 거주지와 농경지를 포함하는 대수층이 가장 민감한 것으로 간주된다.</p>

<표 3-1> 대수층 민감성과 지하수 취약성의 용어 정의(계속)

Reference	AQUIFER SENSITIVITY와 유사한 용어와 정의	GROUND WATER VULNERABILITY와 유사한 용어와 정의
U.S. General Accounting Office, 1991, Pages 5-6.	HYDROGEOLOGIC VULNERABILITY 대수층 취약성 평가라는 관점에서 취약성은 단지 토양조직과 지하수위까지의 깊이와 같은 지질학적 요인의 영향을 받는다.	TOTAL VULNERABILITY 취약성 평가라는 관점에서 취약성은 농약사용량, 농약살포 방법, 관정근처에서 생기는 농약의 혼합과 누적 등과 같이 그 지역의 오염확산에 영향을 미치는 농약사용 요인뿐만 아니라, 수리지질학적 요인에 의한 영향을 받는다.
Foster, S.S.D., 1987, Pages 72-73.	AQUIFER POLLUTION VULNERABILITY 지하수 오염에 대한 가능성 평가라는 관점에서 “이 용어는 누출된 오염물질에 의해 영향을 받는 대수층의 민감성을 결정하는 대수층 특성을 표현하는 데 사용된다(73쪽).” 고유라는 용어는 대수층의 물리적 특성을 가르킨다.	GROUND WATER POLLUTION RISK 지하수 오염에 대한 가능성 평가라는 관점에서 “a. 대수층의 자체 취약성과 b. 인간 활동의 의한 지하환경에 누출된 오염물질 분포”사이의 상호관계(72쪽).

(출처 : A Review of Methods for Assessing Aquifer Sensitivity and Ground Water Vulnerability to Pesticide Contamination, USEPA, Office of Water(WH-550), 813-R-93-002)

상기 표에서 공통적인 관점은 지하수오염과 확산에 영향을 주는 요소를

1) 대수층과 관련된 매질특성 => 대수층 오염 민감성 분석

2) 대수층매질 + 오염물질 자체 거동특성 => 지하수 오염 취약성 분석

으로 크게 두가지 범주로 구분하였으며, 우리나라에서도 대수층(토양포함) 자체 특성에 의한 영향만을 분석하는 것을 ‘지하수 오염 민감성’으로, 대수층 매

질 특성에 의한 영향과 오염물질 자체 거동특성에 의한 영향까지를 포함한 경우를 '지하수 오염취약성'이라 하는 것이 바람직할 것이다.

가. 대수층 민감성

- 오염물질의 대수층 유입과정에 대한 상대적인 안정도를 나타낸다.
- 대수층 구성지질의 특성, 지각 구성물질 특성에 함수관계에 있다.
- 지표 오염원으로부터 침출수 또는 농약 등과 같은 오염물질 자체 특성에 의한 변화는 거의 고려하지 않는다.

나. 지하수 오염취약성

- 오염물질의 대수층 유입과정에 대한 상대적인 안정도를 나타낸다.
- 대수층 민감성뿐만 아니라 오염물질 자체의 특성과 지표에서의 농업활동 등 토지이용형태 등 오염물질의 유입 위협에 대한 종합적인 안정성 정도를 규정된 수치 값(지수)으로 표현한다.

제 2 절 지하수 오염취약성

주요 지하수 오염물질, 예를 들어 중금속, 유기화합물, 비료와 농약, 염분, 박테리아와 virus 같은 미생물류 등이 지표에 유출될 경우 이 오염물질의 확산 속도와 범위는 오염물질의 거동 특성과 그 지표 이하에 부존하는 대수층 자체 특성(오염 민감성)에 따라 달라진다. 따라서 지하수 수질보전 예방차원에서 오염물질이 유출된 것을 가상하고 이러한 두가지 관점으로 분석하되 두가지 요인에 영향을 미치는 주요인자를 추출하고 분석하여 사전에 지역별 취약성을 평가함으로써 수질보호정책을 수립하고자 하는 것이 오염취약성도 작성 목적이다.

1. 대수층 민감성

가. 민감도가 매우 높은 대수층

지표의 물이 대수층으로 침출되는 속도가 매우 빠르고 지하수 수위가 얇은 대수층을 말하며 다음과 같은 지역을 뜻한다.

- 형성시기가 오래된 석회암지대로서 Karst 지형 특성이 보이거나 지하수위가 낮게 분포하는 대수층 : 지표 또는 얇은 표토 하부에 부존, 용해구조, 동공구조
- 암반노두 발달 또는 암반대수층이 낮은 심도로부터 부존하는 지역 : 파쇄구조가 발달한 기반암, Karst 지대
- 지표로부터 또는 낮은 심도로부터 굽은 입자의 모래층이나 사암이 분포하는 지역 : 사암 분포지역, 미고결 모래, 자갈층, 비퇴석, 하상 퇴적물, 풍성 모래퇴적층
- 공극율이 큰 토양 분포지역 : 매우 높은 공극율을 가진 토양 분포지역과 화성쇄설물 퇴적기원 토양 또는 풍화작용, 식물뿌리의 작용, 땅을 파는 동물의 작용 등에 의한 조건으로 지표부근 공극율이 크게 발달한 지역
- 미립자 토양으로서 수분함량에 따라 수축과 팽창율이 큰 토양 분포지역 : 건조지역 점토질 토양 분포하고 수직 균열이 발달 지역.

나. 민감도가 매우 낮은 대수층

피압대수층 상부에 점토층이나 치밀질 기반암이 두터운 심도로 넓게 분포한 지역으로 다음과 같은 예를 들 수 있다.

- 피압 대수층 지역
- 매우 낮은 강수량 분포지역
- 급경사 지역

2. 지하수 오염물질 거동작용

지구화학적 작용

- 산도 반응(환원)
- 흡수 및 흡착
- 화합작용
- 산화작용
- 용해성분 침전작용

물리적 작용

- 대류(Advection)작용
- 분산(Dispersion)작용
- 증발(Evaporation)작용
- 여과작용(Filtration)
- 기체 이동(Gas transport)
- 방사능 붕괴(Radioactive decay)

생화학적 작용

- 세포 산 반응(환원)
- 유기물질 부패작용
- 증산작용(Transpiration)

생물리적 작용

- 세균의 여과작용
- 세균의 이동작용

3. 지하수 오염취약성

위와 같은 대수층 민감성과 오염물질의 거동특성을 고려할 때 지표상의 오염물질이 얼마나 쉽게 지하 대수층으로 확산될 것인가를 파악하는 것이며 이러한 과정에 크게 영향을 미치는 주요인자들을 추출하여 각 인자별로 현장의 여건을 검토한다.

○ 검토 인자

- 대수층구조 : 토양특성, 불포화대, 대수층 매질 특성과 지하수위
- 지하수 이동상태 : 지하수 흐름의 방향과 속도, 지형 특성
- 기 후 : 지하수함양율

4. 다양한 취약성도 분석기법 및 분석 대상 주요인자

지하수 오염취약성 평가방법은 서로 다른 접근방법에 따라 다양하게 발전해 왔다. 그 방법들은 지하에서 일어나는 물리적, 화학적, 생물학적 과정을 모사

하는 매우 복잡한 수치모델로부터 취약성에 영향을 미치는 가중치 인자를 사용하는 기술과 통계적 방법까지 광범위하다.

지하수 보호를 위한 접근방법은 오염에 대한 지하수 취약성 평가방법에 따라 세 가지로 구분될 수 있다.

첫번째는 포화대에서의 거동과정을 고려하지 않고, 오직 토양과 불포화대 특성만을 고려하는 취약성 평가기법이 있다. 이런 경우는 상당한 정도의 농도를 갖는 오염물질이 포화대까지 도달할 상대적 가능성에 의해 제한을 받는다. 많은 전통적인 취약성 평가방법은 이런 접근 방법에 기초한다 : GOD method (Foster, 1987), the Irish approach (Daly and Drew, 1999), AVI method (Van Stempvoort and others, 1993)

두번째로 포화대내에서의 지하수 유동과 오염물질 거동 과정을 어느 정도까지 고려하는 기법이다. 지하수 유동체계를 고려한 오염물질 특성 분석에 근거한 접근 방법이다 (Belgium의 Walloon Region에서 확산거동을 포함, Derouane and Dassargues, 1998).

세번째는 대수층매질 뿐만 아니라 토양과 불포화대 내의 특성을 분석하는 접근 방법이 있다.

가. 평가 방법의 구분

1) Hydrogeological complex and settings methods (HCS)

본 기법은 정성적인 평가 기법이다. 우선 취약성 등급을 산정할 때 각 구성 인자별로 수리지질학적, 수문학적, 지형학적 조건에 따라 결정하여야 한다. 단위 매체별 특성을 일정 기준에 따라 평가하고 이를 종합하여 전체 지역을 해석한다. 일반적으로 도면 중첩기법이 사용된다. 지역별로 수문학적, 지형학적 특성이 다양하므로 이러한 특성을 매체별, 지역별로 구분 가능하다면 간단하게 평가 가능하고, 결과도면도 목적에 따라 축적을 자유롭게 조절 할 수 있다.

2) Parametric system methods

지하수 취약성평가에 사용되는 수치등급 평가 방법은 아래와 같이 크게 세 가지로 구분할 수 있다. 그 분석과정은 거의 유사하나 분석 대상 매질에 따라 구분된다. 즉 지하수취약성에 영향을 미친다고 여겨지는 매질인자 중 어느 것을 선택하느냐에 따라 달라진다. 각 매질은 개별적이고 오염물질 유동 단계별로 일정한 단계적 과정범위를 대표한다. 각 매질에 대하여 오염물질에 대한 상대적 민감 정도를 나타내는 일정한 값이 부여된다.

가) Matrix systems (MS)

대상매질의 인자 수를 최소한으로 압축하여 주요 항목 만을 선정하였다. 기존의 여러 연구진에 의해 개발된 기법들을 취합 검토하여 개발한 동 기법은 정량적인 취약성 분석을 위하여 각 매질 인자별 특성을 일정 기준으로 구분하고 종합하여 최종 분석한다. 동 기법의 적용사례로는 the method selected for the Flemish Region of Belgium (Goossens and Van Damme, 1987)와 같이 지역적인 사례연구에서 발전된 site-specific한 방법들이 대부분이었다.

나) Rating systems (RS)

대수층의 오염취약성에 영향을 미치는 인자에 대해 그 특성의 정도를 일정한 영역의 수치 값으로 표현한다. 이 영역은 매질의 수리학적 특성을 적절히 표현할 수 있는 객관적인 기준에 따라 결정하고, 각 매질의 특성을 등급으로 나누게 된다. 각 매질별 등급 값을 합산하면 해당위치에 대하여 오염 취약성 정도를 나타내며 이를 평가한다. 최종적인 수치점수는 조사지역 내에서 지역간 상대적인 취약성도를 표현한 것으로 간주하고 절대적인 값으로 평가하지는 않는 것이 일반적이다. 이 기법은 오염물질이 지표로부터 누출되었다는 전제조건에 부합하는 경우만을 대상으로 한다. 예로는 GOD system (Foster, 1987), AVI method (Van Stempvoort and others, 1993), ISIS method (Civita and De Regibus, 1995) 등이 있다.

다) Point count system models (PCSM)

본 기법도 rating system에 속한다고 할 수 있다. 기본적인 rating system에 각 매질별 상대적 영향 정도를 정확히 반영하기 위하여 각 인자에 상대적 가중치를 적용한 것이 다르다. 각 매질별로 산출된 등급 값에 가중치 값을 곱하여 주고, 각 매질별 값을 합산하여 최종 지수를 얻게된다. 이 지수는 조사지역 내 구역별 상대적인 취약성 정도를 의미하며, 지수 값이 높을수록 그 지점의 오염 취약성은 높은 것으로 평가된다. 매질별로 선정된 가중치와 각 매질 등급 인자로 분석되는 동 기법에서 해결해야 할 문제로는 최종 산출된 지수는 해당 지역안에서 상대적인 값으로 일정 기준으로 취약성의 정도 (매우위험, 위험, 안전지역 등)를 구분하기가 곤란하며 특히 타지역과 비교는 어렵다는 점이다. 동 기법의 예로는 1985년 미국 환경청 (U.S. EPA)에 의해 개발된 DRASTIC (Aller et al., 1987), SINTACS (Civita, 1994) 모델과 카르스트 지역의 지하수 보호에 사용되는 EPIK method (Doerfliger and Zwahlen, 1997)등이 있다.

나. 주요 평가 방법

1) GOD rating system(Foster, 1987)

이 기법은 가장 간단한 평가기법의 하나라 할 수 있다. 대수층의 오염 취약성을 간략하게 검토하고자 하는 기법이다. 검토 대상 인자는 다음의 세 가지로 압축하였다. 지하수 부존 특성과 피압층의 암상, 그리고 지하수까지의 깊이 (피압 혹은 자유면 조건에서의)를 대상으로 한다. 최종 취약성 지수는 이 세가지 인자별 등급을 곱한 값이다. 각 지점에서 취약성 지수 산출방법은, 우선 지하수 부존특성의 등급을 결정하고, 지하수면까지의 깊이와 피압층의 암상 등급을 곱하여 얻게된다. 피압층의 암상 특성 인자는 오직 자유면대수층의 경우에만 적용한다.

각 인자별 등급은 0 에서 1까지의 분포 값으로 설정하였기 때문에, 각 인자

값을 곱하여 얻어지는 최종 취약성 지수는 항상 개별 인자 값 보다 작아지게 된다. 두 인자가 모두 최대 값 1을 가지는 특별한 경우, 취약성지수는 세 번째 인자의 값과 같게 된다.

2) SEEPAGE method

동 기법은 지하수취약성에 영향을 가장 크게 미치는 토양의 물리학적 특성을 위주로 분석한다. 또한 점오염원과 비점오염원 모두에서 나오는 오염가능성을 분석하는 수치모델이다. 분석대상 매질로서 토양경사, 지하수면까지의 깊이, 불포화대 매질, 대수층 매질, 토양심도, 오염저감능을 대상으로한다. 이중 저감능은 지표토양의 조직, 하부토양의 조직, 표층의 pH, 지표의 유기물 함량, 토양배수 등급, 토양투수율 등을 고려한다.

각각의 인자에 그 상대적 중요성에 따라 가중치를 할당한다. 이런 가중치는 점오염원과 비점오염원에 따라 다르다. 각 인자는 일정한 범위로 나누어질 수 있지만, 각 인자에 할당된 등급값은 1부터 50까지 다양하다. 대수층 매질과 불포화대의 등급이 주관적이고, 특정 지역에 따라 변할 수 있다. 여섯 개의 인자에 대한 점수가 얻어지면, 이 값들은 SEEPAGE index Number (SIN)를 얻기 위하여 더해진다. SIN지수는 오염가능성에 따라 low, moderate, high, very high 4개의 범위로 구분한다. high 혹은 very high는 그 지역이 매우 오염에 취약하다는 것을 의미한다.

3) AVI rating system (Van Stempvoort and others, 1993)

동 기법은 단지 두 개의 인자를 사용하여 대수층 취약성지수를 평가한다. 상부대수층 위에 존재하는 각 퇴적층의 두께와 각 층에서 측정된 수리전도도를 가지고 상대적인 평가를 한다. 이 기법은 기설 관정이나 관측정에서 hydraulic resistance를 측정하여 AVI zones을 iso-resistance contour로 표시해 준다.

4) SINTACS method (Civita, 1994)

DRASTIC 모델에서 유래된 것으로, 이 기법은 이태리의 수리지질학자에 의하여 오염 취약성 도면 작성법 (중축척과 대축척 지도)으로 개발되었다. 이 기법은 매우 복잡한 구조로 되어있다. 다양한 현장조건과 대수층 특성을 고려해 주기 위하여 조건별로 여러기준을 수립하여 사용한다. 각 인자는 일정한 기준으로 등급별로 나누어진다. 최종 SINTACS 지수는 여섯 개의 취약성 단계로 구분한다.

이 기법에서는 기본적으로 분석 대상매질을 DRASTIC처럼 7개 인자를 사용하지만, 등급과 가중치 과정은 다양하며 보다 유동적이다. 이 기법에서 4가지의 가중치 분류기준이 있으며, 절대기준이라기 보다 기본적인 기준으로 제시하고 있으며 현장여건에 맞추어 새로운 기준으로 사용을 권장한다.

5) ISIS method (Civita and De Regibus, 1995)

동 기법은 대수층 고유취약성 평가에 대한 기존의 다양한 연구결과를 통합한 기법이라 할 수 있다. 동 기법에 사용된 인자는 연평균 함양율, 지형, 토양 유형, 토양두께, 불포화대의 압상, 불포화대의 두께, 대수층 매질, 대수층 두께 이다.

인간활동에 의한 영향으로, 토지이용도 인자가 SINTACS로부터 채택되었고 정량화되었다. 최종결과는 areas with normal conditions, strong contaminated agricultural area, strong superficial drained area 세 가지 지역으로 구분한다.

6) EPIK method (Doerfliger and Zwahlen, 1997)

동 기법은 스위스에서 개발되었으며 카르스트 지대 대수층에서 취약성 평가를 하기 위한 기법이다. 이 기법은 객관화된 기준으로 인자 가중치 부여 및 등급 방식을 적용하고 있다. epikarst, protective cover, infiltration

conditions, karst network development 4개의 주요 인자를 대상으로 분석한다. 오염가능성에 대한 영향을 고려하여, 각 인자는 일정한 등급으로 분류된다. 또한 인자별 영향정도를 조절하기 위하여 가중치를 적용한다. 최종적인 'protection factor (취약성지수)'는 기본 합산식에 의하여 계산된다.

7) DIVERSITY method

동 기법은 Dispersion/Velocity-Rated Sensitivity의 약자로, recharge potential, flow velocity, flow directions의 세가지 대수층 특성 인자에 대한 분석 평가기법이다. 기본적인 목적은 상부대수층의 자연적인 오염가능성을 분석하기 위하여 미국의 주 (state) 단위의 지역을 범위로 민감성도를 만드는 것이다 <표 3-2>.

분석과정은 기본적으로 세 단계로 이루어져 있다. ① 한 지역내에서 지질과 지하수 함양/배출 지역을 파악하여 이를 근거로 수리지질학적 환경을 묘사한다. ② 오염에 대한 대수층 민감성 분석모델은 세가지 인자별로 등급을 부여하여 산출한다. ③ 모델로부터 산출된 민감성은 외삽기법을 통해 폴리곤 형태로 표시한다.

<표 3-2> 대수층 민감성 평가방법의 개관

분석기법 명	분석대상 인자	분석기법 요약	비 고
DRASTIC	지하수위, 지하수함양율, 대수층매질특성 토양 특성 지형경사 불포화대 특성 수리전도도	DRASTIC 기법은 지하수 수리와 오염물질의 거동에 영향을 미치는 7개 주요 인자에 대하여 대상지역을 격자셀로 나누고 각셀에 대하여 일정한 기준의 가중치와 등급을 주어 점수화 하여 이를 오염물질 누출시 확산 가능성을 대변할 수 있도록하여 신규 오염물질 시설 설치 위치 선정시 정책판단 자료로 활용함	미국 환경청
AQUIPRO	대수층 상부 점토층의 두께 피압, 형태 관정 형태	빙하기원 퇴적지층이 분포하는 미국 남서부 미시간주에서 특수한 형태의 대수층 분포지역에서 오염민감도 분석을 위하여 개발한 프로그램.	
Greater Denver Ground Water Sensitivity Assessment	지질, 지하수위 수리전도도 지하수함양율 지형경사 토양 특성 불포화대 특성	대수층 특성을 지질특성으로 표현한 것 뿐 DRASTIC 과 거의 유사하다.	
미국 Idaho주 지하수 취약성도 작성기법	암반층까지심도 지하수위 홍수주기 지하수함양율 토양수리전도도	동기법은 DRASTIC 기법을 기초로 Idaho 주의 대수층 구조 특성에 맞게 일부를 수정한 기법 관정자료, 토양특성, 관개배수로부터의 지하수함양, 지형경사 요소를 배제하고, 토양특성을 크게 4가지로 구분하여 적용	
미국 Kansas주 토양 분석법	토양 수리전도도 토양구조	캔사스 주 분포 토양을 오염확산과 관련하여 크게 4가지로 구분하고 오염취약성을 토양 침출율과 토양구조형태 두가지 인자로 분석	

<표 3-2> 대수층 민감성 평가방법의 개관(계속)

분석기법 명	분석대상 인자	분석기법 요약	비 고
미국 Minnesota 주 지질 오염취약성도 작성 기법	심부 피압대수층 대상 지하수위, 토양구조 및 원지질 불포화대 특성	미네소타주 오염취약성도 작성기법은 대수층을 심도별 세단계로 구분하고 각 단계별 분석인자 특성을 5가지 등급으로 분석한다. 지표, 불포화대, 심부 대수층의 3단계 특성을 지하수위까지 미치는 영향으로 분석	
미국 Illinois 주 천층대수층의 잠재오염성 분석 기법	수리전도도 토양층 두께 지층구조 분포 지층구조 형태	동 기법에서는 잠재오염원의 위치에 따라 매립지 오염원과 지표상 오염원 두 가지형태로 구분 분석한다. 각종 폐기물 매립지에서 침출수가 대수층으로 유입될지 여부를 인자별 특성으로 구분하여 분석	
SEEPAGE	지하수함양율 지하수위 오염원과 관정간 거리 지형경사 토양 정화능력 토양 심도 불포화대 특성	일곱가지 인자별 대수층 민감성을 등급화 하고 잠재오염원의 농도를 고려 대수층 오염취약성을 분석한다	
미국 South Dakota 주 지하수취약성도 작성기법	대수층 수리전도도 토양내 유기물질 함량 토양심도	대수층 민감성은 상부지층의 수리전도도와 토양심도 및 유기물질 함량에 좌우된다고 판단하고 이에 따라 대수층 분포지역을 4등급으로 구분 관리하고자 하는 분석기법	
미국 Wisconsin 주 토양자연정화 잠재력 분석 기법	토양 심도 지하수위	미국 위스콘신 주에서의 농촌지역지역별 토양별 오염 자연정화 잠재능력 분석기법	

<표 3-2> 대수층 민감성 평가방법의 개관(계속)

분석기법 명	분석대상 인자	분석기법 요약	비고
미국 Wisconsin 주 지하수 취약성도 작성기법	지질 특성 기반암 심도 지하수위 토양특성 기반암 특성	대수층 상부와 기반암에서 오염확산에 영향을 주는 다섯가지 인자를 분석하여 등급별로 취약성을 구분하는 기법	
CHEMRANK	토양비중 오염물질 농도 1일 증발산량 1일 침출율 토양 침비중 대수층 심도 Henry 상수 Koc 비중, 용융온도 오염물질 분자량 Kow 유기탄소 함량 농약 반감기 강수량 함수율 지표면적	유기화합물에 대하여 4 단계에 걸쳐서 지하수층까지 도달가능성을 검토한다. 두번째 단계까지는 유기화합물이 불포화대에서의 거동 특성을 분석하고 나머지 두 단계에서는 오염성분 자체의 유동특성과 저감특성에 따라 등급을 분류한다. 불포화대를 거쳐 대수층까지 오염물질이 도달하는 과정을 CMLS 모델링 기법으로 분석한다.	
LEACHM	지하수위 증발산량 수리전도도 농약분산계수 농약농도 농약 흡착계수 토양비중 농약의 반감기 함양율	불포화대에서의 농약성분의 거동을 FDM 모델링 기법으로 분석한다. 오염물질의 흡착과 평형상태에서의 유동현상을 분석한다. 불포화대에서의 지하수 유동을 1차원 Richard 식으로 해석하였다.	

<표 3-3>지하수의 고유 취약성 평가를 위한 주요 방법들 (Civita, 1993)

METHOD		BASIC PARAMETERS														
Reference	Type	Surface			Soil				Unsaturated				Saturated			
		P	T	D	L	R	KS	CH	RR	NR	KU	S	F	H	K	
Albinet & Margat(1970)	HCS									●		●	●		●	●
B.R.G.M. (1976...)																
Vrana(1968)	HCS										●				●	
Olmer & Rezac(1974)																
Fenge(1976)	RS				●					●	●	●	●	●	●	●
Josopait & Schwerdtfeger(1979)	HCS									●	●	●			●	●
Zampetti(1983)	AR										●	●				
Fried(1987)																
Villurnsen et al.(1983)	RS				●						●	●	●	●	●	●
Haertle(1983)	MS										●	●				
Vrana(1984b)	HCS	●			●						●				●	
Subirana Asturias & Casas Ponsati(1984)	HCS								●		●	●			●	●
Engelen(1985)	MS								●		●	●			●	
Zaporozec(1985)	RS				●	●	●	●			●	●			●	
Breeuwsma et al.(1986)	HCS				●	●	●	●	●	●	●	●				●
Sotornikova & Vrba(1987)	RS						●					●	●	●	●	
Ostry et al.(1987)	HCS				●			●				●			●	
Ministry Flemish Comm.(1986)	MS				●			●				●			●	
Goossens & Van Damme(1987)																
Carter et al.(1987)	MS				●		●	●							●	
Palmer(1988)																
Marcolongo & Pretto(1987)	RS				●				●	●	●					
Method 1																
Marcolongo & Pretto(1987)	AR					●				●	●	●				
Method 2																
GOD - Foster(1987)	RS										●	●			●	
Schmidt(1987)	RS				●				●		●	●				
Trojan & Perry(1988)	PCSM	●	●					●		●	●	●			●	
Civita in Benacchio et al.(1988)	HCS								●		●	●			●	●
DRASTIC - Aller et al.(1987)	PCSM		●		●					●	●	●			●	●
SINTACS - Civita(1990a)	PCSM		●	●	●					●	●	●	●		●	●

legend : P=precipitation, T=topography, D=drainage density, L=lithology, R=specific retention, KS=soil permeability, CH=physicochemical features, RR=linkage with surface network, NR=net recharge, KU=unsaturated permeability, S=depth to water table, F=piezometric fluctuation, H=hydrogeologic features of aquifer, K=hydraulic conductivity.

(출처 : Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, Jaroslav Vrba et al., Volume 16/1994, International Contributions to Hydrogeology)

다. 검토대상 주요 항목

<표 3-3>에서 다양한 지하수오염취약성 관련 분석 기법에서 공통적으로 다루는 대수층의 민감성에 관한 인자들은 함양량, 토양 특성, 불포화대/포화대 특성등을 들 수 있다.

지표 오염물질이 지하수체까지 유입되는 정도와 속도를 분석 또는 예측하기 위한 13개의 분석기법 중 토양특성(10), 수리전도도(8), 지하수위(7), 함양율(5), 토양두께(5), 대수층 매질혹은 지질(4)가 각 기법에서 가장 빈도가 높게 중복되는 인자였으며, 그 밖에 경사, 피압형태, 불포화대 특성, 기반암 심도 등이 있었다. 각 기법별로 개발된 지역의 대수층 특성과 토양특성에 따라 또한 분석 목적에 따라 조금씩 다르게 조합시키고 인자 선정도 조금씩 다르게 적용하고 있다.

토양의 침출특성이 가장 중요한 인자라 할 수 있으며 따라서 어떤 기법은 토양의 기타 다양한 물성을 별도 인자로 분석하는 기법도 있었다. 몇몇 기법은 DRASTIC 기법을 해당지역 대수층 특성에 맞추어 일부 인자를 가감 변형시킨 기법도 있었으며 이러한 검토인자 선정 면에서 볼 때 DRASTIC 기법이 가장 일반적인 기법이라 할 수 있다. 본 연구에서도 DRASTIC기법을 우리나라 대수층 구조 특성에 비추어 각 인자별 적용 타당성을 검토하고 필요한 부분에 대하여는 수정안을 제시하고자 한다.

오염물질이 토양층을 통과하면서 받는 작용은 침출유동, 분산, 흡착, 화학반응, 미생물 작용, 방사능 작용, 동식물에 의한 작용 등 매우 다양하기 때문에 이러한 제반 작용을 정밀 분석하는 것은 수질모델링 기법 등으로 시도되고 있으며 오염취약성도에서는 일반적으로 수용성 오염물질의 침출 유동 작용만을 주요 고려대상으로 분석하고 있다. 주요 인자별 세부 검토내용은 다음과 같다.

1) 함양량

함양량은 특정한 시간 동안 불포화대를 통하여 대수층으로 유입되는 물의 양으로, 보통 연평균 순수함양량 (annual net recharge)으로 표현한다. 함양되는 물의 양과 질은 토양-암석-지하수계에서의 물리화학적인 과정에 상당한 영향을 미친다. 함양량은 1차적으로 중요한 인자로서, 지하수 오염 취약성 평가에서 항상 고려되며, 특히 중소축척의 지도나 가뭄 취약성 등의 평가에서 특히 강조된다. 함양량은 현장 측정하거나, 물수지식에서 유도, 또는 항공사진이나 위성영상을 이용하여 평가될 수 있다. 이를 위해서는 강수량, 기온 증발량 등 함양량에 영향을 미치는 기후자료가 필요하다.

함양량은 미국의 지하수 취약도에서 자주 사용되며 (Johnson, 1988) 그 중요도는 다소 높게 평가진다 (예, DRASTIC 시스템의 중요도 4, Aller et al, 1987). 몇몇 유럽의 저자들도 취약도 평가에 함양량을 포함시키고 있다 (Breeuwsma et al, 1986; Civita, 1990a, Josopait and Schwerdtfeger, 1979; Marcolongo and Pretto, 1987). Anderson and Gosk(1987)는 대수층의 회복능력이라는 개념으로 사용하였다. 함양량은 Munich-Harlaching 지역에서 오염에 대한 지하수 취약도를 작성하는데 인자로 적용되었다 (Hafen et al, 1989). 산성 침전에 대한 유럽 대수층들의 민감도를 평가하는데 연간 함양가능량을 주요 인자로 사용하였다 (Holmberg et al, 1987).

2) 토양

지각상부의 미고결 층으로, 보통 지하수 오염 취약성 평가에서 중요한 분석 대상 매질인자 중 하나라 할 수 있다. 취약성에 관련되는 주요한 토양의 속성들은 조직, 구조, 두께, 유기물과 점토 광물의 함량 등이다. 토양 수분 등과 같은 기타 토양의 속성자료가 이용 가능하다면 함께 평가되어야 한다. 토양이 발달되는 경우에는 보통 연속적인 층을 형성하나, 물리적, 화학적, 생물학적

특성의 공간적인 변화가 크다. 따라서, 토양의 특성을 일반화시키는 경우에는 상당히 주의가 필요하다. 토양은 오염물질을 저감시키는 매우 중요한 기능을 지니고 있기 때문에 (Zaporozec, 1985), 비료, 농약, 산성침전물 등 비점 오염원에 대한 지하수 오염 취약성의 분석에서는 결정적인 인자로 작용한다.

토양은 오염물질에 처음으로 노출되기 때문에 지하수 오염 취약성을 평가하는 인자 중에서는 매우 중요한 의미를 갖게 된다. 토양은 오염물질의 흡착 지연 또는 저감작용으로 지하수 오염물질에 대한 여과기능과 보호 기능이 있다고 하나 이는 인간활동 등에 의해 비교적 쉽게 훼손될 수 있어 오염물질로부터 지하수를 보호하는 통제력을 잃게된다. 그러므로 토양 특성을 평가할 때에는, 단순하게 토양도로부터 자료를 얻지 말 것이며 대상지역의 토양이 자연상태에 있는가 아니면 농업이나 산성침전물 등에 의해 영향을 받았는가를 현장에서 반드시 확인하고 이를 고려하여야 한다.

토양 인자들은 여러 기존 조사자료로부터 취득 가능하지만, 현장에서 측정하거나 최근 조사 자료에서 얻는 것은 복잡하지 않고 비싸지도 않다. 토양특성을 분석하는데 항공사진이나 인공위성 영상이 편리하게 이용될 수 있으나 이도 역시 현장 실측으로 검증하여 사용하여야 할 것이다.

3) 불포화대

오염물질과 관련할 때 불포화대는 특히 우리나라지역 특성이라 할 수 있는 구릉이나 산악지역, 또는 토양단면이 잘 발달되지 못한 지역의 지하수 보호에 아주 중요한 검토 대상 매질이라 할 수 있다. 불포화대의 특성과 잠재 저감능력은 대수층 민감성의 판단에 결정적인 영향을 미친다. 불포화대 부분이 저투수성 암석으로 구성되어 있다면, 그 하부의 대수층은 피압 대수층으로 형성되고 대수층의 민감성을 상당히 감소되어 오염으로부터 안전하다 할 수 있다.

불포화대에서 주요 검토 대상 속성으로서는 두께, 암상, 수직 투수계수 등

이 포함된다. 불포화대는 지하수면의 변화에 따라서 두께가 달라진다. 따라서, 지하수 오염 취약성 분석시 불포화대를 제대로 분석하려면 지하수위 장기관측 자료를 병행 분석해야 한다. 장기수위관측 기간 중 불포화대의 최소 두께는 지하수면이 가장 높은 시기라 할 수 있다. 기타 보조적인 속성으로서 불포화대 상부의 풍화상태를 들 수 있다.

일반적으로 토양과 비교하여 불포화대에 대한 자료를 얻는 것이 어렵고 비용이 많이 든다. 불포화대의 평가에는 관정과 관측공의 시추, 현장 및 실내시험, 동위원소기법에 의한 분석 등에 정밀조사가 바람직하다. 항공사진과 위성영상은 특히 불포화대가 심도별로 상이하고 두꺼운 경우에는 효용성이 적다.

4) 포화대

대수층 (포화대)은 균질 매체가 아니라 비균질이므로, 대수층의 민감성 역시 지역적 또는 심도에 따라서 분포변화를 나타낸다. 대수층 민감성은 수평적 (함양지역과 배수지역), 수직적 (산화대, 중간대, 환원대), 분포 범위 (국부적, 광역적)와 심도 (심부, 천부)에 따라 지하수 유동체계가 달라진다. 반피압, 피압, 자유면 조건 등의 구조도 대단히 중요하므로, 대수층 민감성의 평가에서는 반드시 이를 고려하여야 한다.

대수층 민감성을 평가하기 위한 주요 속성자료로는 대수층의 구조특성, 형태, 공극율, 수리전도도, 저류 특성, 투수성, 지하수 유동방향 등이 포함된다 <표 3-4>. 수리전도도는 특별히 강조되는 중요한 인자이다. 대수층 인자에 대한 수리학적 특성 자료를 얻는 것은 토양 또는 불포화대로부터 자료를 얻는 것에 비하여 비용이 많이 들고 기술적인 필요 조건이 많다. 신뢰성 있는 대수층 민감성 평가에는 조사 및 관측용 시추공의 설치, 수리시험, 야외 및 실내 분석, 관련 데이터베이스 등이 필요하다.

<표 3-4> 지하수 민감성 관련 주요 매질인자에 대한 속성들 (Vrba 수정, 1991)

매개 변수	지하수 민감성 검토대상 주요 항목			
	토양	불포화대	대수층(포화대)	함양
주요 변수	조직(texture) 구조(structure) 토양함량(content) 유기물 점토광물함량 수리전도도	층두께(지하수면까지) 암상(암반의 고결성, 층리성 등에 관련) 지하수 이동시간(travel time)	암상(암반의 구조, 층리 등에 관련) 층두께, 유효공극률 수리전도도 지하수유동방향 지하수의 함양연대 및 체류기간	년간 총함양율 연 강우량
보조 변수	이온 교환 잠재력 환원/흡착 능력 탄산염, *용적밀도 *최대토양 흡수비 *식물뿌리수분흡수량 *질소 전이반응	풍화속도 투수계수	수리적 비접근성 (unaccessibility) 저류능력 투수율	증발량 증발산량 기온

* 농업활동으로 인한 오염물질 확산에 대한 지하수 취약도가 연구될 경우만 평가가능,
** 함량 = 충전량

라. 검토대상 보조 항목

지하수 오염과 관련되어 부수적인 분석항목으로 지형특성, 지표수와의 관계, 대수층 하부 매질의 특성 등이 포함된다. 이들 항목별 영향 정도는 지역에 따라 달라질 수 있으며 현장 여건에 따라서, 즉 평평한 함양지역, 하천 및 관개수로로부터 지표수의 대수층으로 유입, 높은 이온교환 능력을 갖는 지층이 하부에 분포할 경우 등 영향력이 큰 구조가 분포하는 지역에서 매우 중요하게 다루어야 한다. 하지만 급경사 함양지역, 하부지층이 이온교환능이나 흡착능이 낮은 경우에는 중요성이 감소된다고 볼 수 있다. 일반적으로 크게 영향을 미치는 속성으로서 함양지역 여부와, 토양발달 및 지하수 유동 속도에 영향을 미치는 지형경사를 들 수 있다 <표 3-5>.

민감성 평가에 활용되는 최신 조사기법으로, 지하수의 함양연대 및 체류기간을 분석할 수 있는 환경방사성동위원소 활용기법을 들 수 있다 (Custodio,

1990). 특히 ^{18}O , ^2H , ^{13}C , ^{34}S , ^{14}N 등의 안정동위원소와 ^3H 방사성동위원소를 분석하면 비교적 정밀한 지하수 및 오염물질 유동변화를 분석할 수 있다.

<표 3-5> 지하수 민감성 관련 보조 매질인자에 대한 속성들 (Vrba 수정, 1991)

속성 매개 변수	지하수 민감성 검토대상 보조 항목			특정(specific)
	지형	대수층 하부의 지질단위	지표수나 해수와의 접촉	
주요 변수	지표의 사면 다양성	투수계수 구조 및 지구조 특성 잠재 함양/유출 (potential recharge/ discharge)	이득/손실 하천 잠재적 하안단구 유입 평가(potential bank in f-infiltration) 해안지역에서의 염수/담 수의 접촉변이대.	토지이용 자연: 임야, 목초지, 비경 작지 인공: 농지, 공업용지, 농 업/도시 거주지 인구밀도 불포화대의 오염물질의 이 동시간 **특정 오염물질의 토양, 불포화대, 대수층에서의 저감능력
보조 변수	식생피복	피입대수층인 경우 대 수층 하부 지질단위에 대한 동일한 매개변수 적용		대수층에서의 오염물질 잔 존기간 오염물질의 이동특성-분산 계수값(Kd), 지속성(persi stance, 반감기), 인공적 함양

** 저감능력(attenuation capacity) : 오염물질을 흡수, 희석, 지연시키는 지각물질, 대수층 내재적인 능력
(출처 : Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, Jaroslav Vrba et al.,
Volume 16/1994, International Contributions to Hydrogeology)

5. 국제 “지하수 오염취약성도” 작성 기준 설정

1960년대 : 지하수수리학자들이 전세계 공통된 수문지질도 도면 작성기준
을 설정할 것을 주장

1970년 : UNESCO, 국제수리학회(IAHS), 국제수리지질학회(IAH), 영국지질학
회 공동 수문지질도 관련도면 작성기법과 범례, 인쇄 축척기준 등

세계통일 기준을 설정 ('83년 보완)

1977년 : UNESCO/WMO에서 기상도 작성 세계기준 설정

1980년대 후반 : 환경오염문제 대두로 수문지질도에 수질보전 개념 추가시
킨 기준 보완 필요성 제기

1987년 : IAH 국제지하수보전학회 회의(부다페스트)

수문지질도와 별도로 “지하수오염취약성도” 작성할 것을 제의

1988년 : 오염취약성도 작성기준 제안 - H.G. Waegeningh

1989년 : IAH 집행부 회의 - 오염취약성도 작성기준 검토

1990년 : IAH 집행부회의(네덜란드) - “지하수오염취약성도” 작성 세계기준
수립을 위한 세부 추진 일정 확정

1991년 : UNESCO, IAH 공동 추진 협약 체결

세부지침 작성회의 : '91년 미국회의, '92년 이탈리아 회의, '93년
노르웨이 '94년 영국에서 전문가 회의

1994년 : UNESCO, IAH 공동 “지하수오염취약성도 작성과 활용기준” 발표

- 지하수오염취약성도 작성시 고려할 항목과 기초이론 검토
- '80년대부터 여러나라 전문가들이 개발한 약 24 종류의 지하수오
염취약성도 작성기법을 비교 검토
- US EPA에서 개발한 DRASTIC 기법 : 세계적으로 가장 범용적
- 이탈리아에서 DRASTIC 기법을 자국의 지하수 특성에 맞도록 수정
보완 개발한 SINTACS 기법 등

6. 지하수 오염취약성 개념의 발전과정

가. 개념의 발전과정

Vrana (1984a)는 축척에 의하여 다음과 같이 지도를 분류하였다.

① extra large (1:5,000 이상) : 특정 주제도는 보호지역과 점오염원에 대

한 분석 등을 보여준다.

- ② large (1:10,000 to 1:50,000) : 다목적도로서 수리지질학적인 면과 수자원 관리 및 수질관리 측면에서 작성한다.
- ③ intermediate (1:100,000 to 1:500,000) : 개요도로서 광역적이고 국가차원의 수자원관리와 계획을 목적으로 작성한다.
- ④ small (1:1,000,000 to 1:10,000,000) : 일반 개요도로서 국제적인 지역간 분석에 활용한다.
- ⑤ extra small (1:10,000,000 이하) : 대륙적이고 전지구적인 스케일에 적합하다.

Struckmeier (1989)의 분류체계에서 지하수 오염취약성도는 일반적인 수리지질도로부터 분류되어 목적 지향적인 특수지도로 구분된다. 그는 지하수 오염취약성도를 입력자료가 신뢰성은 낮지만 정성적인 지도로서, 일반적으로 개념에서 작은 스케일로 작성하여 지하수의 보호와 관리목적으로 사용할 수 있다고 평가하였다.

Sarin (1989)은 지하수 오염 취약성도를 단일 목적에 대한 대수층 특성 분석 결과를 보여주는 특수 목적의 수리지질도로 분류하였고, 주로 큰 스케일로 작성하여 도시계획 추진 과정에서 필수 불가결한 정책판단 자료라 하였다.

Margat (1989)는 지하수 오염 취약성도는 오염의 위험가능성을 나타내주어야 한다고 주장하였다. 취약성도 작성 목적은 수자원과 토양의 보호를 위한 정책판단자료와 우연한 오염 유출사고에 대한 초기진단 정보를 제공하는 것이라 하였다. 그는 오염물질 확산에 대한 위험성을 하나의 지도로 분석하기에는 너무나 복잡하고 다양한 자연의 특성을 고려할 때, 특정 오염물질별로 확산특성을 좀 더 구체적으로 또한 정확한 조사자료에 기초하여 오염물질별로 별도의 지하수 오염 취약성도를 작성할 것을 권장하였다 (예: 농업활동으로부터 기인한 질산염에 대한 취약성도).

Freitag (1989)의 오염 취약성도를 다양한 특성별 지도에 있는 속성 자료를 하나 혹은 여러 장의 지도에 중첩 표현하는 지도로 분류하였다. 그에 의하면 이런 지도는 지구과학적인 논리와 공간적인 개념 분석으로 광역적인 도시계획의 추진도구로 사용될 수 있다 하였다.

Zaporozec (1989)은 지하수 오염 취약성도를 토지분포에 따른 도시계획 타당성분석 지도 또는 지하수 보호계획을 나타내는 세부항목 도면으로 분류하였고, 지도의 축척에 따라 지역도 (1:25,000이하), 광역도 (1:10만~1:25만), 국가도 (100만~1:250만)로 분류하였다. 그는 취약성도를 공중건강 보호와 환경시설을 관장하는 모든 정부기관에서의 정책결정 판단 자료로 사용하도록 추천하였다.

Wang (1989)은 사용자 관점에서의 수리지질도의 한가지로 분류할 것을 제안하였고, 지하수 오염 취약성도를 “평가(혹은 계획)도”로 분류하였다. 오염 취약성도를 주로 비지질학자를 위해 만들어진 특수목적 지도로 간주하였다.

Collin (1989)은 목적에 맞추어 제작된 전형적인 수리지질도의 하나로 분류해야 한다고 발표하였다. 그는 오염 취약성도를 단일주제에 맞추어 복합적 요소를 종합적인 분석정보로 제공하는 종합정보 지도로 분류하였다. 비록 그 지도가 단일주제일지라도, 그 준비는 다양한 기술적 요인, 사회경제적 한계와 기준 등이 고려되어야 하기 때문에 어렵다. 그는 오염 취약성도가 자원계획과의 사결정에 도움이 된다고 보았다.

1991년에 Vrba는 지하수 오염 취약성도를 축척, 목적, 내용, 도면화 방법에 따라서 네 가지 종류로 나누었다:

- ① 특정, 단일목적도 (1:50,000 이하)
- ② 특정, 다일목적도 (1:100,000~1:500,000)
- ③ 특정, 일반목적도 (1:1,000,000 이상)
- ④ 기본도 (다양한 축척) : 지하수의 고유오염 취약성을 보여줌

나. 세계의 지하수 오염취약성 지도 발간 현황

오염원을 분류하고 지하수 수질보호를 위한 기준을 정의해야 할 필요성은 1960년대 초 Vladimirskij에 의해 제안되었다. 그는 잠재적인 지하수오염원을 보여주는 지도가 필요함을 인식하였으며, 나아가 지하수 오염 취약성도의 선구자격인 지하수의 잠재 오염원지도 작성 방법론과 도면 구성을 위한 오염의 조건과 오염원의 분류 체계를 개발 제시하였다.

지하수 오염 취약성도의 초창기 개념과 방법론은 1960년대 중반 유럽에서 발달하였다 (Margat, 1968). 1960년대 후반과 1970년대에, 일부 유럽 국가 (프랑스, 체코, 독일)에서 지하수 오염, 보호, 오염 취약성에 초점을 맞춘 지도의 편찬은 성공적이었다. 미국에서는 Walker (1969)가 Illinois 주에서 대수층의 잠재오염지도를 만들었는데, 이것은 미국에서 만들어진 최초의 오염 취약성도로 여겨진다.

프랑스의 대수층 오염 취약성도 (1:1,000,000)는 “오염 취약성도”라는 제목을 가진 최초의 편찬이었다 (Albinet, 1970). 이 지도는 암석학적 구성에 기초하여, 오염가능성의 증가를 일차적인 6가지와 이차적인 9가지 범위로 나눈다. 각 범위마다 투수성과 지하수유속이 결정되며, 그 범위는 색깔로 구별된다.

1980년대 초기 이후로, 세계 각국에서 저마다 오염 취약성도를 작성하여 상당한 도면이 범세계적으로 제작되었다. 오염 취약성도 작성은 1987년 네덜란드에서의 ‘오염물질에 대한 토양과 지하수의 오염 취약성’에 관한 국제회의와, 1989년 독일에서의 ‘경제적, 사회적 발전을 위한 도구로서 수리지질도’에 대한 심포지엄에서 이에 관한 많은 논문들이 발표되었다. 지도작성 방법론 개발의 다음 단계는 중축척과 대축척 지도로의 전환이라 할 수 있다.

이런 축척의 지도는 지역적 단위의 지하수 보호에 대한 필요성에 의해 발달한 것으로, 프랑스의 BRGM이 이를 잘 보여준 바 있다. Lemaire와 Martin (1973)은 1:100,000 축척으로 두 개의 지하수 잠재오염원 지도를 만들었고,

Lavie와 Putallaz (1974)은 1:50,000 축척으로 네 개의 오염 취약성도를 작성하였다. Beauduc et al.(1976)의 1:50,000 축척으로 구성된 sheet Lyon을 포함해, 지하수 오염 취약성도의 새로운 판이 대략 한 해에 4판 정도로 발간되기 시작하였다.

체코에서도 오염 취약성도의 1:200,000 시리즈가 제작되었다 (Olmer and Rezac, 1974). Vrana (1984b)는 오염 취약성도의 작성에 대한 방법론과 발전에 대하여 보고하였고, 산성비에 대한 개관적인 지하수 오염 취약성도의 작성에 대한 새로운 방법의 접근을 설명하였다. 또한 이 나라에서 가장 중요한 수리지질학적 단위인 백악기분지에 대해 1:100,000 축척의 오염 취약성도를 만들었다 (Sotornikova and Vrba, 1987). 이 지도는 수리지질학적 기본 지도에 오염 취약성 한정요소(토양, 불포화대의 매체, 대수층의 투과율, 지하수위 변동)를 적용하였다.

독일은 지하수 오염 취약성도를 일반도 (1:1,000,000), 주제도 (1:200,000), 활용도 (1:40,000과 1:100,000)의 세 가지 축척으로 작성하였다. 독일연방지질연구소는 1977~78년에 수행된 '독일연방정부의 지하수자원'이라는 프로젝트의 일부로써, 국가적, 광역적 계획에 필요한 지하수자원의 가장 중요한 특성인 가용성, 수질, 오염에 대한 오염 취약성을 다루는 1:1,000,000 축척의 연방 지도 3장을 작성하였다 (Aust et al., 1980 ; Vierhuff et al., 1981).

미국에서는 국가적 수준의 일관성을 달성하기 위한 시도라는 점에서, 지하수 오염 가능성을 평가하는 표준화된 체계가 개발되었다 (Aller et al., 1987). 그 방법은 미국 어느 지역에서나 지하수의 잠재적인 오염가능성 평가를 가능하게 하기 위한 것으로, DRASTIC이라 부른다. 이 방법은 두 주요부분으로 구성되는데, 수리지질학적 환경과 관련되어 지도에 표시할 수 있는 단위의 지시자들과, 이들의 상대적인 가중치를 고려한 수치의 부과이다. 미국에서는

1989~91년 동안에 위스콘신 지질·자연사연구소에 의하면 오염 취약성도를 지하수오염 취약성을 결정짓는 지하 환경의 어떤 특성을 정성적으로 혹은 정량적으로 보여주는 중요한 해석적 지도로서 평가하였으며, 지하수의 오염 취약성에 관한 일반적인 공공·정부관계기관에 대한 지침으로서 유용하고, 일반화한 적용으로서 유용하다고 간주하였다 (Zaporozec, 1993).

이탈리아의 Civita, Giuliano et al.(1987)은 수리지질도의 개별 범주로서 오염 취약성도의 구성을 제안하였다. 오염 취약성도는 다양한 축척 (주로 1:25,000와 1:50,000)으로 발간되고, 지하수 오염원에서의 긴급상황에 대한 예측과 방지의 목적으로 구성하였다.

네델란드에서 오염 취약성도는, 오염물질의 거동과 연관된 불포화대와 포화대, 토양의 특성을 설명하는데 초점을 맞춘 특수지도로서 1:400,000 축척으로 전국에 대해 만들어졌다 (Breeuwsma and van Duijvenboden, 1987).

스웨덴에서는 지표 오염에 대한 지하수 오염 취약성도를 포함하여 1:250,000 축척의 다양한 주제의 지도들이 수리지질도로부터 분화되었다 (Engquist, 1989).

영국에서 제작한 English Midlands 지도 (1:100,000)는 질산염의 누출에 대하여 특정한 대수층의 오염 취약성을 지시하는 것이다 (Lewis and Robins, 1989). 그들의 목적은 학제간 결정을 돕고, 토지사용조절과 수자원보호에 대한 미래의 정책을 위한 기초를 제공하는 것이다. 영국과 웨일즈의 국립하천관리당국은 1:100,000 축척의 광역적 고유오염 취약성도의 연속간행물에 기초하여 국가 지하수보호정책을 공표하였다.

이 밖에 전세계에서 발간된 지하수 오염취약성 지도는 <표 3-6>에 정리되어 있다.

<표3-6> 세계에서 발간된 지하수 오염취약성 지도의 목록^a

(I. S. Zektser et al., 1995, Regional assessment and mapping of groundwater vulnerability to contamination, Environmental Geology, 25, p. 226-227)

No.	Year	Country	Author(s)	Title	Scale	Reference
1	1967	Czechoslovakia	M. Olmer	Map of groundwater vulnerability to contamination by oil hydrocarbons	1 : 200,000	Sovremennoe sostoyanie(1977)
2	1967	Poland	anonymous	Hydrogeological map of the Olstzin Province with characteristics of groundwater vulnerability to pollution	1 : 100,000	Sovremennoe sostoyanie(1977)
3	1967	Poland	anonymous	Hydrogeological map with elements of danger of groundwater pollution from surface	1 : 200,000	Vrana(1984)
4	1968	USA	W. H. Walker	Map of potential pollution of an aquifer in Illinois	n.d.	Vrana(1984)
5	1968	Czechoslovakia	M. Vrana	Groundwater vulnerability map of Bohemian and Moravia	1 : 500,000	Vrana(1984)
6	1970	Czechoslovakia	M. Banski	Groundwater vulnerability map of Slovakia	1 : 500,000	Vrana(1984)
7	1970	France	M. Albinet	Map of aquifer potential contamination	1 : 1,000,000	Vrana(1984)
8	1970	Germany Fed. Rep.	anonymous	Map of the northern Rhine-Westphalia Province with indication of five areas of water purification by infiltration	n.d.	Sovremennoe sostoyanie(1977)
9	1971	Poland	anonymous	Map of groundwater pollution danger	n.d.	Sovremennoe sostoyanie(1977), Pitieva(1984)
10	1971	Spain	anonymous	Map of regional subdivision of area of Spain with six main categories of groundwater contamination danger	1 : 200,000	Sovremennoe sostoyanie(1977)

* a : The table was compiled using data of O. I. Grozdova(1987).

<표 3-6> 계속, b : after 1975, maps of potential groundwater contamination have been constructed every year in France.

No.	Year	Country	Author(s)	Title	Scale	Reference
11	1973	Poland	A. S. Kleczkowski et al.	Map of danger of pollution and protection of groundwater of Poland	1 : 1,000,000	Vrana(1984)
12	1973	France	B. Lemer, P. Martin	Map of groundwater contamination vulnerability with indication of contamination sources and surface water contamination degree, area of Monelier, two sheets	1 : 100,000	Vrana(1984)
13	1974	France	J. Lavis, J. Poutallat	As above, five sheets	1 : 50,000	Vrana(1984)
14	1975 ^b	France	R. Tossin et al.	As above, area of Lyons	1 : 25,000	Vrana(1984)
15	1974	Czechoslovakia	M. Olmer, B. Rezak	Map of groundwater vulnerability of Czechia, 18 sheets	1 : 200,000	Vrana(1984)
16	1976	Czechoslovakia	M. Vrana	Legend for large-scale map of groundwater vulnerability	1 : 25,000 1 : 50,000	Vrana(1984)
17	1976	USSR	N. V. Rogovskaya	Model map of groundwater vulnerability for one of regions of USSR	1 : 200,000	Rogovskaya (1976)
18	1978	Bulgaria	C. Antonov and M. Raikova	Map of natural conditions of degree of protection of groundwater	1 : 100,000	Vrana(1984)
19	1979	Poland	A. Macioszczyk and Z. Plochniewski	Map of groundwater vulnerability	n.d.	Vrana(1984)
20	n.d.	Germany Fed. Rep.	anonymous	Map of groundwater vulnerability with indication of five types of regions by self-purification and migration of polluted infiltrating water	n.d.	Pitjeva(1984)
21	1982	Denmark	A. Villumsen et al.	Groundwater vulnerability map for one of region of Jutland (methodology involves geological, hydrogeological, and hydrochemical data)	n.d.	Villumsen and others(1983)

<표 3-6 > 계속

No.	Year	Country	Author(s)	Title	Scale	Reference
22	1980s	USSR	V. M. Goldberg and others	Maps of degree of groundwater protection from pollution for (1) USSR area (2) European USSR area (3) Central Russia regions (4) Moscow region districts	1 : 2,500,000 1 : 1,500,000 1 : 500,000 1 : 50,000	Goldberg(1993)
23	1983	Germany Fed. Rep.	anonymous	Map of natural potential of the environment in Lower Saxony and Bremen	1 : 200,000	Josopait(1983)
24	1988	Poland	J. Gorski and others	(1) Groundwater vulnerability map of Poland (2) Groundwater vulnerability maps for each province	1 : 500,000 1 : 100,000	Gorski and others(1988)
25	1988	USSR	V. M. Matusevich and others	Schematic map of groundwater vulnerability for hydrosphere of permafrost area of western Siberia	n.d.	Matusevich and others (1988)
26	1989	Italy	A. Aureli and others	Maps of vulnerability of falde idriche, settore Nord Orientale Ibelo (Southeast Sicily)	1 : 50,000	Aureli and others(1989)
27	1989	Sweden	J. Pousette and others	Map of vulnerability of groundwater of crystalline basement in connection with infiltrating water contamination (supplement to Hydrogeological Map of Jonkoping District)	n.d.	Pousette and others(1989)
28	No date	USSR	V. M. Matusevich and others	General map of contamination risk of Ukrainian SSR	n.d.	Drich and others(1990)
29	1990	Belgium	anonymous	Map of groundwater vulnerability of Flanders	1 : 100,000	Jobe and Gossens(1990)
30	1990	Germany Fed. Rep.	anonymous	Groundwater vulnerability map of area of Kreiznach Spa	n.d.	Furst and others(1990)

7. DRASTIC 기법에 의한 오염취약성도의 적용사례 및 활용

가. 외국의 적용사례 검토

- 1987년 : 미국 EPA에서 미국내 지하수 오염취약성을 단일 기준으로 평가하기 위한 DRASTIC 기법을 수립 각 주정부에 권장하였다(농약 및 일반 오염원 구분).
- 1990년 : 미국 EPA에서 농경지에서의 농약살포가 음용수 관정에 얼마나 오염영향을 미치는가에 대한 전국적인 조사과정의 일환으로 DRASTIC 기법을 활용하였으며 3,137개 County지역에 오염취약성도를 작성한 바 있다.
 - “Impact of Vadose Zone” 이 농약으로 인한 지하수 오염에 가장 큰 영향을 미친다.
 - DRASTIC 기법에 의한 오염예측도의 구분대로 실제 오염 여부에 대한 지속적 관측으로 검증단계가 미약함을 지적하였다.
- 1992년 : 미국 Idaho 주에서 DRASTIC 기법을 대폭 수정한 기법 (**Idaho sensitivity map**)으로 오염취약성도를 작성하고 검증을 위하여 2,307개소의 관정에서 수질시험을 실시한 결과 오염취약성도 5단계 중 취약성이 낮은 2개 지역에서 nitrate 성분이 10 mg/L 이상 검출된 관정은 단지 1.6%로 나타나 취약성도가 실제 오염 현상과 매우 잘 일치하는 것으로 확인되었다.
- 1994년 : Lars Rosen은 스웨덴에서 충적대수층과 암반대수층지역에서 DRASTIC기법 적용
 - 충적층에서는 오염취약성이 과도하게 분석되는 경향이 있다고 하였다.
 - 암반층에서는 반대로 오염저항력이 강한 것으로 분석되는 경향이 있음을 주장하였다.
 - 7개 인자중 함양율과 지하수위, 지형경사를 제외한 4개 항목이 모두 충

적층인 경우 토양 입자에 의해 결정되기 때문 또한 동 기법에서 가중치(weight) 산정 그래프가 오염취약성과 대수층간의 과학적인 함수 등으로 규명된 것이 아니라는 점을 지적한 바 있다.

- 따라서 스웨덴에서는 자국 특성에 맞도록 DRASTIC기법을 보완하여 사용할 것을 제안하였다.

나. 국내의 적용사례

○ DRASTIC 기법에 대한 소개로는 일부 학계 전문가들이 1990년대 초부터 검토하기 시작하여 최근까지도 많은 전문가들이 학계와 연구소에서 지속적으로 연구 검토 중이다.

- 한정상 외 (1994) 광양만 인접지역
- 황난희 (1995) 제주도,
- 민경덕 외 (1996) 충주호 주변지역
- 이사로 외(1997) 영광지역, (1999) 경기 북부지역
- 조시범 (1999) 경기 평택지구

○ 국내적용사례에서 기존 DRASTIC 기법에서의 수정 제안 사항

- 선구조도 밀도를 추가인자 여부 검토

이사로, 민경덕 및 조시범에 의해 시도되었으며 선구조도(단층, 절리대, 지층경계부 등) 밀도 및 방향성을 추가 인자로 또는 여타 관련인자에 포함시켜 적용여부를 검토하였다.

- 토지이용도 인자 추가 검토

이사로, 민경덕, 조시범 및 황난희에 의해 시도되었으며 오염물질과 함양율에 영향을 주는 토지이용도를 추가인자로 적용성을 검토한 바 있다.

제 3 절 DRASTIC 기법

1. DRASTIC 기법

지금까지 국내에 적용된 대수층 민감성 평가 방법의 대부분은 미국 환경청(U.S.EPA)에서 1987년에 개발한 DRASTIC 방법이다. DRASTIC은 지하수 오염 취약성에 대한 정성적인 평가를 하기 위해서 만들어진 대수층의 민감성 평가방법이다. 지하수위까지의 깊이, 충전률, 대수층 매체, 토양 매체, 경사도, 불포화대의 영향, 수리전도도 등 7개 인자를 사용하며, 각각의 인자에 지하수 오염에 영향을 미치는 중요도에 따라서 가중치가 설정되어 있고 각 인자를 여러 범위로 세분화하였으며 각각의 범위에 등급이 정해져있다.

DRASTIC 모델은 다음과 같은 몇 가지 기본 가정에 근거를 두고 있다.

- ① 오염원은 지표에 위치한다.
- ② 오염물질의 지하유입은 강수량에 의존한다.
- ③ 오염물질은 물과 같은 유동성을 갖는다.
- ④ 평가지역은 120,000평(100 에이커) 이상이어야 한다.

위의 가정을 벗어난 경우, 즉, 오염물질이 지하수계로 잘 이동하지 않는 물리화학적인 성질이 있을 때, 비중이 물보다 커서 지하수의 이동과는 다른 유동양상을 보일 때, 오염물질이 주입 정호 같은 경로를 통하여 지하수계로 직접 유입할 때 등의 예외적인 경우에는 DRASTIC 모델은 지하수 오염 가능성을 정확히 지시할 수 없다고 되어 있다. 또한 평가지역을 100 acre 이상으로 합은 국지적인 지하수의 흐름보다는 광역적인 유동방향을 고려한다는 의미이다.

2. DRASTIC 기법에 의한 지하수 오염취약성도 작성 진단항목

지하수 오염 영향 인자	일반지하수가 중치	농약 및 살충제 살포지역 가중치
지하수위 (Depth to Water)	5	5
지하수함양율 (Net Recharge)	4	4
대수층 매질 (Aquifer Media)	3	3
지표토양 구성매질 (Soil Media)	2	5
지형 경사 (Topography)	1	3
불포화대 영향 (Impact of the Vadose Zone Media)	5	4
수리전도도 (Hydraulic Conductivity)	3	2

지하수 오염 가능성을 의미하는 DRASTIC 지수는 각 인자의 등급과 가중치를 곱한 숫자의 합으로서, 다음과 같이 구해진다:

$$\text{DRASTIC지수} = DrDw + RrRw + ArSw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

(r : 등급(rating), w : 가중치(weight))

일반적인 평가방법에 의한 DRASTIC 모델 지수는 최고 226, 최저 23이고 농약을 사용하는 농업지역에 대한 평가방법에 있어서의 DRASTIC 모델 지수는 최고 256, 최저 23이다. 일단 DRASTIC 모델의 지수가 결정되면, 지하수 오염에 상대적으로 더 민감한 지역을 확인하는 것이 가능하다. DRASTIC 모델의 지수가 높을수록 지하수의 오염 가능성이 상대적으로 크고, 반대로 지수가 낮을수록 오염 가능성이 상대적으로 적은 것을 의미하며, 평가결과는 상대적인 평가만을 의미하지 절대평가를 지시하는 것은 아니다.

일반지하수 오염취약 지수 범위	65 - 223
비료 및 농약 오염취약 지수 범위	88 - 251
오염취약지구	일반적인 분류 지수 > 150

3. DRASTIC 기법을 그대로 국내 적용시의 문제점

가. 미국의 대수층 구조와 분포상황을 고려하여 개발되었다.

나. 최대한 기존자료를 활용하여 작성하도록 권장하고 있으며 또한 될 수 있는 한 기존자료를 이용 분석하여 취약성도를 작성할 수 있도록 계획된 프로그램이나 이는 개발 당사국인 미국의 경우처럼 지하수 관련자료 D/B 가 체계화된 경우라고 할 수 있으며 우리나라의 경우는 최대한 기존자료를 활용하되 자료가 없거나 신뢰성이 결여된 자료 뿐인 경우는 조사가 불가피하다. 향후 지하수 관련자료 D/B 구축시 참조할 사항은 <표 3-7>과 같다.

○ 미국의 자료

- 전국적인 수문지질도가 작성되어 D/B화 완료
- 지하수조사 및 수질관련 사업으로 장기간의 자료가 D/B화
- 토양도 : 지하수관련 기본자료가 조사되어 있는 등 오염취약성도를 작성하는데 충분한 자료

○ 우리나라의 지하수 특성

- 충적층 지하수보다는 암반대수층이 주대수층
- 대수층구조와 형태, 지하수 유동체계, 많은 산과 계곡 지형, 복잡한 지질구조 등 미국의 조건과 상이
- 수문지질도가 현재 작성중으로 기존 자료가 미흡
- 기관별 자료 공개 및 D/B 화 미흡

<표 3-7> 대수층 민감성과 지하수 취약성 평가에 필요한 자료의 정보내용과 가능한 출처

BASIC RESOURCE FIELD		TOPOGRAPHY	VEGETATIVE COVER	CLIMATOLOGY	SOILS
INFORMATION TYPE		고도, 토지경사 ; 지표유출경로, 하천유선망밀도	토지이용, 지하수경 로, 함양과 배수지역, 균열흔적과 선구조, 잠재오염물질	장기간의 강수량자료, 평균온도, 습도, 일조 량, 증발량, 증발산량 ; 실제 강수량	두께, 구조, 조직, 광 물상, 물리화학적 특 징, 공극률, 투수율, 함수량, 침투율
DATA SOURCE	농업기관 & 농업조직		●		●
	수자원기관 & 기업				
	공중보건 & 환경보호기관				
	지구과학 연구소 & 대학교		●		●
	컨설팅회사 & 전문기관				●
	기후 & 수리 자료			●	
	국토계획기관		●	●	●
	지구물리 & 지반공학 회사				
	지자체 지질조사	●		●	●
	특수주제도 작성 & 자료구축	●	●	●	●
FIELD DATA	야외조사		●	●	●
	감시정 관측자료				
	항공사진 & 원격탐사 조사	●	●		
	화학, 생물학적 시료채취와 분석				

(출처 : Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, Jaroslav Vrba et al., Volume 16/1994, International Contributions to Hydrogeology)

<표 3-7> (계속)

BASIC RESOURCE FIELD	HYDROLOGY	HYDROGEOLOGY	
		Unsaturated Zone	Saturated Zone
INFORMATION TYPE	하천유출량, 수리분석, 기저유출, 유출량, 하부 지하수계와의 물교환	지하수위까지의 깊이 ; 두께, 암상, 광물상, 지형, 균열지수, 카르스트지수, 유효공극률, 지표퇴적물의 포화율 ; 수직 유효투수율, 유효유속, 침투율지수, 함양량	암상, 지질구조, 지형, 유효공극률, 투수성유형(1차, 2차), 투수계수, 보유율, 대수층의 수리전도도 ; 대수층유형(불포화, 포화) ; 수위변화, 동수구배, 유동방향, 유효유속, 배수지역, 지하수분기대, 지표수와 인접대수층과의 교환
DATA SOURCE	농업기관 & 농업조직	●	●
	수자원기관 & 기업		●
	공중보건 & 환경보호기관		
	지구과학 연구소 & 대학교	●	●
	컨설팅회사 & 전문기관	●	●
	기후 & 수리 자료	●	
	국토계획기관	●	●
	지구물리 & 지질공학 회사		●
	지자체 지질조사		●
특수주제도 작성 & 자료구축	●	●	
FIELD DATA	야외조사	●	●
	감시정 관측자료		●
	항공사진 & 원격탐사 조사	●	●
	화학, 생물학적 시료채취와 분석		

<표 3-7> (계속)

BASIC RESOURCE FIELD		WATER USE	CHEMISTRY		HUMAN IMPACT ON THE ENVIRONMENT
			Hydrochemistry	Contaminant Features	
INFORMATION TYPE		배수지점(우물, 관정)과 지하수양수지역 ; 지표수와 지하수원, 분포, 사용용도 ; 양수/식물의 산출과 지하 지역의 유입량과 위치	지표와 지하수의 물리화학적 특성, 화학적 표적, 동위원소 함량, 물의 연대와 체류시간, 특징적인 비율 ; 자연수와 지하수의 수질분포	수질의 변화 ; 현존하는 오염물질과 그 물리화학적 특성, 함량, 반감기, 영속성, 이동성, 분산성, 양이온교환능력, 생저감능력, 기타	도시지역의 확장, 산업단지의 위치와 유형, 현존하고 잠재적인 오염원, 잠재오염 목록, 주요 보호대상
DATA SOURCE	농업기관 & 농업조직	●	●		●
	수자원기관 & 기업	●	●	●	●
	공중보건 & 환경보호기관		●	●	●
	지구과학 연구소 & 대학교	●	●		
	컨설팅회사 & 전문기관	●			
	기후 & 수리 자료				
	국토계획기관	●	●		●
	지구물리 & 지질공학 회사	●	●		●
	지자체 지질조사		●	●	●
특수주제도 작성 & 자료구축	●	●		●	
FIELD DATA	야외조사	●	●		●
	감시정 관측자료	●	●	●	
	항공사진 & 원격탐사 조사	●			●
	화학, 생물학적 시료채취와 분석		●	●	

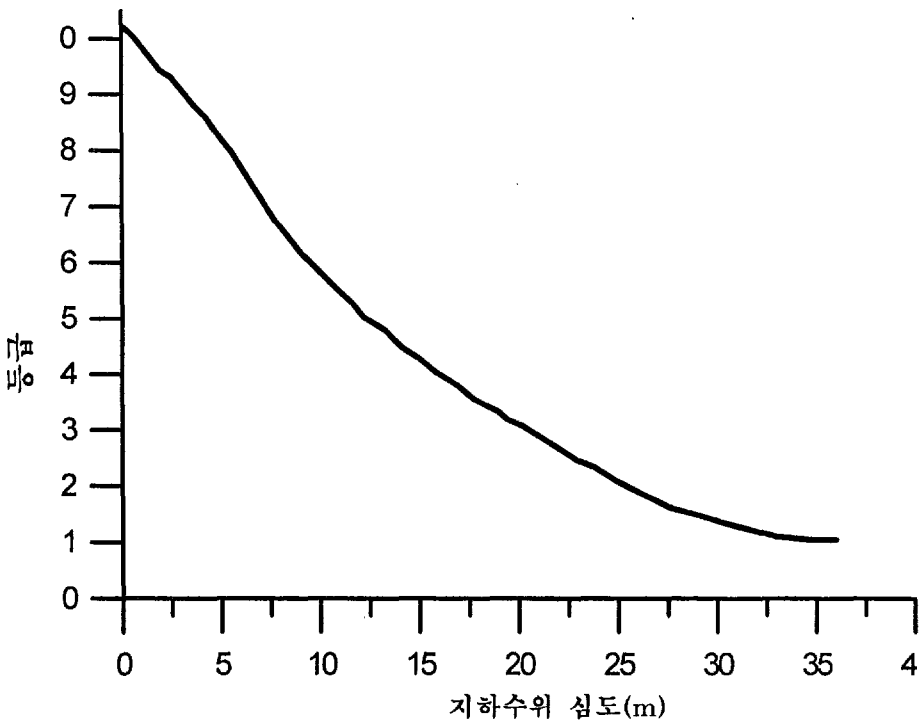
제 4 절 기존 DRASTIC 기법 세부 항목별 검토

본 절에서는 DRASTIC 기법에서 각 분석 대상매질별로 등급산정기준을 설정 기준과 고려사항을 정밀 검토하여 우리나라 지하수 특성으로 볼 때 적용여부를 분석하고자 한다.

1. 지하수위 (D)

가. 당초 설정 기준

지하수면 깊이에 대한 등급기준은 다음과 같다 (그림 3-1)〈표 3-8〉.



(그림 3-1) 지하수위 심도별 등급

<표 3-8> 지하수위의 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
지하수위 (Depth to Water)	5	0 - 1.52m	10	50
		1.5 - 4.57m	9	45
		4.57 - 9.14m	7	35
		9.14 - 15.24m	5	25
		15.24 - 22.86m	3	15
		22.86 - 30.48m	2	10
		30.48m 이상	1	5

오염취약성 분류 기준은 오염원 지표면에 위치한다고 가정하고 지하수위가 깊을수록 지표면의 오염원으로부터 대수층까지의 거리가 멀어지므로 오염 위험성이 작은 것으로 분류하게 된다. 표토와 충적층의 특성은 별도로 고려하고 여기서는 지하수위 즉 오염물질의 이동거리에 따른 오염확산 위험 가능성을 분석하며 자유면 충적 대수층에서 좀더 적합한 분석기법이라 할 수 있다.

지하수위는 오염물질이 지표로부터 대수층까지 이동하는 거리와 시간을 좌우하게되는 인자이다. 오염물질이 이동하는 시간은 지층 매질과의 접촉하는 시간을 뜻하기 때문에 지하수 오염위험성 측면에서 지하수면의 깊이는 단순한 산술적인 깊이뿐 아니라 토양에서부터 대수층 심도까지의 지층 매질의 수리전도도에도 크게 영향을 받는다. 지하수위가 특히 증시되는 이유는 토양층을 이동하는 동안 오염성분은 대기중의 산소에 의하여 산화작용을 받기 때문이다. 일반적으로 지하수위가 깊어 오염물질이 이동하는 시간이 길어지게 되면 산화작용 등으로 오염물질이 자연정화되는 반응시간이 길어진다고 볼 수 있다.

지하수 오염취약성도 작성기법에서 지하수위 깊이에 따라 등급을 정한 기준은 오염대수층에서 깊이에 따라 오염정도가 달라지는 실제 측정자료들을 토대로 깊이별로 분류하여 설정하였다.

일반적으로 피압대수층은 상부에 불투수층이 분포하기 때문에 자유면 대수층보다도 훨씬 오염위협으로부터 강하다고 볼 수 있다. 피압대수층에서는 지하수위를 상부 불투수층 하단 심도까지를 간주하면 된다. 왜냐하면 본 오염취약성도에서의 지하수위는 실제 지하수위라기 보다는 오염물질이 이동해야 하는 지표로부터 대수층 상단까지의 심도를 뜻하는 것으로 지하수 수두압을 뜻하는 것은 아니기 때문이다.

나. 당초 기준에서의 주요 고려사항과 우리나라 적용시 검토사항

당초 설정 기준은 충적대수층에서 지하수 심도까지의 토양층에서 오염물질이 침출되는 시간과 산화작용 등을 고려하여 등급을 설정하고 있다. 우리나라의 대부분 지역은 토양층의 평균 심도가 10 m 내외로 그 하부는 기반암이 분포하고 있다. 또한 대부분 지역에서 지하수위가 10 m 내외에 형성되어 이러한 조건에서는 상기 기준과 유사한 상황이므로 적용에 큰 무리는 없는 것으로 판단된다. 다만 지하수위가 상당히 낮아 풍화대 하부 암반 균열대 이하에서 형성된 경우는 암반 균열대가 토양층과 특성이 크게 다르므로 상기 기준을 적용하기가 곤란하다고 판단된다. 이러한 경우 기반암 심도 이하에서 지하수위가 형성된다면 균열대를 따라 침출되는 오염물질의 유속과 산화작용은 토양층에서와 비교가 어렵다고 볼 수 있으므로 이 경우는 토양심도와 풍화대 심도까지를 고려함이 타당할 것이다.

다. 우리나라에 그대로 적용시의 문제점

1) DRASTIC의 기본 개념은 될 수 있는 한 조사비를 절감하고 기존자료를 사 용함을 원칙으로 하나 우리나라에서는 아직 지하수 관련자료를 체계화 정리하고 있는 단계이므로 기존자료가 불충분한 경우가 많다. 적어도 지하수위는 측정된 시점이 동일하여야 하나 기존 관리되고 있는 자료는 대부분 관정개발 당

시 수위자료로 이는 수위측정 시점이 관정별로 크게 다르므로 그대로 적용시 취약성도는 현실과 동떨어지는 결과로 나타날 수 있다. 따라서 지하수위 자료는 일제조사 자료가 없다면 반드시 실측하여 적용하여야 한다.

○ 관정 개발 당시 (70년부터 현재) 수위 - 수위 일제조사가 필요

- 암반관정, 층적관정수위 별도 분석이 필요

2) 관정은 대개 평탄부와 계곡부에만 국한되어 산악부 지하수위 자료 취득이 불가능한데, 상류부의 산악지역은 대부분 지하수 함양지역으로 수위를 형성하는 관정이 없어 지하수위 자료 취득이 불가능하다. 이러한 산악지역에는 대체로 노두가 발달하고 파쇄 및 균열부 발달로 지하수 오염취약성이 높은 지역으로 볼 수 있다. 자료 부족으로 이러한 산악지역을 분석대상으로 제외한다면 오염취약성도 작성 의미가 크게 상실되므로 이러한 산악지대 지하수위 자료에 대하여 어떠한 설정기준이 필요하다. 산악지역에 대한 대체 처리 기준은 본 연구에서 설정하였고 별도 제시하였다.

또한 샘, 자분 등을 고려하여야 하며 지질구조대가 발달한 산악지역은 등급 10(0~1.5m)을 부여하고 구조대가 미약한 치밀질 괴상 암반 분포지역에서는 해당지역 최고 고도상에 위치한 관정수위를 적용하는 것이 필요하다.

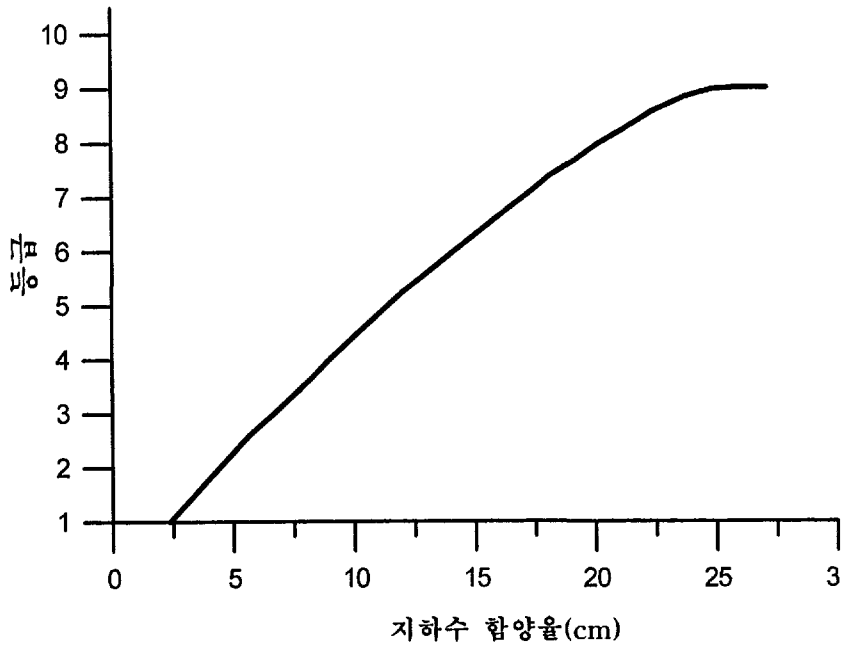
라. 기존자료 활용 : 관측망자료 활용가능

마. 현장조사의 필요성 : 관측망이 부족하고 기존자료가 개발당시 수위자료일 경우 일제 수위조사가 필수적이라 할 수 있다.

2. 함양율(R)

가. 당초 설정 기준

지하수함양율에 따른 등급 기준은 다음과 같다 (그림 3-2)〈표 3-9〉.



(그림 3-2) 지하수함양율의 등급 기준

<표 3-9> 지하수함양율의 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
지하수 함양율 (Net Recharge)	4	0 - 5.08 Cm	1	4
		5.08 - 10.16 Cm	3	12
		10.16 - 17.78 Cm	6	24
		17.78 - 25.40 Cm	8	32
		25.4 Cm 이상	9	36

지하수의 기원은 당초 강수기원이라고 할 수 있는데, 강수가 지표에 떨어져 토양층을 통하여 지하대수층으로 침출되어 지하수를 이루게 된다. 강수의 지하수함양량은 지표 단위면적당 표토를 통하여 대수층까지 침출되는 강수량을 뜻한다. 지표의 오염원으로부터 용해된 오염물질은 이러한 강수에 녹아 지하수위

까지는 수직 연직방향으로 이동하게 되며 지하수위에 도달하면 거의 수평방향으로 오염물질을 이동시키게 된다. 따라서 불포화대와 포화대 구간에서는 함양되는 강수량의 많고 적음에 따라 용해된 오염물질의 확산 유동되는 정도가 좌우된다고 볼 수 있다. 이러한 영향으로 강수의 함양량은 오염물질을 용해형태로 또는 고체 부유물질로 대수층까지 이동시키는 운반 역할을 한다고 볼 수 있으며 이러한 이유로 함양량이 많을수록 오염 위험성도 커진다고 볼 수 있다.

이처럼 함양량이 증가할수록 오염물질의 유입량도 비례적으로 증가 하다가 함양량이 일정기준 이상이 되면 반대로 감소하게 되는데, 이는 많은 물이 함양되면서 오염물질 농도를 희석하는 현상을 유발하는 정도의 함양율을 뜻하며 이 시점부터는 함양량이 증가할수록 오염물질의 농도는 감소하게 된다. 본 DRASTIC 기법을 개발하는 과정에서 이처럼 일정 함양량까지는 오염물질의 대수층 내 유입량도 함께 증가하다가 일정량 이상부터는 오염물질이 희석현상으로 인하여 오염속도가 줄어드는 현상을 확인할 수 있었다. 하지만 실제 현장자료를 여러 함양량별로 취득 분석하여 희석현상을 함양량 별로 체계적인 등급으로 규명하지는 못하였다.

특히 강수의 함양량이란 지표에 떨어진 강수량 중에서 지하로 침출되어 지하수위까지 도달하는 지하수량을 말한다. 강우가 지상에 도달하기까지 낙하 도중의 증발, 식물 등에 의한 차단 등에 의해 강우 일부는 손실되고 나머지는 지상에 도달하게 된다. 지상에 도달한 강우량의 일부는 흙의 표면을 통하여 침투하고, 그 초과분은 흙의 표면으로 흘러 직접유출되어 하천을 형성하게 된다. 함양량은 연간 평균량은 뜻하며 지역별 변화량이나 강수 빈도와 강도와 강우일수는 고려하지 않는다. 강수의 함양량 단위는 Inch 혹은 m 단위를 사용할 수 있다. 일반적으로 충전량이 크면 클수록 지하수오염 가능성은 커진다.

앞에서 언급한 바와 같이 DRASTIC 기법에서 여러 가지 인자중 함양율이 지역별 구분없이 가장 포괄적인 값을 사용하기 때문에 등급범위도 크게 나뉘어져

있으며 통계자료나 조사지역내 기상자료를 이용 수문분석기법으로 산출하여 일괄적으로 적용하면 된다.

순수충전량을 분석하기 위해서는 지하수 관측자료를 활용하는 방법, 수문곡선을 이용한 분석, SCS (Soil Conservation Service) 방법, 지표 구성물질의 수리특성을 분석하는 방법 및 물수지분석법 등이 있다. 그러나 순수 충전량에 대한 구체적이고 보다 정확한 평가를 하기 위해서는 첫째, 충전량이 토지이용 현황, 경사, 토양 침식율 등의 다른 인자에 의해서도 영향을 받기 때문에 이들 요소들을 모두 고려하는 물수지 방정식 (water balance equation) 모델링 기법을 이용하는 것이 더욱 정확하다. 둘째, 관계용수 (irrigation), 인위적인 충전량 (artificial recharge), 쓰레기 침출수 (waste water) 등을 적용해야 하고 셋째, 충전량 발생 분포, 밀도, 지속기간 등을 고려해야 한다.

일반적으로 실측자료 없이 개괄적인 수문분석기법으로 함양율을 산출코자 할 경우는

$$\text{함양량} = \text{강수량} - \text{지표유출량} - \text{증발산량}$$

식에 의거 계산한다. 이처럼 수문통계 자료를 이용하고자 하는 경우에는 각 항목 산출에 특별한 주의가 요구된다. 왜냐하면 함양량은 토양의 함수율, 지형 경사도, 토지이용도 등에 의하여 크게 좌우되기 때문이다. 따라서 이러한 영향 요소까지도 고려할 수 있는 정밀 수문분석기법으로 산출된 자료를 이용하는 것이 바람직하다.

지하수 함양량은 자유면대수층인 경우와 피압대수층의 경우로 각 각 다르게 적용해야 한다. 왜냐하면 자유면 대수층으로 함양되는 강수는 그대로 지하 대수층까지 도달할 수 있지만, 피압대수층인 경우는 피압면 상부 불투수층 때문에 함양되는 강수는 극히 일부만이 대수층까지 도달하기 때문이다. 또한 피압대수층의 함양지역은 해당 지역에서 멀리 떨어져 있는 경우가 대부분이며 피압대수층 상부의 불투수층이 지역에 따라서 반피압층 또는 일부지역에서는 자유

면 대수층과 연결되어 있는 형태도 있으므로 지역별 대수층의 상태를 고려하여 함양율 적용에 신중하도록 해야 한다.

강수에 의한 함양량 이외에도 농업용 관개용수, 인공함양, 하수도로 부터의 함양량도 고려하도록 한다. 이러한 요소들도 연간 함양량으로 산출하면 비교적 많은 량이 된다. 예를 들어 논밭의 관개용수도 연간으로 산출하면 평균 관개지역에 대하여 10.1 cm 정도로 조사된 바 있다. 특히 비료나 살충제에 의한 오염 취약성 분석시에는 관개용수에 의한 함양량이 가장 중요하다고 할 수 있다. 따라서 취약성도를 작성하고자 하는 기술자는 이러한 현장에서의 여러가지 수문학적 영향 요소들을 고려할 수 있는 전문기술자라야 한다.

지하수 수문학적으로 함양지역과 용출지역은 별도로 고려해야 한다. 왜냐하면 함양지역에서는 통상적으로 강수가 지표로부터 지하수위가 있는 곳까지 위에서 아래로 이동하지만, 샘이나 용출하천에서는 지하수가 아래에서 피압되어 위로 흐를수도 있기 때문이다.

함양지역과 용출지역에서 지하수 동수구배는 급변하는 지역이라 할 수 있으며, 주변관정에서 양수를 하고 있는 경우에도 동수구배는 급경사일 수 있다. 피압된 수위가 매우 높은 지역에서는 지하수위가 역류되는 현상도 간혹 있으며 이러한 경우 취약성 분석 전문가는 함양율에 의한 가중치를 작게 잡아야 한다. 동수구배가 작은 지역에서는 주변관정에서의 양수영향에 따라 동수구배가 급변하게 되므로 이러한 지역에 대한 함양율에 대한 가중치 설정시에도 이러한 수문학적 유동을 적절히 고려하여 분석할 수 있어야 한다.

나. 당초 기준에서의 주요 고려사항

주요 고려 대상 : 지표에서 대수층까지 함양된 연간 평균 물 함양량

피압대수층, 함양지역, 관개용수 지역에 대한 강수량 보정 필요

당초 기준에서는 연간 함양율 230 mm 이상이면 최대 등급으로 9로 설정하고

있다. 우리나라 평균 강수량 1,200 mm에서 만일 15%의 함양율을 적용하면 180 mm로 8등급 정도로 대체적으로 높은 위험성을 나타내는 것으로 분석된다. 본 취약성도 작성목적은 조사지역 내에서 - 본 연구에서는 군 단위 - 지역별로 오염취약성을 구분하고자 함이다. 만일 모든 지역이 동일한 값으로 적용된다면 그 인자에 대한 특성은 제외한 것과 동일한 결과를 얻게 된다.

다. 우리나라 적용시 고려사항

강수량 계측 측후소가 시, 군 단위로 대개 1개소 뿐으로 조사지역이 모두 단일 값으로 처리될 경우 함양량 인자 특성을 취약성도 분석에서 제외시키는 결과를 초래한다. 하지만 우리나라 산악지형 특성상 산악지대에 균열대가 많은 노두 발달로 인하여 또한 낙엽과 초목으로 인하여 강수 체류시간 지연 등으로 인하여 산악지대를 지하수 함양지역으로 보는 것이 타당할 것이다. 하지만 실측된 자료가 없어 현재상태에서는 고도별 함양량 차를 고려할 수가 없는 상태이다.

당초 설정기준에서 실측자료가 없는 경우는 정밀 모델링 분석자료를 활용하는 것이 바람직하다고 지적하였으며, 피압대수층 (함양량 감소정)과 자유면대수층, 함양지역 (함양량 증조정)과 샘물 용출지역(함양량 감소정), 관개용수에 의한 함양 영향(함양량 증조정) 등 실제 현장조건에 따라 전문가의 판단에 의해 조절해주도록 제시하고 있다.

라. 기존자료 활용 : 강수량 분포도 활용 가능

마. 현장조사의 필요성 : 지표지질조사 필요

피압대수층과 자유면 대수층 분포지역 조사, 함양지역과 샘물 용출지역 분포, 관개용수에 의한 함양 영향지역 등 함양량에 영향을 미치는 현장조건 및 분포 조사

3. 대수층 매질특성 (A)

가. 당초 설정 기준

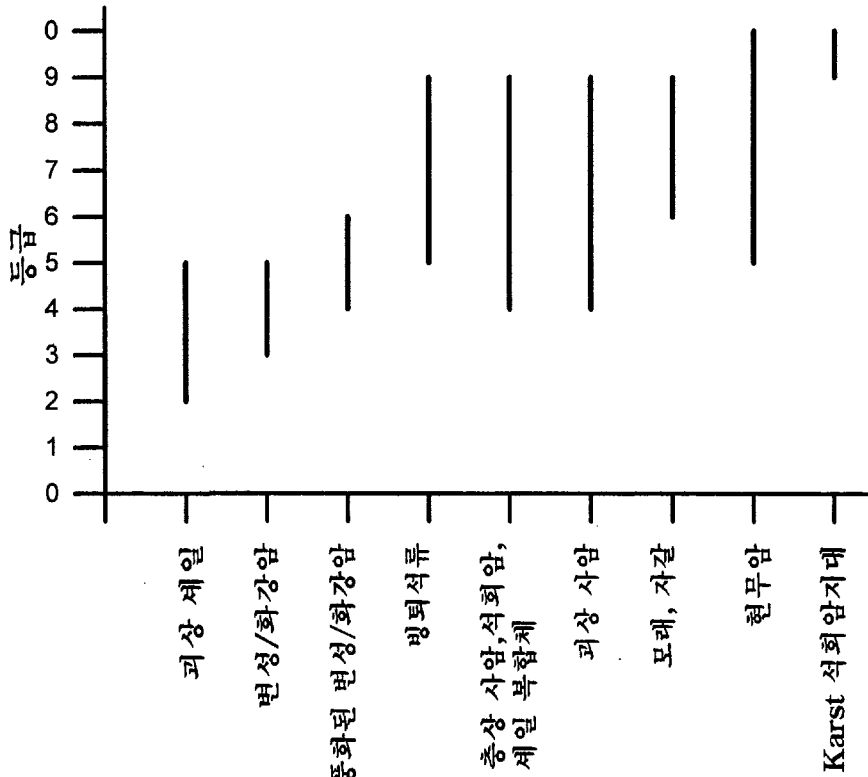
대수층 매체는 고결층 또는 미고결층으로 구분할 수 있다. 대수층이란 지하에 분포된 암석내에 일정 충분한 지하수를 함유한 지층을 말한다. 대수층 매체 특성에 따라 지하수 유동에 영향을 주는 1차 공극율 (암반 생성 시부터 갖고있는 공극)과 2차 공극율 (암석 생성 후 지각 운동 등에 의하여 생성된 공극)이 결정된다.

DRASTIC 모델에서 말하는 대수층은 유용하게 사용할 수 있을 정도의 충분히 많은 양의 물을 취수할 수 있는 지하암석층으로서 주로 셰일, 사암, 석회암으로 나누어진다. 이들 3개의 층을 좀 더 세분해서 7개의 범위로 나누고 각각에 대해서 등급이 설정되어 있다. 각 범위를 나누는 기준은 파쇄대, 절리면의 분포 정도, 분급 및 세립물질의 양 등이다.

일반적으로 조립질이고 분급이 좋고 파쇄대나 절리면이 많을수록 공극이 많아지고 투과율도 좋아지기 때문에 오염 가능성이 높아지고 상대적으로 등급이 높게 설정된다. 반면에 대수층이 세립이고 분급이 나쁘고 파쇄대, 절리면이 적으면 그만큼 오염물질이 이동할 수 있는 경로는 작아져서 오염 가능성이 희박해지기 때문에 등급이 낮아지게 된다. 대수층 매질 선정 시 주의해야 할 것은 다중 대수층인 경우 적절한 대수층을 설정해야 한다는 것이다.

이러한 공극 사이를 흐르는 지하수는 공극율에 따라 유동거리가 달라지게 된다. 오염물질이 이동하는 통로와 유로 길이는 결국 대수층 매질의 공극율과 지하수 유동체계에 의해 좌우된다. 오염물질의 유동거리는 수리전도도와 동수구배와 함께 오염물질 분석에 매우 중요한 인자이다.

대수층 매질기준에 대한 등급기준은 다음과 같다 (그림 3-3)〈표 3-10〉.



(그림 3-3) 대수층 매질별 등급

<표 3-10> 대수층 매질의 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
대수층 매질 (Aquifer Media)	3	괴상 세일	1 - 3	3 - 9
		변성/화강암	2 - 5	6 - 15
		풍화된 변성/화강암	3 - 5	9 - 15
		빙퇴석류	4 - 6	12- 18
		층상사암, 석회암 세일복합체	5 - 9	15- 27
		괴상 사암	4 - 9	12- 27
		모래 자갈(집괴암)	4 - 9	12- 27
		현무암	2 - 10	6 - 30
		Karst 석회암지대	9 - 10	27- 30

특히 거리는 유동시간에 영향을 미치게 되는데 유동시간은 자연정화 작용 즉, 흡착, 화학반응, 확산작용 등에 영향을 미치게 된다. 이러한 관점에서 대수층 매질 특성을 오염물질의 확산 가능성 판단자료로 활용하게 된다.

대수층 매질 특성이 주는 또 다른 영향으로 지표에서 오염원과 접촉하는 부위의 암석 특성에 따라 오염물질이 대수층 내로 유입 오염되는 정도를 크게 좌우하게 된다. 오염원으로부터 오염물질이 침출되어 지하수로 유입하는 과정은 지하수 유로가 되는 단층과 같은 균열부나 서로 연결된 공극율에 따라 달라지게 된다. 일반적으로 대수층 매질 입자 크기가 크면 클수록 또한 공극율이 크면 클수록 지하수 오염확산에 대하여 크게 취약하고 반면에 대수층내에서 자연정화 능력이 약한 것으로 알려져 있다.

본 오염취약성도에 적용하기 위하여 대수층 매질을 다음과 같이 분류하였다. 처음에 기술된 암석이 오염에 가장 강한 암석이며 후자로 갈수록 오염에 취약한 매질이다.

1) 괴상 셰일 : 단위층 두께가 두터운 셰일, 이암, 이질암과 같이 거의 지하수를 유통시킬 수 있는 균열이 없어 오염위험도가 낮은 암석류. 오염 취약성은 균열 정도에 의해 좌우된다.

2) 변성암/화성암 : 고결된 변성암이나 화성암 으로 이루어진 기반암으로서 매우 낮은 1차 공극율을 갖고 있으며 지하수 유동은 주로 암반내 균열부를 통하여만 이루어지는 암반. 일반적으로 비양수량이 매우 낮으며 오염취약성도는 자연히 균열부 발달정도에 따라 비례한다.

3) 풍화된 변성암/화성암 : 주로 고결된 기반암으로 부터 풍화 생성된 미고결 Regolith 혹은 Saprolite층으로 1 차공극을 갖고 있는 층이다. 오염 취약성은 점토성분의 함량에 따라 달라지게 되는데 점토 성분 함량이 많을수록 오염 취약성은 낮다.

4) 빙퇴석 : 미고결 또는 반고결층으로 자갈, 모래, 점토질 입자, 이암질 입자로 구성되었으며 분급정도가 낮으며 층으로 구별되지도 않은 층으로 매우 낮은 수리전도도를 갖고 있으며 비양수량도 적다. 비록 낮은 수리전도도를 갖고 있음에도 빙퇴석 지대에 개발한 관정의 지하수위는 매우 낮은경우가 많으며 지하수 오염물질에 의한 오염도 쉽게 일어나는 특성이 있다. 빙퇴석의 균열 발달정도도 역시 오염확산에 영향을 준다.

5) 충상 사암, 석회암, 셰일 : 통상 1차 공극이 발달한 얇은 퇴적암으로 여러겹 반복된 암석이다. 균열 발달정도가 오염확산에 영향을 주는 요소이다

6) 괴상 사암 : 고결된 사암으로 구성된 기반암으로 1, 2차 공극이 모두 발달되어 있으며 충상사암이나 석회암 층보다 두터운 것이 일반적이다. 오염취약성은 1차 공극과 균열 발달 정도에 따라 다르다.

7) 괴상 석회암 : 고결된 석회암 또는 백운암으로 구성된 기반암으로 충상 사암이나 충상 석회암, 셰일보다도 두터운 특징을 가지고 있다. 오염취약성은 균열부 발달 정도와 석회암 공동 정도에 따라 다르다.

8) 자갈, 사층 : 자갈이나 모래입자가 혼합된 미고결층로 세립 점토질 입자 함량이 다양하게 나타난다. 자갈과 모래 입자가 대부분이고 점토질 입자 함량이 적은 것을 깨끗 ("Clean") 하다고 표현한다. 일반적으로 깨끗할수록 또한 구성입자 크기가 클수록 오염에 취약하다.

9) 현무암 : 고결된 화산암으로 구성된 기반암으로 성층면이 발달되어 있고 균열부와 다공상 구조가 발달되어 있다. 용암 유동형태에 따르는 균열부의 연결정도에 따라 오염취약성이 다르다.

10) Karst 지형 석회암 : 고결된 석회암질 기반암 지대로 곳곳에 석회암 동굴이 발달되어 있는 지형이다. 이러한 지형은 석회암 지대에서 특징적으로 나타난다.

대수층 오염취약성 분석 전문가는 조사지역내 지역별로 대수층이 여러개인

경우 각 대수층 별로 분석해야 하며, 다층 구조의 대수층인 경우는 어떤 층을 대상으로 분석할 것인지를 결정해야 한다. 이 경우 대개는 상부 대수층을 대상으로 한다. DRASTIC에서 대수층 매질 등급은 어떤 암질에 대해 정해진 한가지 수치가 결정된 것이 아니라 일정 범위를 부여하고 있으며, 이는 분석전문가가 대수층의 현장 상태에 따라 판단하여 해당 범위내에서 적절한 등급 수치를 부여해야 한다. 대수층에 관한 자료가 없는 경우에는 가장 일반적인 값을 부여할 수도 있다. 분석전문가는 해당 범위 내에서 등급을 부여할 경우 대수층 매질 특성에 따른 오염물질 유입통로 역할, 즉 고결 암반층일 경우에는 균열대의 분포상태와 모양을 고려하여 등급을 결정하도록 하고 퇴적층이나 퇴적암일 경우는 구성입자의 크기와 분급도, 미립물질의 함유정도에 따라 전문가가 판단하여 등급을 부여해야 한다.

나. 당초 기준에서의 주요 고려사항과 우리나라 적용시 검토사항

주요 고려 대상 : 대수층 구성물질의 공극율(1, 2차 공극 및 배열에 의한 투수성 특성)

DRASTIC 인자들 중 다른 인자와 마찬가지로 대수층 매질도 어떤 지층에서는 등급 값이 얼마로 적용하여 기계적으로 작성하는 것이 아니고, 대수층 매질은 공극율의 정도와 상태에 따라 오염물질을 얼마나 잘 통과시키는지 정도를 기술자가 판단하여 등급을 적용하도록 하고 있다. 대수층 구성물질의 유효 공극율과 공극간 연결상태 즉 지하수 유동속도에 영향을 주는 매질특성을 등급화한 것으로 예를 들어 사암과 모래 자갈층의 경우 등급 4 에서 9까지로 현장 여건을 보고 전문가가 판단하여 등급을 설정토록 되어 있다.

따라서 지질도에 의하여 화강암지역에서는 얼마를 적용할 것인가를 결정하기 보다는 현장에 가서 지역별 풍화정도와 2차 공극 발달정도를 조사하고 그 결과에 따라 등급을 적용해야 할 것이다.

다. 기존자료 활용 : 지질도 활용 가능

라. 현장조사의 필요성 : 등급 분석을 위한 지표지질조사 필수적이다.

지질도상에 동일 암종일지라도 공극발달 특성에 따라 등급 폭이 크게 변화하므로 등급 결정기준이 필요하다 (예) 괴상 사암, 괴상 석회암, 현무암 등은 등급 4~9를 적용한다).

등급산정시 고려사항으로는 오염물질과의 반응성, 균열대 발달정도, 균열대의 크기와 길이 구성 입자의 상태, 흡착 및 분산특성등이 있다.

4. 지표토양 구성물질 (S)

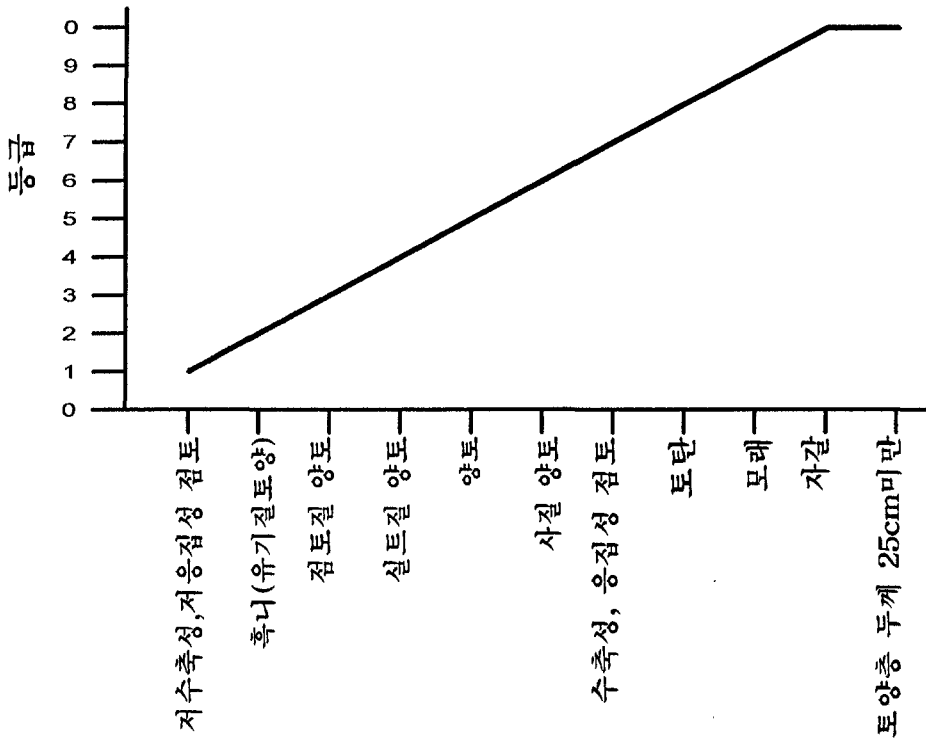
가. 당초 설정 기준

여기서 토양이란 지하수위 상부 불포화대 지역에서 최상부 지표부분을 뜻하는 것으로 많은 생물과 미생물이 서식 활동을 하고 있는 부분이다. 본 오염취약성도 작성기법에서 토양매체에서 고려하는 관점은 암반이 풍화된 지표부를 뜻하며 미국의 경우 평균 두께는 약 1.83 m 정도 된다.

토양의 특성은 강수의 지하수로의 함양율에 큰 영향을 미치며 강수는 지표에 떨어지면 토양층을 통하여 지하 대수층으로 연직방향으로 흘러 들어가게 된다. 토양 구성입자 중에 미립 점토질, 부식토 입자가 많이 함유되어 있으면 토양의 투수계수는 줄어들게 되고 오염성분의 침투가 그만큼 억제된다. 또한 토양층이 두텁게 되면 거름작용, 미생물의 분해작용, 흡착작용, 공기와의 화학반응에 의한 토양내 오염물질의 자연정화 작용 기간이 길어지게 된다. 그 밖에도 경작지에서는 농약과 살충제에 의한 오염물질이 살포되는 점을 고려해야 한다.

토양매질 기준에 대한 등급기준은 다음과 같다 (그림 3-4)〈표 3-11〉.

ㄷ



(그림 3-4) 토양 매질별 등급

<표 3-11> 토양 매질의 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구 분	등급	지수
지표토양 구성매질 (Soil Media)	2	표피층 두께 25 Cm 미만	10	20
		자갈층	10	20
		모래층	9	18
		토탄층	8	16
		수축성, 응집성 점토층	7	14
		사질양토	6	12
		양토	5	10
		점토질 양토	4	8
		이질 양토	3	6
		Muck	2	4
		저수축, 저응집성 점토	1	2

일반적으로 토양에서의 오염가능성은 ① 점토의 유형, ② 점토의 팽창/수축 정도, ③ 토양의 입자 등에 따라서 많은 영향을 받는다. 점토의 팽창/수축도가 적으면 적을수록, 또한 입자크기가 작을수록 오염가능성은 적어진다.

일반적으로 토양 중의 유기물질 (예: undecayed plant, animal tissue, charcoal and various humic compounds)의 양은 특히 농약 (살충제)의 감소에 중요한 요소로 작용하고 있고, 유기물질의 양은 심도가 깊어질수록 감소한다. 토양 내 유기물질은 주로 표토에 많으며 심도가 깊어지면 급격히 함량이 줄어 든다. 토양분포에 대한 자료는 토양도에 자세하게 조사되어 있으므로 이를 참조하면 된다. 또한 토양 매질의 두께, 입자크기, 토양의 pH, 토양의 투과율, 액성 한계, 탄성 지수 등도 고려해야 한다. 현재 DRASTIC 모델은 유기물 함량을 고려하지 않고 있지만 보다 좋은 평가를 위해서는 이러한 정보를 사용할 수 있다.

지하수오염과 관련하여 토양을 구분하면 다음과 같다.

1) 표피층 : 분포된 토양층 두께가 얇으면 오염물질에 대한 자연정화능력이 거의 없어 지하수 오염위험도는 상당히 높다. 토양분포가 얇다는 기준은 두께 25cm 미만으로 정하였다.

2) 자갈층 : 크기 2 mm 이상 모래입자에서 자갈까지로 구성되어 있으며 점토 입자도 포함되어 있으나 투수율은 자갈층의 좌우되어 상당히 높고 오염위험이 매우 높은 것으로 분류된다.

3) 모래층 : 모래입자 크기는 1/16~2 mm까지로 구성되어 있으며 점토 입자가 거의 없어 투수율이 높고 오염위험이 큰 것으로 분류된다.

4) 토탄층 : 퇴적된 과거 식물층이 일부 석탄화 변성과정을 거쳐 식물의 형태 흔적이 남아있는 토양으로서 유기물질이 많아 자연정화능력이 크지만 공극율과 투수율이 높아 오염위험이 큰 것으로 분류된다.

5) 수축성, 응집성 점토층 : 몬몰리노나이트나 스멕타이트질 점토로서 물을

흡수할 경우 부피가 팽창하는 층구조를 갖고 있다. 건조시 수축되어 생긴 균열이 습윤되면 팽창하여 다시 막히게 되지만 건조시 균열을 통하여 오염물질이 지하로 침출된다.

6) 사질양토 : 토양분류 삼각 다이어그램에서 보면 25~50%의 실트, 7~27%의 점토질, 0~50%의 모래성분을 갖는 토양으로 분류된다. 오염위험은 아직은 적은편이라 할 수 있다.

7) 양토 : 토양분류 삼각 다이어그램에서 보면 25~50%의 실트, 7~27%의 점토질, 0~50%의 모래성분을 갖는 토양으로 분류된다. 오염위험은 아직은 적은편이라 할 수 있다.

8) 점토질 양토 : 토양분류 삼각 다이어그램에서 보면 50~85%의 실트, 12~27%의 점토질, 0~50%의 모래성분을 갖는 토양으로 분류된다. 오염위험은 비교적 적은편이라 할 수 있다.

9) Muck : 미립의 검은색 유기물질 집합체로 일반적으로 광물질과 재성분이 많고 약간의 부패하다 남은 식물 조직이 남아있으며 투수율이 상당히 낮다. 유기물질 함량에 따라 오염위험도가 좌우된다고 볼 수 있다.

10) 이질 양토 : 토양분류 삼각다이어그램에서 보면 15~55%의 실트, 27~40%의 점토질, 20~45%의 모래성분을 갖는 토양으로 분류된다. 점토성분이 많아 오염위험은 상당히 적은편이라 할 수 있다.

11) 저수축, 저응집성 점토 : 일라이트나 카올리나이트 질 점토로서 물을 흡수할 경우 부피가 팽창이나 건조시 수축되는 비율이 작아 결과적으로 투수율이 작아 오염위험이 매우 낮은 점토

오염 취약성도에서 분석되는 다른 인자도 마찬가지로이지만 토양특성별 등급을 결정할 때 상기의 토양명 구분에 따라 그대로 기계적인 적용을 하는 것이 아니라 토양층 별로 제시된 침출율 즉, 오염물질이 토양을 통하여 대수층 내 지하수까지 침출되는 정도를 상대적인 비교 값으로 결정하여야 한다.

나. 당초 기준에서의 주요 고려사항과 우리나라 적용시 검토사항

주요 고려 사항 : 토양층의 침출물

표피층(토양심도 25 Cm 이하) 등급 : 10 (오염위험성이 가장 높다)

오염 취약성도에서 분석되는 토양특성별 등급 결정은 심도가 25 Cm 이하인 경우를 제외하고는 심도를 크게 고려하지 않았다. 다만 토양 특성에 따라 자갈, 모래, 점토, 양토 등 침출물에 크게 차이를 주는 형태로 대별하고 있다. 따라서 우리나라 토양도와 마찬가지로 학술적으로 세분화된 구분을 오염취약성도 작성기준에서는 일정기준으로 크게 통합하여 이용함이 적절할 것이다. 이러한 구분을 위하여는 어느정도 자료가 축적될 때까지 실측을 통한 구분이 바람직하며 본 연구에서는 이를 위해 시범조사지구에 대하여 Guelph Permeameter, Ring Permeameter로 실측하여 토양을 대구분하여 사용하였다. 자료 축적시까지는 직접 현장조사를 통하여 적용하는 것이 바람직하다.

다. 기존자료 활용 : 토양도, 산림토양도 활용 가능하나 자료가 미흡하다.

정밀토양도는 평탄부 위주로 제작되어 우리나라의 많은 산악지형이 미조사 상태이며, 작성된 부분도 침출물과 관계되는 자료특성 기재상태가 미흡하고 토양학적으로 세분되어 있어 이러한 부분에 대한 기준설정이 필요하다. 통일된 기준이 없으면 작성 전문가마다 토양종 별로 다르게 등급을 산정하게 되고 저마다 다른 오염취약성도를 작성할 수 밖에 없다. 정밀토양도는 수치지도화 되어 있으나 산림토양도는 아직 구축 단계로 조속한 작성이 필요하다.

라. 현장조사의 필요성 : 등급분석을 위한 토양별 침출물 조사가 필요하다.

- Guelph Permeameter, Ring Permeameter로 실측

- 함양지역, 용출지역 고려 필요

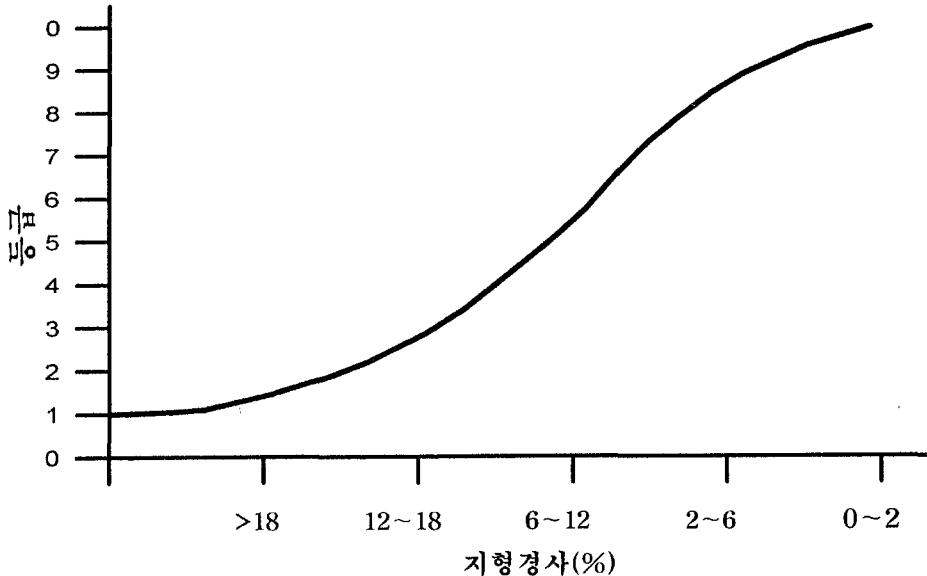
- 산악지역에는 현장조사를 통하여 토양심도가 25 Cm 이하인 지역은 10등급으로 적용해야한다.

5. 지형 경사 (T)

가. 당초 설정 기준

‘지형 경사’는 지표면 사면경사도를 말하며, 지형 경사도는 강수 중 직접유출 속도를 좌우하게되고 이에 따라 오염물질의 지표면 체류시간에 영향을 미치게 되어 결과적으로 오염물질이 강수와 함께 지하수로 침출되는 정도에 영향을 미친다. 즉 오염물질이 직접 유출되는 강수에 의해 제거될 것인지 또는 토양내 잔류되거나 침출되는지는 경사도에 따라 결정된다. 경사도가 낮은 지역은 오염물질이 지하로 스며들기 쉬워 지하수 오염 위험성이 높은 지역이다.

다음 그림 및 표는 조사지역 지형경사에 따른 등급을 경사변화와 지하수 오염 위험과의 관계를 분석한 것이다 (그림 3-5)<표 3-12>.



(그림 3-5) 지형경사별 등급

<표 3-12> 지형경사의 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구 분	등급	지수
지형 경사 (Topography)	1	0 - 2	10	10
		2 - 6	9	9
		6 - 12	5	5
		12 - 18	3	3
		18 이상	1	1

지형경사는 해당지역 토양심도까지도 영향을 미치고 따라서 오염물질 자연 정화능력에도 영향을 미친다. 어떤 지역의 지형경사를 단순화시켜 고려하면 동 지역의 지하수 유속과 유향도 대략 짐작할 수 있다. 경사가 심한 사면은 지하수의 속도가 빠르다.

경사도 0~2 % 의 사면경사 범위지역에서는 오염물질 또는 강수의 지표유출 속도가 매우 낮아 체류시간이 길고 따라서 오염물질이 지하로 침투할 가능성이 많은 지역이다. 반대로 18 % 이상의 경사에서는 유출율이 높기 때문에 오염원이 토양으로 흡수될 가능성은 감소하게 된다. 반대로 가파른 사면분포 지역은 심한 침식작용과 오염물질의 빠른 유출로 지표수의 오염 가능성은 상대적으로 커진다.

미국의 경우 지형경사도는 토양조사소와 지질조사소에서 조사작성된 도면을 기준으로 한다. 최근 발간되는 토양도에는 지형경사도 범위까지도 도면에 나타내는 자세한 지도가 발간되고 있다. DRASTIC 분석가는 토양도와 지형경사도를 중첩시켜 분석하는 것이 유리한데, 이는 토양통 경계부들이 지형 경계부와도 관련이 있기 때문이다. 지형경사는 지형도상에서 직접 구할 수도 있으며, 지형경사는 수직높이를 수평거리로 나눈 백분을 값이다. 거리는 지도에서 길이를 측정하는 자를 이용하고, 지도의 축적을 계산하면 산출할 수 있다. 이 경우 DRASTIC 분석가는 등고선의 간격을 지도에서 반드시 확인해야 한다. 이 등고선의 간격은 축적별 지도마다 다른 것이 보통이다.

나. 기존자료 활용면 : 수치지형도를 활용 가능하다.

현재 산악지형이 많은 우리나라 상황에서 산악지역에 대한 토양 및 지하수 위 등 여타자료가 불충분한 상태로서 지형경사만을 입력 활용하면 산악지역의 높은 경사로 인하여 오염취약성이 낮게 분석되는 우를 범할 수 있으므로 이에 대한 고려를 해주어야 한다.

다. 현장조사의 필요성 : 별도 조사 없이 활용 가능하다

6. 불포화대 매질영향 (I)

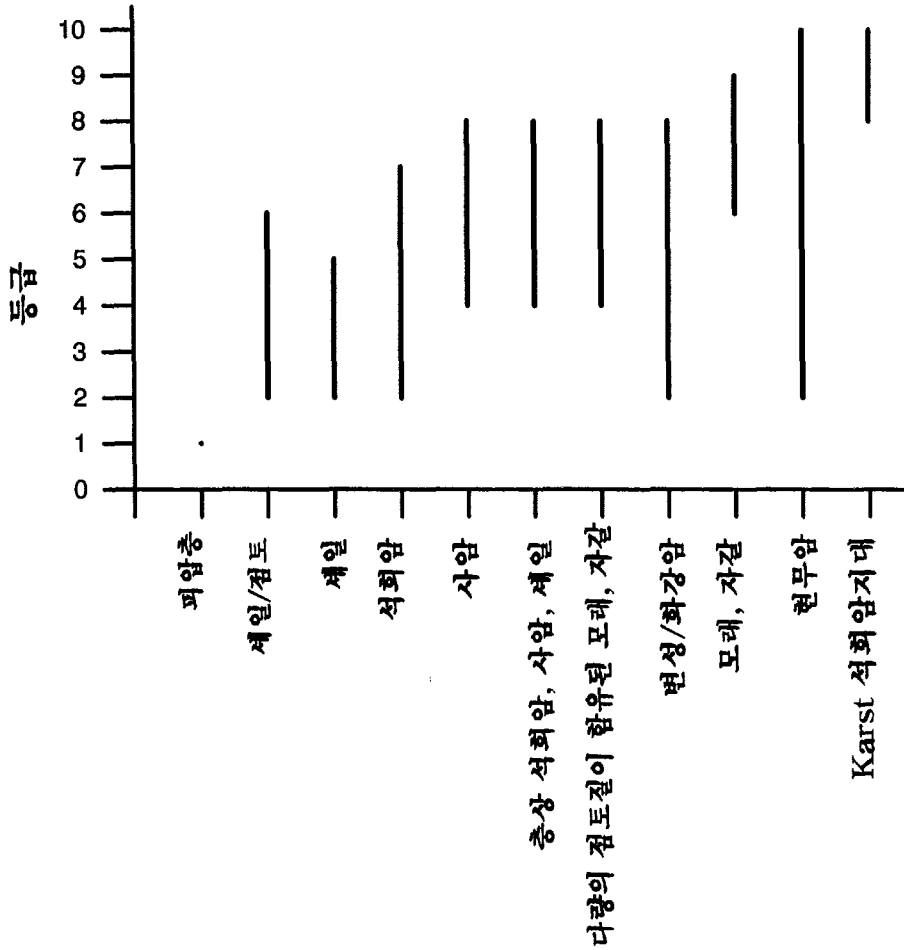
가. 당초 설정 기준

불포화대란 지표에서 지하수위 상부까지의 - 불포화, 또는 일부 포화된 - 지역으로 정의된다. 불포화대 특성이란 토양층 분포심도 이하부터 지하수위 상부까지로 분포한 매질에서의 자연정화작용의 정도를 뜻한다.

불포화대 매질기준에 대한 등급기준은 다음과 같다 (그림 3-6)〈표 3-13〉. 그래프를 보면 잠재오염 위험도에 영향을 주는 각 매질별 등급 관계를 보다 잘 이해할 수 있을 것이다.

〈표 3-13〉 불포화대 매질의 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
불포화대 영향 (Impact of the Vadose Zone Media)	5	피압대수층	1	5
		점토 Silt/Clay	3	15
		이암	3	15
		석회암	6	30
		사암	6	30
		층상석회암, 사암, 점토암, 이암	6	30
		다량 점토질이 혼합된 모래, 자갈층	6	30
		변성암/화강암	4	20
		모래 및 자갈	8	40
		현무암	9	45
		Karst 지대, 석회암	10	50



(그림 3-6) 불포화대 매질별 등급

오염물질 거동에 영향을 미치는 생물에 의한 분해작용, 부영양화 작용, 물리적인 여과작용, 화학적 반응, 증발작용과 확산작용이 모두 불포화대에서 일어나는 현상들이다. 생물에 의한 분해작용과 증발작용은 깊이가 증가할 수록 감소한다. 불포화대의 분포 두께도 크게 영향을 미치는데 이는 오염물질의 경로로서 이동거리를 좌우하기 때문이며 따라서 자연정화에 필요한 시간과 접촉 기간이 두께에 따라 달라지기 때문이다.

불포화대에서 균열대 부존 여부는 오염물질의 지하 침출에 막대한 영향을 미친다. 또한 비포화에 최상부의 매질특성은 상부토양 발달에 영향을 미친다.

본 오염취약성도에 적용하기 위하여 불포화대 매질을 다음과 같이 분류하였다. 처음에 기술된 암석이 오염에 가장 강한 암석이며 후자로 갈수록 오염에 취약한 매질이다.

1) 피압층 : 이 매질은 피압 대수층을 평가할 때 선택된다. 피압층은 불투수층으로서 지표의 물이 대수층으로 유입되는 것을 막아주는 역할을 한다.

2) silt/clay : silt와 clay 크기의 입자들이 퇴적되어 물의 유동을 늦추고 방해하는 벽의 역할을 하는 층을 말한다. 점토성분 함유가 높은 경우는 오염의 잠재성이 낮다. 수축 팽창성이 큰 점토 또는 silt질 함량이 증가하면 상대적으로 오염 잠재성이 증가된다.

3) 변성암/화성암 : 화성과 변성 기원의 암석으로서 일차 공극이 크게 발달하지 않은 것이 일반적이기 때문에 물과 오염물질의 유동은 주로 균열대를 통하여 일어난다. 따라서 파쇄 발달정도 따라 잠재적 오염 위험도 좌우된다

4) shale : 두꺼운 점토질이 암석으로 고화된 층으로 균열대가 약간 발달한 것이 일반적이다. 통상적으로 오염 위험도는 낮으나 균열대 발달정도가 증가하면 오염위험도 커지는 양상을 보인다.

5) 석회암 : 고화된 괴상의 석회암 또는 백운암으로 층상석회암이나 사암 세일 보다는 성층면 발달이 적은 암석이다. 오염물질의 유동은 주로 균열대를 통하여 일어난다. 따라서 파쇄 발달정도 따라 잠재적 오염 위험도 좌우된다

6) 사암 : 사암은 고화된 암석으로서 일차, 이차 공극이 발달하였으면서 층상석회암, 층상사암, 층상세일처럼 얇은 간격은 아니지만 두터운 성층면도 갖고 있다. 오염물질의 유동은 주로 1차 공극율과 균열대를 통하여 일어난다.

7) 층상 석회암, 층상사암, 층상세일 : 1차 공극을 갖는 매우얇은 퇴적층이

반복되는 퇴적암이다. 그러나 오염 위험도를 결정하는 요인은 파쇄된 균열대 발달 정도이다.

8) silt와 clay가 풍부한 모래와 자갈층 : 세립의 입자를 많이 포함하는 미고결 모래 자갈층. 이 퇴적층은 점토분이 많아 투수성도가 매우 낮다. 이러한 퇴적층은 일반적으로 “dirty”한 퇴적층이라 부르고, 점토분이 많은 “clean” 사암과 역암보다 낮은 잠재오염도를 갖는다.

9) 모래, 자갈 : 소량의 세립자를 포함하는 고결되지 않은 모래와 자갈 혼합물이다. 입자의 크기와 분급도가 가장 중요한 요인이다. 분급이 불량하고 입자가 세밀한 퇴적층은 오염잠재도가 낮고, 입자가 크고 분급이 양호한 퇴적층은 높은 잠재 오염성을 보인다.

10) 현무암 : 고화된 화산분출암으로 성층면을 갖고 있고 기포에 의한 공극과 파쇄대를 포함하는 화성암층이다. 이것은 특수한 변성/화성암의 일종이다. 오염 위험도는 용암유동체 내의 기포에 의한 공극 연결상태와 균열대에 영향을 받는다. 오염 위험도는 상당히 높은 편으로 이는 파쇄대에 일단 들어온 오염물질이 자연정화될 수 있는 기회가 거의 없기 때문이다.

11) 카르스트 지대의 석회암 : 석회암지대에 강수와 지하수에 의해 용해되어 동굴이나 공동이 발달한 지대. 이러한 지형은 특수한 경우로서 암석내에 공동 발달로 오염 위험도가 매우 높은 석회암지대이다.

불포화대의 매질별 등급 산출은 먼저 대수층의 피압 여부를 판단하여야 한다. 피압 대수층의 정의는 앞에서 기술한 지하수위 부분에서 언급한 바와 같다. 자유면대수층과 반피압 대수층이 동시에 분포하는 경우, 분석가는 오염등급 분석시 여러 특성 중 오염물질 확산에 가장 취약한 매질을 선정하여 등급을 산정해야 한다. 정의한 바와 같이 불포화대란 토양층 하부로부터 지하수위 상부까지 분포한 모든 불포화 매질을 포함한다. 불포화대 매질에 관한 자료는 지하수 수문 조사보고서 또는 지질 보고서, 논문, 관정개발 자료 등 기존자료로

부터 얻을 수 있다. 일반적으로 여러층이 복합적으로 분포하는 경우 상대적으로 가장 두터운 심도를 갖는 층이 가장 영향이 큰 대수층이라 할 수 있다. 그러나 오염잠재도 또한 고려되어야 한다.

매우 두꺼운 석회암으로 구성된 대수층 상부에 모래와 자갈층이 피복되어 있고 지하수위가 석회암 상단에 있는 경우 불포화대 매질은 모래, 자갈층이라고 말할 수 있다. 그러나 모래, 자갈층 두께가 얇고, 지하수위 깊이가 석회암층 상단에서 하부로 깊다면, 석회암이 불포화대 매질로 선택되어야 한다. 또 다른 예로는 석회암 대수층 상부에 silt/clay 층이 피복되고 그 위에 모래/자갈층이 같은 두께로 또는 더 두껍게 싸여 있는 대수층이 있다면, silt/clay 층은 불투수층으로 오염물질이 석회암 대수층으로 이동하는 것을 제한하는 역할을 하기 때문에 silt/clay 층을 대상으로 등급을 분석해야 한다. 지하수위 지표에서 매우 낮은 특수한 경우도 있다. 이 경우 불포화대 지역은 지하수위 이하에 포함되어 이론상으로는 불포화대가 없다고 할 수 있으나 이 경우에도 분석자는 불포화대 매질을 선정하고 등급을 산정해야 전체적인 DRASTIC 도면을 작성할 수 있다.

피압대수층의 경우, 불포화대는 토양층 하부에서 피압대수층 상부까지의 모든 매질을 포함한다. 이러한 경우 대부분 불포화대는 포화된 지하수위 상부까지도 포함되기 때문에 엄밀하게 불포화대는 아니다. 피압대수층을 평가할 때 사용자는 반드시 '피압 불투수층 (confining layer)'까지를 불포화대 등급 대상 매질로 선택하여야 한다. 이는 지하수 오염과 관련하여 분석하기 때문이며 이 경우 피압 불투수층이 오염 위험 분석에 가장 큰 영향을 미치는 매질이기 때문에 사용자는 이 불투수층을 불포화대로 선택해야 한다. 피압 불투수층이 분포하는 경우는 상부에 있는 다른 어떠한 매질의 분포에 상관없이 불포화대 매질로서 등급을 산출하는 대상은 '피압불투수층'으로 선택하여야 한다.

모든 피압대수층의 경우에 DRASTIC 기법에서는 등급을 "1"로 산정한다. 자

유면 대수층인 경우는 불포화대를 이루고 있는 지층의 정확한 특성을 등급에 반영하기 위하여 가능한 모든 기존 보고서 자료를 수집 참조하여야 한다. 등급 적용은 기 언급된 대수층 매질의 등급기준과 유사하다.

고결된 암반층 매질에 대한 등급 산정은 2차 공극이라 칭하는 파쇄대, 층상 구조와 용해동굴 등의 발달정도에 따라 산정토록 한다. 본 지침에서 표준 대표 값으로 제시한 등급의 사용은 균열대가 중간정도로 발달한 경우와 기존 조사자료가 없어 조사 근거 없이 적용할 경우에 사용토록 한다. 예를 들어 Karst 지대 석회암지역에서 용해동굴이 발견되고 지표의 오염물질이 빠르게 지하로 유입되는 것으로 판단되면 불포화대 매질은 Karst 석회암 지대를 선택하고 등급은 10을 산정토록 한다. 하지만 동일한 Karst 지대 석회암지역에서 용해동굴이 발견되지 않고 공동의 연결상태도 나쁜 것으로 조사된 경우라면 불포화대 매질은 Karst 석회암으로 선정하되 등급은 9~8 (공동의 연결상태나 발달 정도에 따라)로 낮추어 적용한다. 석회암지대라지만 Karst 지형보다는 백운암에 가깝고 파쇄대 발달 정도도 낮은 경우에는 일반 석회암으로 등급을 산정하는 것이 바람직하다. 이 경우 일반 석회암으로 불포화대 매질을 선택하고 표준 등급은 6 이나 파쇄정도에 따라 더 작은 값을 적용하여 선정할 수 있다.

미고결 충적층 매질에서 퇴적층에 대한 등급 구분을 위하여 크게 3가지로 지층을 분류하였다. 모래 자갈층, 다량의 점토질을 함유한 모래자갈층, 미립질 입자가 상대적으로 우세한 점토층 또는 silt/clay층으로 나눌 수 있다. 각 매질에 대한 등급은 다음과 같다.

모래 자갈층이란 약간의 세립 입자가 포함되었지만 대부분이 모래와 자갈로 구성된 층에 사용한다 (등급 6~9). 다량의 점토질 입자가 혼재한 모래 자갈층이나 여전히 모래 자갈층이 우세한 편으로 지층 입자는 모래 자갈층이고 Matrix는 세립질인 경우에 적용된다 (등급 4~8). 점토층 또는 silt/clay층이란 우세한 매질이 세립 점토 입자인 경우로 소량의 모래와 자갈을 함유하는 층

에 적용한다 (등급 2~5). 결국 이러한 세가지 지층의 등급 범위는 전체 등급 범위를 포함하는 범위이다.

이처럼 분석가는 미고결 층적층의 구성입자 크기, 분급 정도, 세립질의 함유량, 균질성등을 반영하는 등급을 선정해야 한다. 예를 들어 분급도가 양호한 모래 자갈층으로 미립 점토입자 함유량이 적으면 9등급을 적용하고, 반면 세립의 입자가 다량 혼재한 모래 자갈층은 7등급을 적용한다. 빙하퇴적층은 별도의 기준으로 분류한다.

나. 당초 기준에서의 주요 고려사항과 우리나라 적용시 검토사항

주요 고려대상 : 불포화대의 침출물 정도

피압대수층 등급 : 1 (가장 낮은 오염가능성)

단순하게 조사지역에 분포한 지질도상의 매질별로 등급을 기계적으로 적용하기 보다는, 토양층 하부로부터 지하수위 상부까지 분포한 모든 불포화 매질의 심도와 공극율, 파쇄대, 균열부등 지질구조 발달 정도에 따른 지표로부터 지하수위까지의 침출물에 영향 정도에 따라 등급을 정하도록 되어 있다. 따라서 우리나라와 같은 대부분 암반대수층이 분포하는 지역에서는 지하수 함양이 조사지역의 지질구조대 분포현황에 크게 영향을 받으므로 다른 연구자들이 제시한 선구조 밀도도를 본 항목에 추가하여 고려함이 타당하리라 판단된다.

다. 기존자료 활용면 : 지질도 및 시추주상도, 지질조사 보고서 등을 활용할 수 있는데, 동일 암종일지라도 침출물 특성에 따라 등급 폭이 크게 변화하므로 충분한 검토기준이 필요하다 (예) 사암, 변성암, 화성암, 석회암, 현무암 등은 등급 2~8, 10으로 설정한다).

등급 산정시 고려사항으로 오염물질과의 반응성, 균열대 발달정도, 균열대의 크기와 길이 (구성입자의 상태), 흡착 및 분산특성을 고려해야 한다.

라. 현장조사의 필요성 : 지표지질 조사가 필요하다.

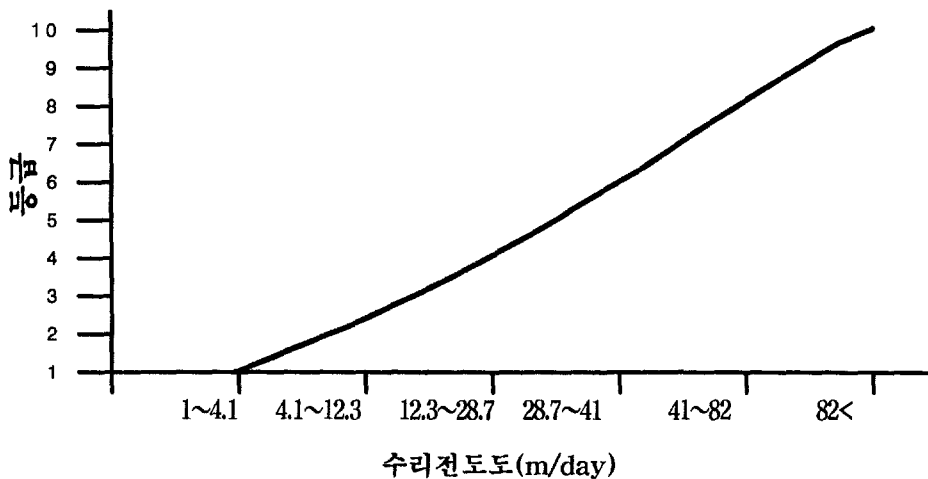
우리나라의 분포지질 및 대수층 구조상태로 볼 때 특히 화성암과 변성암에 대한 등급을 암중에 따른 구분보다는 균열대와 연결된 파쇄구조 상태나 선구조도 밀도 분포에 의한 분류가 더욱 합리적이라 할 수 있다.

7. 대수층 수리 전도도 (C)

가. 당초 설정 기준

수리전도도는 대수층 매질이 공극을 통하여 물을 유동시킬 수 있는 정도, 즉 규정한 일정 동수구배가 적용될 경우 지하수가 흐를수 있는 속도이다. 지하수가 유속은 또한 오염물질관점에서는 Advection 작용에 의한 오염물질의 대수층으로 침투 확산하는 속도라고도 할 수 있다.

다음은 대수층 수리전도도와 매질의 등급 범위의 상관 관계를 보여준다 (그림 3-7)<표 3-14>.



(그림 3-7) 수리전도도별 등급

〈표 3-14〉 수리전도도의 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구 분	등급	지수
수리전도도 (Hydraulic Conductivity)	3	$4.72 \times 10^{-7} - 4.72 \times 10^{-5}$	1	3
		$4.72 \times 10^{-5} - 1.42 \times 10^{-4}$	2	6
		$1.42 \times 10^{-4} - 3.3 \times 10^{-4}$	4	12
		$3.3 \times 10^{-4} - 4.72 \times 10^{-4}$	6	18
		$4.72 \times 10^{-4} - 9.44 \times 10^{-4}$	8	24
		9.44 x 10 ⁻⁴ 이상	10	30

수리전도도는 대수층의 층리면, 균열부, 입자 사이 공극율과 연결상태에 따라 변한다. 수리전도도가 높은 지역은 높은 오염 잠재도를 갖는다.

수리전도도 값은 대수층 시험자료를 분석하여 계산할 수 있다. 기존 지하수 조사 보고서, 관련 연구 논문등에서 조사지역의 수리전도도를 수집하여 활용토록한다. 만일 기존자료나 조사계획이 없는 경우는 지하수 관련 참고서에 수록된 지층별, 암석별 평균 수리전도도 대표 값 범위에서 현장상황과 유사한 조건의 수리전도도 값을 추출하고 지하수 전문가의 자문을 받도록 하여야 한다.

나. 당초 기준에서의 주요 고려사항과 우리나라 적용시 검토사항

수리전도도는 대수층 내 지하수 유동특성과 관련된 상수로 미국의 경우와 마찬가지로 우리나라에서나 동일하게 적용이 가능하다고 판단된다. 다만 관정 자체 분포가 거의 없는 산악지대에 대하여 어떠한 일정기준을 수립하여 적용할 것인지를 결정해야 한다. 왜냐하면 기 언급한 바와 같이 지형 경사도와 대수층 매질 (지질도) 이외에 별다른 인자의 자료가 거의 없는 산악지대는 이러한 자료의 뒷받침이 없을 경우 오염취약성 여부가 단순히 지질과 경사도에 의하여 결정되기 때문에 충분한 자료가 있는 평탄지구와 상대적인 비교가 불가능하다. 따라서 산악지역이 지하수 수문에서는 대부분 함양지역이며 보호 대상 지역임에도 자칫 오염에 강한 지역으로 분류될 수 있으며 이 경우 각종 오염시설물을

청정한 계곡부로 위치선정을 유도하고 하류부 지하수를 오염시키는 오류를 범할 수 있다. 현재 최근 우리나라 일부지역에서 신규 쓰레기 매립장이 지역주민의 이기심으로 인하여 청정한 계곡 상류부로 설치되는 사례는 쉽게 찾아볼 수 있으며 본 지하수 오염예측도의 작성 목적이 이러한 친환경 정책 위반사례를 저지하는 정책 판단자료를 제공하고자 하는데 있다.

일반적으로 산악지역은 토양심도가 낮고 동수구배가 높아 지하수 유속이 평지보다 빠르며 지하수 상류부인 경우가 많아 지하수 수질보호차원에서는 보호구역이 될 수 밖에 없다. 이러한 관점에서 동일조사 지역내 평지지역 수리전도도보다 산악지역은 동수구배를 고려한 2 배에서 3배 정도의 가중치를 주어 추정자료로 활용할 것을 제안한다.

다. 기존자료 활용면

기존 지하수조사 보고서, 관련 연구 논문, 지하수 관련D/B 활용 가능하다.

기존자료를 수집 활용하더라도 '90년대 초반까지 국내에서 개발된 관정들의 보고서에 수록된 기존 수리상수는 관측정 없이 수위관측기기도 미흡한 상태에서 대부분이 개괄적으로 추정된 수리전도도로서 신뢰성 없는 수치라는 점을 의심해 보아야 한다. 대부분 '90년대 중반 이후부터 국내에서도 펌프를 설치한 상태에서 양수수위 변화를 측정할 수 있는 관측장비를 사용하기 시작하였으며 이러한 경우의 수리전도도 값은 신뢰성이 높다. 최근에는 순간수위변화시험을 많이 활용하고 있으며 이 시험은 비용과 시간이 양수시험보다 크게 저렴하고 또한 분석자료가 대수층 상부의 특성을 잘 반영하고 있으므로 지하수 오염물질 거동과 관련된 분석시에는 더욱 적절한 시험 자료라 할 수 있다.

라. 현장조사의 필요성 : 기존자료 부족 시는 대표적인 위치마다 순간수위 변화시험(SLUG test)을 시행하여 자료를 수집해야 한다.

<표 15> DRASTIC의 7가지 인자 종합

검토 인자	당초 기준	국내적용시 문제점	기존자료 활용면	현장조사의 필요성	산악지대 자료 유무
D (수위)	지하수위	<ul style="list-style-type: none"> 대부분 일제조사 자료가 없고 관정개발 당시자료는 관정별로 수년 이상 크게 차이가 날 수 있다. 산악지대에는 관정 부족으로 자료가 없다 	대부분 지역에 지하수위 일제조사가 필요함	현장조사 필수적	없음
R (함양율)	지표에서 대수층까지 함양된 연간 평균 물 함양량	강수량 관측장소 및 빈도 부족으로 균단위 오염취약성도 작성시 전지역이 동일값으로 입력되어 분석 의미가 없음	강수량 자료 활용	피압대수층, 함양지역, 관개용수, 샘 분포지역조사 및 보정 필요	있음
A (매질)	대수층 구성물질의 공극율(1, 2차 공극 및 배열에 의한 투수성 특성)	지질도, 시추주상도, 지질조사보고서등에서 대수층 매질특성 자료 수집	지질도, 시추주상도, 지하수조사 보고서 활용	공극율, 파쇄대 정도 조사를 위한 지표지질조사 필수적	있음
S (토양)	토양층별 침출율 표피층(토양심도 25cm 이하) 등급 : 10	정밀토양도는 평지부만 작성되어 있음. 토양도에는 침출율에 따른 구분이 미약하여 토양별 침출율 조사가 필수적임.	토양도, 산림토양도 활용	토양별 침출율조사 필수적 함양지역, 용출지역조사	일부 없음
T (경사)	지형경사	수치지도에서 경사도 분석	수치지형도	조사 필요없음	있음
I (불포화)	불포화대의 침출율 정도 피압대수층 등급 : 1	지질도, 시추주상도, 지질조사보고서등에서 불포화대 매질특성 자료 수집	지질도, 시추주상도, 지하수조사 보고서 활용	공극, 균열대 발달정도, 크기, 길이, 구성입자의 상태, 흡착 및 분산특성을 위한 지표지질조사	있음
C(수리전도도)	수리전도도	'90년대 이전 국내 양수시험자료의 신뢰성 결여, 전반적으로 자료 부족	기존 지하수 조사 보고서 자료 활용	대표적인 대수층 별 Slug 시험이 필요함	없음

○ 현장조사의 필요성

우리나라의 지하수분야 기초자료는 관리 체계 미흡으로 기존자료가 있는 경우에도 자료의 신뢰성이 크게 결여된다고 볼 수 있다. 또한 입력자료의 불완전은 결과물에서의 불완전과 연결되므로 다음과 같은 최소한의 현장조사는 필수적이라 하겠다.

- 지하수위 일제조사
- 공극을 구조대 파쇄대 조사를 위한 지표지질조사
- 토양별 침출율 자료 취득을 위한 침출율조사
- 대표적인 대수층에 대한 순간수위변화시험

○ 산악지형 지대에 대한 자료 처리

산악지대의 기존 자료 부족은 가중치로 볼 때 약 10/23 정도의 비중에 대한 자료가 전혀 없다고 볼 수 있으며 있는 기존자료도 경사도를 제외하면 지표지질조사를 통해 보완이 필요하다. 따라서 자료가 거의 없는 인자는 지하수위와 수리전도도 값으로, 이 두가지 인자에 대하여 다음과 같은 대안을 제시하고자 한다.

제 5 절 산악지역 기존자료 없는 인자 대체 방안

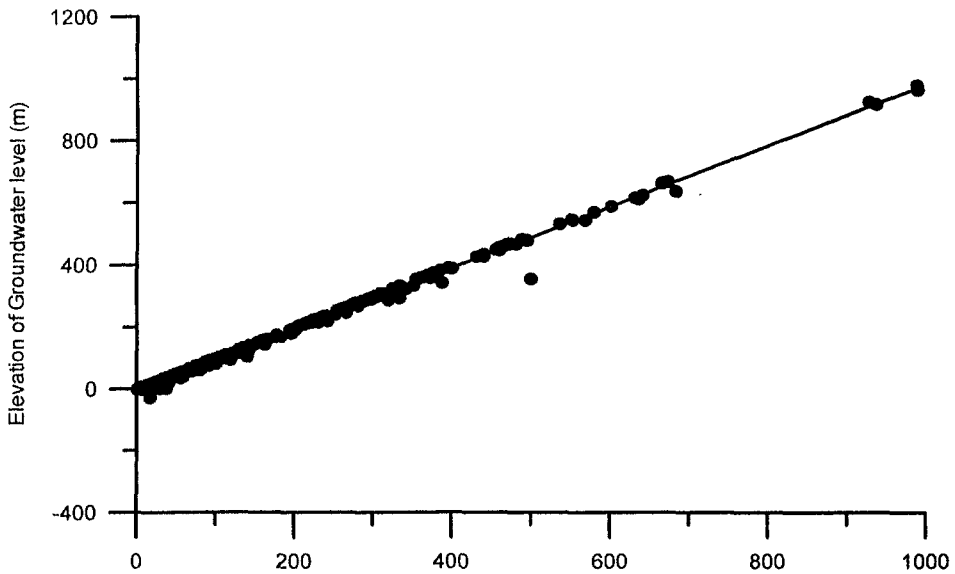
1. 산악지역 지하수위 대체 방안

우리나라의 산악지역은 대체적으로 지하수위 관측자료가 부족하므로 앞서 검토한 바와 같이 당초의 기준으로 작성할 경우는 분석에 오류를 범할 수 있다.

일반적으로 지하수면은 지형고도에 비례적으로 분포하고 있는 것으로 보고되고 있다 (Fetter, 1988). 이는 농업기반공사에서 수행한 경상북도 일원에 분

포하는 지하수공의 지형고도와 지하수위의 관계를 파악한 결과, 그 관계가 아주 이상적인 정비례 관계를 나타내고 있으며, 비례 정도는 95% 이상으로 잘 일치한다는 것이 보고된 바 있다 (한국자원연구소, 1999).

본 연구에서는 농업기반공사에서 1970년도부터 1998년까지 개발한 전국 (제주도 제외) 479개 관정 수위자료를 기초로 해발표고에 대한 자연수위를 도시한 결과 높은 상관관계를 확인할 수 있었다 (그림 3-8).



(그림 3-8) 기설관정에 대한 해발고도와 자연수위 관계도

직선 회귀식 $Y = 0.9895 X - 5.4859$

자료수 : 479,
 평균 해발표고 $X = 141.587$ 평균 자연수위 $Y = 134.62$
 Residual Sum of Squares = 38898
 Regression Sum of squares = 1.26929 E+007
 Coef. of Determination, R-squared = 0.996945
 Residual mean Square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 81.5472$

당초 분석에 이용된 자료는 약 17,000여 개이나, 자연수위와 해발고도값의 신뢰성이 결여된 자료는 본 분석에서 제외하고 자료의 신뢰성이 높은 관정 479

공의 자료만을 이용하였다. 사용된 수위자료는 개발 당시의 자연수위로 측정 시간차가 크고 대수층의 주변여건 등이 확인되지 않은 상태이지만, 우리나라 대부분 지역의 지질여건과 대수층 조건을 반영하였고 대부분 농어촌지역에 소재한 관정으로 교란작용이 비교적 적은 지역을 감안할 때 범용성 있는 자료로서 신뢰성이 높다고 판단된다.

상기 회귀식을 이용하여 자료가 부족한 산악지역에 대한 지하수위를 다음과 같이 추정하여 제시코자 한다.

$$\text{산악지역 지하수위} = \text{해발표고} \times 0.99 - 5,486 \text{ (m)}$$

2. 산악지역 수리전도도 대체 방안

가. 당초 DRASTIC 기준에서 제시한 대수층 수리전도도 관련 주요 기본 개념 수리전도도는 대수층 매질이 공극을 통하여 물을 유동시킬 수 있는 정도로, 규정한 일정 동수구배가 적용될 경우 지하수가 흐를 수 있는 속도이다. 수리전도도 값은 대수층 시험자료를 분석하여 계산할 수 있으며, 기존 지하수조사 보고서 또는 관련 연구 논문 등에서 조사지역의 수리전도도를 수집하여 활용토록 한다. 만일 기존자료가 없고 조사계획도 없는 경우는 지하수 관련 참고서에 수록된 지층별, 암석별 평균 수리전도도 대표 값 범위에서 현장상황과 유사한 조건의 수리전도도 값을 추출하고 지하수 전문가의 자문을 받도록 하여야 한다.

나. 자료가 부족한 지역 자료 처리 방안

대수층의 수리전도도는 기존조사자료가 상당히 미흡한 편이며 '90년대 초까지의 자료는 수위측정기 부족으로 인하여 신뢰성도 결여된 상태이다. 따라서 대표 지층 분포지역에 위치한 기설관정에 대하여 가능한 경우 순간수위변화시험 (Slug test)를 실시하고 수리전도도를 실측하는 것이 바람직하다. 중산간 이상 산악지역에는 관정이 없는 지역이 대부분이며 암반 대수층이라는 특성을

고려하고, 산악지역이 함양지역인 경우에 한하여 또한 지형경사 6~12% 이상인 지역 (경사 등급 5등급)의 동수구배를 고려할 때 조사지역 동일지층 최대 표고에 위치한 관정의 수리전도도 값의 2배를 산악지역에 부여한다

여 백

제 4 장 시범조사 및 오염취약성도 작성

여 백

제 4 장 시범조사 및 오염취약성도 작성

제 1 절 시범지구 선정 및 현장조사

본 장에서는 시범지구 4지구에 대한 현장조사 결과를 기초로 기존기법으로 오염취약성도를 작성하였고, 동일지구에 대하여 본 연구 결과로 제시하는 수정기법으로 오염취약성도를 작성하여 상호 비교·검토하였다. 오염취약성도 작성기법이 기 개발된 국가의 경우는 관련 자료에 대한 체계적인 D/B가 관리되고 있어 현장조건이 일부 변화하더라도 기존 자료만을 이용하여 효과적인 재분석이 가능하나, 우리나라의 경우는 현재 제반 수문관련 D/B 구축작업이 진행단계에 있고, 주기적인 자료 보완체제 등이 미흡하다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 지하수 오염취약성도 작성시 가능한 기존자료 항목과 자료 부족 시 최소한의 현장 조사가 필요한 항목을 시범 작성 과정을 통하여 제시하였다.

시범지구에 대한 조사항목과 조사량은 연구의 효율성을 높이기 위하여 가능한 한 최소화하였고, 조사항목은 다음과 같다.

- 지하수위 일제조사
- 공극율, 구조대 및 파쇄대 조사를 위한 지표지질조사
- 토양별 침출율 자료 취득을 위한 침출율조사
- 대표적인 대수층에 대한 순간수위변화시험 (Slug Test)

1. 시범지구 선정

시범 지구는 우선적으로 기설관정 자료가 충분한 지역을 선정함으로써 분석의 신뢰성을 높일 수 있도록 계획하였으며, 향후 본 연구 결과가 효과적으로 적용되도록 하기 위하여 우리나라의 대표적인 대수층 분포 및 지형특성이 고려될 수 있는 지역을 선정하였다. 선정된 시범지구 중 초정 및 미원지구의 경우

는 '97~'98 기간 중에 청원군에서 실시한 지하수환경영향조사에서 얻어진 결과를 기초로 하고 필요시 일부 조사를 추가하였으며, 충청남도 서산지구와 전라북도 무주지구의 경우는 모든 항목에 대하여 조사를 실시하였다 <표 4-1>.

시범지구 4개소에 대한 현장조사는 '98~'99까지 2년 간 실시하였고, 2000년에는 중간분석 실시 및 추가조사를 실시하였다.

- 충북 초정 : 지하수 민감지역
- 충북 미원 : 구릉지대
- 충남 서산 : 해안변
- 전북 무주 : 고산 및 계곡지대

<표 4-1> 국내 기존조사와 자료취득 방법 비교

구 분	시범지구	L	CH	H
	서산, 무주, 초정, 미원	경기 북부	경기 평택	제주
지하수위 (Depth to Water)	현장 실측	기존자료	기존자료	기존자료
지하수 함양율 (Net Recharge)	기상자료 + 토지 이용도 + SCS, Model	기상월보 SCS+기조사	SCS + Penman	9
대수층 매질 (Aquifer Media)	지질조사 및 수리지질도	지질도	지질도	수리지질도
토양 구성매질 (Soil Media)	토양도, 침출율 실측	토양도	토양도	토양도
지형 경사 (Topography)	산악지역 추정기법, 수치지도	수치지도	수치지도	수치지도
불포화대 영향 (Impact of the Vadose Zone Media)	지질도, 선구조도 밀도	지질도, 선구조도 밀도	지질도, 선구조도 밀도	-
수리전도도 (Hydraulic Conductivity)	기존자료 및 실측	기존자료	지질도 기존자료	지질도 기존자료
추가 항목	-	토지이용	토지이용	토지이용
대상범위	군, 면	1/4 도	면	도

2. 현장조사

본 연구의 결과는 향후 전국을 대상으로 적용하는 것이 목적이므로 기본적으로 기존자료를 최대한 이용토록 하였고, 자료의 신뢰성이 미흡한 부분에 대하여만 현장조사를 실시하였다.

가. 기존 자료 수집

기존자료 수집은 수치지형도, 지질도, 토양도, 강수량자료, 지하수 조사보고서, 두레박 자료 등을 기본으로 하였고, 지하수 오염취약성도, 지하수 오염현황도 및 잠재오염원 관련 자료를 파악하는데 중점을 두었다.

○ 자료 수집 내용

- 지하수관정 자료
 - 대형관정 (농업용수, 생활용수)자료 : 농업기반공사
 - 지하수 수맥조사 자료 : 농업기반공사
 - 지하수 D/B 두레박 자료 : 해당시·군, 건설교통부 수자원공사
- GIS 자료
 - 정밀토양도 : 농업진흥청 농업과학기술원
초정, 무주 외 25 개 도면 (1 : 25,000)
 - 수치 지질도 : 한국자원연구소
초정, 무주 외 14 개 도면 (1 : 50,000)
 - 수치 지형도 및 위성영상자료 : 농업기반공사
- 기타 자료
 - 매립장 및 위생처리장 상황 : 해당 군 환경과
 - 축산농가 가축 통계 : 해당 군 농업기술센터
 - 조사지역 내 위생처리장 설계도

나. 현장조사

본 연구에서는 기설관정에 대한 수위조사, 지표지질조사, 토양별/지질별 침출물 조사 및 잠재오염원 조사가 주요 항목이었으며, 취득한 기존자료가 미흡하거나 신뢰성이 없는 자료에 대하여는 추가로 현장조사를 실시하였다 <표 4-2>.

<표 4-2> 조사량 총괄표

구 분	공 종	단위	서산	무주	초정·미원
지 질 조 사	위성사진분석	식	1	2	
	지표지질조사	ha	60	90	
TV검층 조사	공내 대수층 분포조사	공	6	3	
표토침출물조사	지하수함양 및 수질오염 분석	점	50	60	
수위관측공설치	오거공 개발	공	8	8	
대수성시험	단계, 양수, 순간, 추적자시험	회	15	2	
수위관측조사	지하수 수위측정	회	40	40	
잠재오염원조사	잠재오염원조사	일	25	30	

3. 지구별 조사내역과 기존 오염취약성도 기준

가. 초정, 미원지구

1) 지형 및 지질

초정·미원지구는 오염취약성도 작성 시 최소한의 조사량을 원칙으로 설정함에 따라 '97~'98 기간에 시행하였던 지하수영향조사 보고서의 자료를 이용하였고, 필요 시 추가조사를 실시하여 분석에 활용하였다.

본 연구지구는 행정구역상 충북 청원군 미원면, 북이면, 북일면에 속하고

청주시에서 남동방향으로 약 13km 떨어진 곳에 미원면 소재지가 그리고 8km 떨어진 곳에 북일면, 북이면 소재지가 각각 있으며 동경 127°31' ~127°44', 북위 36°15' ~36°74' 에 위치한다.

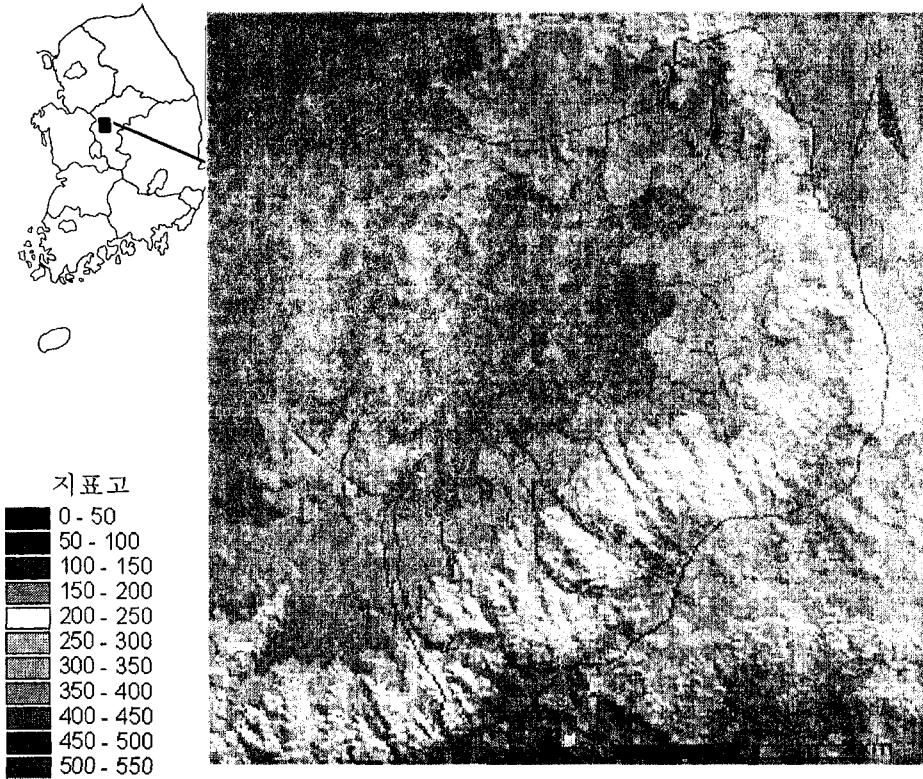
연구지구의 지형은 전반적으로 북동-남서의 대각선 중앙부 지역과 이를 중심으로 동남지역, 그리고 북서지역등 3개로 구분하여 산계를 이루고 있다. 지구의 중앙 대각선부는 북동부로 부터 좌구산(657.4m)-구녀산(484.0m)-인경산(582.0m)-가래산(530.0m)-선두산(526.5m)-시루봉(387.0m) 등의 험준한 산악지형이 발달되며 이들은 장년기 지형 양상을 보여 이들로 부터 분기된 소규모의 지형은 북서남동 방향으로 발달되어 지형 기복량이 매우 커 험준함을 단적으로 보여준다. 한편 북서부와 남동부지역은 비교적 낮은 장년기말에서 노년기에 접어드는 지형으로 공통성을 지니나 초정지구가 위치한 북서지역은 미원지구가 위치한 남동지역에 비해서 연속성이 없으며 평균 해발 50~150 m 구릉지 및 해발 560 m의 산악지 등으로 구녀성과 상당산성을 연결하는 산악지형과 괴산군과 연결되는 낮은 구릉지로 둘러싸여 있다. 전반적으로 완만한 구릉지에는 넓은 충적평야가 발달해 준농림지역이 형성되어 있다 (그림 4-1).

미원지구가 위치한 동남부지역의 산계는 북동-남서방향 즉 설운산(520.0m)-미동산(557.6m)-국사봉(586.7m)으로 일직선상으로 발달되므로 초정지구와는 대조적인 양상을 나타내고 있다.

수계는 북동-남서의 산릉방향을 사행하는 곡선으로 가로질러 북서지역 초정지구에서는 북일면에서 청주시를 거쳐 남서류하는 금강상류의 지류인 미호천 수원지의 일부를 이루고 있으며, 구녀성과 이티재로부터 소하천이 흐르고 남쪽 사면으로부터 소하천이 발달되어 있다. 미원지구에서는 구녀산과 인경산에서 발원하여 미원면을 거쳐 남동류하는 미원천, 그리고 인경천과 좌구산에서 발원한 구룡천이 주요한 하천을 이루고 있다.

충적층은 주로 화강암류 지역에 발달되는 하천의 현세퇴적물은 주로 모래와

얇은 자갈대가 협재되는 비교적 두꺼운 퇴적물을 이루고 있으나 육천계 지질에 발달된 충적층은 자갈이 우세하고 모래층은 희소하고 두께가 빈약하다.



(그림 4-1) 초정 지구의 표고도

2) 지하수위 (Depth to water)

초정지구와 미원지구는 면 경계를 이루는 동북방향의 산능선을 기준으로 초정은 금강수계, 미원은 한강수계로 분할되는 단위 유역을 갖는다. 따라서 행정구역별로 관정 현황을 분석하면 이는 곧 수계별 분석과 일치한다. 초정지구는 단위 면적 당 관정 밀집도가 38.4 개소/㎢로 미원지구의 6.5개소/㎢에 비하여 상

대적으로 높은데, 이는 초정리 지역에 암반관정과 소형관정이 밀집되어 있기
때문으로 분석된다 <표 4-3> <표 4-4>.

지하수환경에 대한 현장조사로 관정 조사는 '97년 4~6월과 '97년 10~11월
사이 두 차례의 조사로 지하수 갈수기 및 풍수기의 전반적인 수위변화를 비교
할 수 있는 자료를 수집하였다.

<표 4-3> 초정·미원지구 관정현황 (단위 : 개소, 톤/년)

구 분	계		암 반 관 정		소 형 관 정		가 정 용 관 정	
	시 설 수	이 용 량	시 설 수	이 용 량	시 설 수	이 용 량	시 설 수	이 용 량
계	2,093	3,186,402	326	1,335,361	846	1,517,705	921	334,036
초 정	1,242	2,331,397	198	861,726	659	1,184,765	385	284,906
미 원	851	855,005	128	473,635	187	332,240	536	49,130

<표 4-4> 초정·미원지구 용도별, 규모별 관정 현황 (단위 : 개소)

구 분		계		암 반 관 정		소 형 관 정		경 미 한 시 설 (가 정 용)	
		공 수	이 용 량	공 수	이 용 량	공 수	이 용 량	공 수	이 용 량
계		2,093	3,186,402	326	1,335,361	846	1,517,005	921	334,036
초 정	소 계	1,242	2,331,397	198	861,726	659	1,184,765	385	284,906
	생활용	480	400,197	94	114,926	1	365	385	284,906
	농업용	691	1,271,100	33	86,700	658	1,184,400	-	-
	공업용	48	660,100	48	660,100	-	-	-	-
	기타	23	-	23	-	-	-	-	-
미 원	소 계	851	855,005	128	475,835	187	332,240	536	49,130
	생활용	583	221,085	41	169,765	6	2,190	536	49,130
	농업용	209	416,050	29	89,650	180	326,400	-	-
	공업용	14	217,870	13	214,220	1	3,650	-	-
	기타	45	-	45	-	-	-	-	-

특히 소형관정은 조사지역의 전반적인 수리상황을 파악하고자 농경지에 분포하는 농업용 소형관정의 위치와 지하수위를 중점적으로 조사하였으며, 자연부락에 설치되어 있는 가정용 소형관정은 지하수위 측정이 불가능하고 지하수환경에 미치는 영향이 상대적으로 적어 본 조사에서는 제외하였다 <표 4-5>.

<표 4-5> 초정지구 암반 및 소형관정 시설현황 (단위:개소, 톤/년)

위 치		계		암 반 관 정		소 형 관 정	
면	리	시설수	이용량	시설수	이용량	시설수	이용량
계		857	2,046,491	198	861,726	659	1,184,765
북 일	소 계	513	1,396,626	184	805,861	329	590,765
	비 상	17	29,165	-	-	17	29,165
	비 중	19	42,600	2	12,000	17	30,600
	세 교	67	108,600	10	6,000	57	102,600
	우 산	103	343,750	17	188,950	86	154,800
	저 곡	63	108,000	3	-	60	108,000
	초 정	164	613,311	150	588,111	14	25,200
	학 평	35	63,000	-	-	35	63,000
	형 동	45	88,200	2	10,800	43	77,400
북 이	소 계	344	649,865	14	55,865	330	594,000
	서 당	63	113,400	-	-	63	113,400
	석 화	58	116,100	1	13,500	57	102,600
	선 압	45	80,165	4	6,365	41	73,800
	영 하	55	102,600	3	9,000	52	93,600
	호 명	123	237,600	6	27,000	117	210,600

관정 위치도 및 지하수위 자료는 기존의 초정·미원지구 환경영향조사 시

구축한 『지하수 정보관리 전산시스템』의 속성자료에서 추출·이용하였다. 동 전산시스템은 GIS ARCVIEW 프로그램을 이용하여 국립지리원에서 발간하는 초정·미원지역 1:5,000 수치지도를 구입한 후 현장조사에서 찾아낸 관정 위치를 대형관정 (암반관정), 소형관정, 타설관정 등 규모별로 분류하였고, 이용자, 지번, 심도, 사용용도 등 제반 관정내역을 규정된 양식으로 수록하였다 (그림 4-2).

본 조사지역에 대한 지하수위는 초정지구와 미원지구에 대해 각 각 91공과 42공에 대해 실측한 값을 이용하였다. 각 지구별로 수위측정공에 대한 경·위도자료는 GPS (Global Positioning System) 측위 시스템을 이용하여 10×10×10 cm의 오차범위 내로 측정하였다 <표 4-6><표 4-7>.

추출된 지하수위는 각 지구별로 수치도면에 입력시키고, 이들을 Arc/info의 공간분석을 이용하여 등수위선도를 작성하였다. 이러한 등수위선도는 가로, 세로 5×5 m의 격자망을 구성하여 격자망별로 값들을 추출하여 등급을 매긴 후 이들 값에 가중치 5를 곱하여 각 cell별 대표값을 구하였다 (그림 4-3).

본 연구지역은 지하수위의 깊이에 대한 DRASTIC 모델 중 2개 등급으로 나눌 수 있는데, 분석 결과 등급 7와 9인 지역이 대부분을 차지한다 (그림 4-3). 이는 본 연구지역의 지하수위까지의 깊이가 비교적 낮아서 오염 가능성이 높다는 것을 지시한다.

<표 4-6> 초정지구 지하수위 실측자료

관정번호	X 좌표	Y 좌표	사용여부	리	자연수위	해발수위
71441136	251362.078	357342.000	사용중	비중	0.00	62.80
71441137	251371.469	357377.531	사용중	비중	0.00	63.00
71441139	250322.266	354564.000	사용중	형동	0.00	118.20
71441144	249333.000	357798.000	사용중	서당	3.40	56.60
71441147	253352.500	357954.250	사용중	우산	0.10	99.90
71441148	253234.531	357911.094	사용중	우산	1.38	98.62
71441155	253764.422	357636.500	사용중	초정	0.00	100.00

<표 4-6> 초정지구 지하수위 실측자료 (계속)

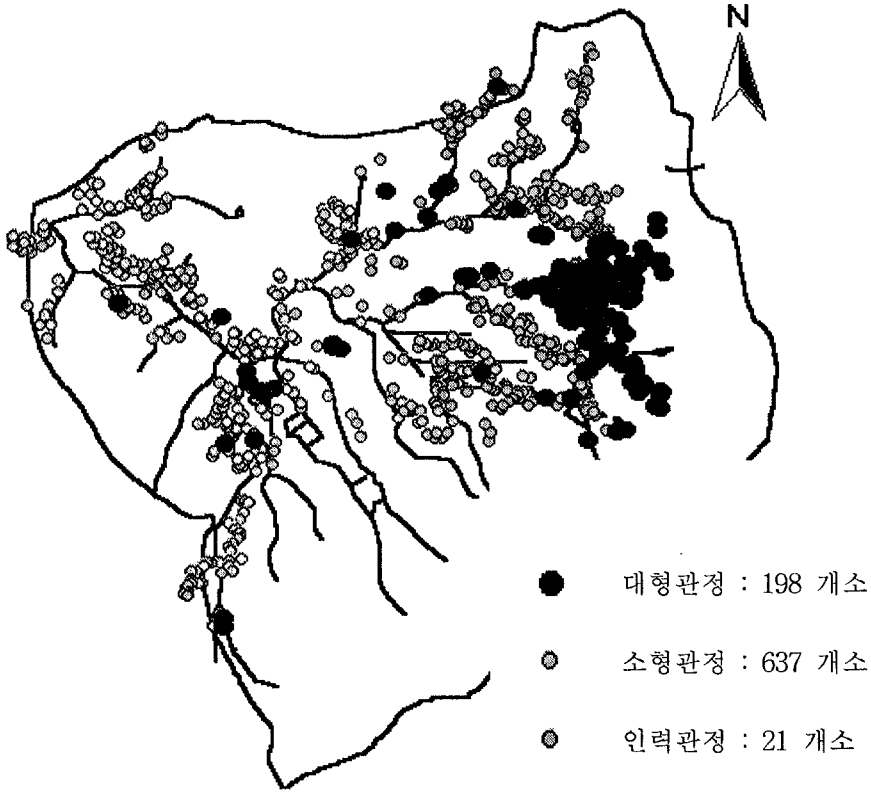
관정번호	X 좌표	Y 좌표	사용여부	리	자연수위	해발수위
71431001	253328.156	358563.688	사용중	호명	63.00	28.90
71431002	253313.047	358586.344	사용중	호명	70.80	20.40
71431003	253300.266	358626.406	사용중	호명	49.50	40.90
71441001	254396.344	356756.938	사용중	초정	0.00	167.40
71441002	254447.750	356727.781	미사용	초정	3.40	167.80
71441003	254436.906	356864.438	미사용	초정	0.00	154.30
71441004	254267.391	356916.969	사용중	초정	26.10	114.80
71441006	254164.969	356991.531	미사용	초정	3.61	131.39
71441007	254281.750	356969.875	미사용	초정	5.18	131.32
71441008	254194.656	357007.812	사용중	초정	7.78	124.22
71441009	254210.469	357070.281	사용중	초정	13.14	111.56
71441010	254087.141	357162.938	사용중	초정	8.82	111.18
71441011	254178.062	357178.750	사용중	초정	8.64	111.36
71441012	254106.406	357161.781	미사용	초정	0.00	120.00
71441013	254039.938	357208.875	사용중	초정	10.37	104.63
71441014	253926.484	357277.000	사용중	초정	0.00	107.60
71441015	253988.719	357278.625	미사용	초정	2.16	107.44
71441016	253840.312	357192.469	사용중	초정	5.18	100.72
71441017	253837.938	357338.594	사용중	초정	0.00	101.00
71441018	253751.484	357389.031	미사용	초정	15.64	84.36
71441020	254100.234	357465.125	미사용	초정	0.00	117.20
71441021	254121.094	357463.469	미사용	초정	7.40	111.70
71441022	254054.359	357612.625	미사용	초정	13.09	105.41
71441023	253959.266	357633.625	미사용	초정	6.17	101.03
71441028	253751.531	357628.375	사용중	초정	0.00	100.00
71441029	253691.531	357620.312	미사용	초정	0.00	100.00
71441030	253737.969	357661.562	사용중	초정	11.98	88.02
71441031	253883.125	357681.219	사용중	초정	8.62	91.38
71441032	253706.766	357629.719	사용중	초정	0.00	100.00
71441033	253794.953	357631.062	사용중	초정	14.40	85.60
71441035	253751.594	357836.812	미사용	초정	9.63	90.37
71441046	253638.734	357799.281	미사용	초정	13.32	86.68
71441047	253601.203	357803.469	미사용	초정	13.10	86.90
71441048	253597.031	357819.312	미사용	초정	0.00	100.00
71441049	253574.516	357804.312	미사용	초정	6.90	93.10
71441050	253441.844	357846.625	사용중	초정	0.00	100.00
71441051	253441.875	357811.812	미사용	초정	5.14	94.86
71441052	253408.516	357830.156	미사용	초정	2.92	97.08
71441053	253411.016	357861.000	미사용	초정	0.00	100.00
71441054	253614.547	357917.000	미사용	초정	3.55	96.45
71441055	253749.688	357879.500	미사용	초정	0.00	100.00
71441060	253833.094	357894.500	미사용	초정	13.15	86.85

<표 4-6> 초정지구 지하수위 실측자료 (계속)

관정번호	X 좌표	Y 좌표	사용여부	리	자연수위	해발수위
71441061	253861.453	357907.812	미사용	초정	6.20	93.80
71441062	253865.625	357869.500	미사용	초정	7.28	92.72
71441063	253973.312	357901.156	미사용	초정	7.45	95.45
71441064	253919.938	358004.500	미사용	초정	2.62	97.38
71441065	254127.406	357794.719	사용중	초정	0.00	120.00
71441066	254162.672	357803.656	미사용	초정	0.00	120.00
71441069	253989.125	357919.688	사용중	초정	14.57	88.23
71441070	254001.328	357949.125	사용중	초정	4.16	98.74
71441071	254036.906	357959.281	사용중	초정	0.00	107.10
71441072	254044.031	357979.625	사용중	초정	0.00	106.90
71441074	254142.312	357943.250	미사용	초정	6.92	109.88
71441075	254172.344	357971.562	미사용	초정	4.15	113.75
71441078	254178.188	357926.562	미사용	초정	4.78	115.22
71441079	254167.344	358024.906	미사용	초정	0.00	115.10
71441081	254101.438	358051.562	미사용	초정	3.06	106.44
71441082	254107.281	358079.062	미사용	초정	2.45	108.75
71441085	254268.047	358211.031	사용중	초정	13.10	106.90
71441086	254307.703	358244.562	사용중	초정	7.96	112.04
71441093	254408.406	358606.250	미사용	초정	3.65	145.65
71441096	253898.203	358374.594	사용중	초정	50.68	64.32
71441097	253876.516	358342.094	사용중	초정	0.00	115.30
71441098	253801.453	358335.438	사용중	초정	0.00	114.50
71441101	253852.328	358276.250	사용중	초정	0.00	120.00
71441103	253884.859	358397.938	사용중	초정	52.45	58.85
71441104	253934.078	358415.438	사용중	초정	56.82	57.28
71441107	253908.297	358111.656	사용중	초정	0.00	100.00
71441108	253851.453	358065.406	미사용	초정	12.79	87.21
71441109	253865.625	358082.906	미사용	초정	13.23	86.77
71441110	253834.062	358025.844	사용중	초정	10.20	89.80
71441111	253904.828	358041.250	미사용	초정	3.07	96.93
71441112	253836.562	358035.844	사용중	초정	0.00	100.00
71441113	253971.562	358002.906	미사용	초정	4.01	95.99
71441114	253805.703	358146.656	사용중	초정	0.00	103.20
71441117	253798.188	358106.656	사용중	초정	14.47	85.53
71441118	253778.047	358048.750	미사용	초정	13.39	86.61
71441120	253745.516	357996.812	미사용	초정	9.30	90.70
71441122	253639.703	357961.656	사용중	초정	2.67	97.33
71441123	253629.562	357928.500	미사용	초정	0.00	100.00
71441126	253662.938	358085.156	미사용	초정	4.30	95.70
71441127	253477.750	358043.500	미사용	초정	2.11	97.89
71441128	253502.766	358070.156	미사용	초정	0.00	100.00
71441131	254029.125	356499.188	미사용	우산	14.30	134.00

<표 4-7> 미원지구 지하수위 실측자료

관정번호	X 좌표	Y 좌표	사용여부	리	자연수위	해발수위
71321003	254727.578	354755.656	사용중	대신	0.00	300.00
71321005	254297.859	354375.250	미사용	대신	2.65	317.35
71321006	254348.812	354384.625	미사용	대신	6.18	313.82
71321007	254283.141	354362.312	미사용	대신	3.75	316.25
71321008	254275.922	354379.875	미사용	대신	6.75	313.25
71321009	254283.094	354402.188	미사용	대신	7.67	312.33
71321011	255835.500	354562.750	사용중	대신	2.50	296.00
71321012	256226.797	354891.375	사용중	종암	11.43	270.47
71321016	261863.625	354487.906	사용중	기암	3.20	231.00
71321017	262110.750	354385.250	사용중	기암	3.10	222.50
71321020	263151.312	353889.594	사용중	기암	0.00	220.00
71321023	254843.266	351203.406	미사용	화창	1.58	278.42
71321024	255286.172	351761.938	미사용	가양	0.00	280.00
71321025	259587.656	352153.625	사용중	종리	0.00	295.60
71321036	263666.938	352706.750	미사용	구방	7.83	205.37
71321037	263319.531	352016.500	미사용	구방	4.30	199.60
71321038	258616.750	349722.156	사용중	내산	0.00	240.00
71321039	258560.250	349396.594	미사용	내산	2.60	237.40
71321043	258511.281	348233.906	사용중	미원	0.00	240.00
71321045	259018.562	348509.281	사용중	미원	3.22	236.78
71321046	260149.828	349537.438	미사용	쌍이	6.05	253.95
71321047	260167.312	349417.375	미사용	쌍이	8.18	251.82
71321048	260243.859	349440.438	미사용	쌍이	10.00	260.00
71321049	260256.875	349405.938	미사용	쌍이	12.93	263.57
71321050	260260.391	349386.188	미사용	쌍이	14.33	264.97
71321051	260289.578	349491.750	미사용	쌍이	5.05	262.65
71321052	260291.234	349450.125	미사용	쌍이	5.73	267.07
71321054	260324.906	349431.438	미사용	쌍이	2.70	277.30
71321056	260368.625	349407.281	미사용	쌍이	0.30	279.70
71321057	260384.234	349391.188	미사용	쌍이	4.40	281.50
71321058	260400.984	349375.375	미사용	쌍이	5.10	287.50
71321060	258820.125	346433.719	미사용	성대	2.01	217.99
71321061	258870.672	346377.531	사용중	성대	7.75	212.25
71321063	259634.562	347547.594	사용중	미원	0.00	262.10
71321064	262662.938	346173.250	사용중	목화	7.05	212.95
71321065	263160.094	347155.844	사용중	월용	2.45	217.55
71321075	260799.578	346274.156	미사용	운암	0.00	260.00
71321076	260810.766	346311.469	미사용	운암	3.42	256.58
71321077	260206.844	344213.125	미사용	운암	0.00	259.70
71321079	260343.672	344189.844	미사용	운암	0.00	240.00
71321080	260411.719	344184.375	미사용	운암	0.00	233.20
71321081	260664.219	344613.969	사용중	운암	12.55	216.25

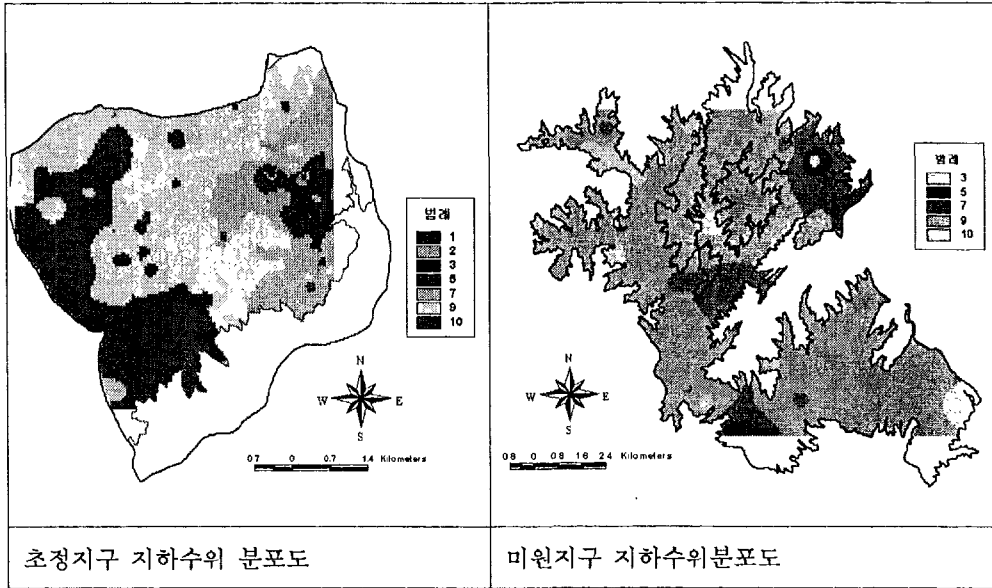


(그림 4-2) 충청지구 기설관정 위치도

충청지구에 대한 지하수위는 1차 지하수위 ('97. 4~6월) 조사기간과 2차 지하수위 ('97.10~11월) 조사기간 중에 관측된 자료를 근거로 전반적으로 상승된 결과가 나타나는데, 이는 풍수기 동안의 강우에 의한 함양조건 이외에도, 약 31%의 미사용 관정과 물 관련 업체에 대한 지속적인 허가량 제한으로 사용량의 감소에 따른 결과로 분석된다. 따라서 충청지구의 경우는 향후 미사용 관정을 포함한 취수량의 증가 또는 취수공의 증가는 지하수위의 강하가 발생할 가능성이 매우 높음을 알 수 있다

그림 (4-3)에서 볼 수 있듯이 기존기법으로 작성시 지하수위 자료가 없는 산악지역은 빈공간으로 표시되었다. 일부 기존 연구에서는 이러한 지역을 단순

외삽법으로 자료를 추정하여 무리하게 작성하는 경우가 있으나 오염취약성도 분석에 신뢰성이 떨어진다.



(그림 4-3) 기존기법에 의한 초정·미원지구 지하수위 분포도

3) 지하수 함양율 (net Recharge)

초정·미원지구 지하수환경영향조사에서는 다양한 기법으로 함양율 산출을 검토한 바 있다. 본 연구에서는 그 중 미국 토양보전국에서 개발한 SCS-CN 기법에 의한 함양율 산출자료를 활용하였다.

조사지역 인근 청주기상관측소의 10년 간(1988~1997) 월별 강수량 평균값은 <표 4-8>와 같으며, 연중 최고값은 8월 중으로 275.3 mm로, 최저값은 1월 중으로 26.7 mm를 기록하였다. 이로부터 우리나라 연중 강수량의 계절별 변동으로 여름철에는 강수가 집중되고 그 외 기간은 강수량이 적음을 알 수 있다. 또한 연평균 강수량은 1,180.6 mm로 우리나라 연평균 강수량인 1,274 mm보다 다소 적음을 알 수 있다. 또한 강수의 계절적 특성으로는 6~9월 사이의 강수

량이 연 강수량의 67.1%로 여름철에 집중하고 있음을 알 수 있다.

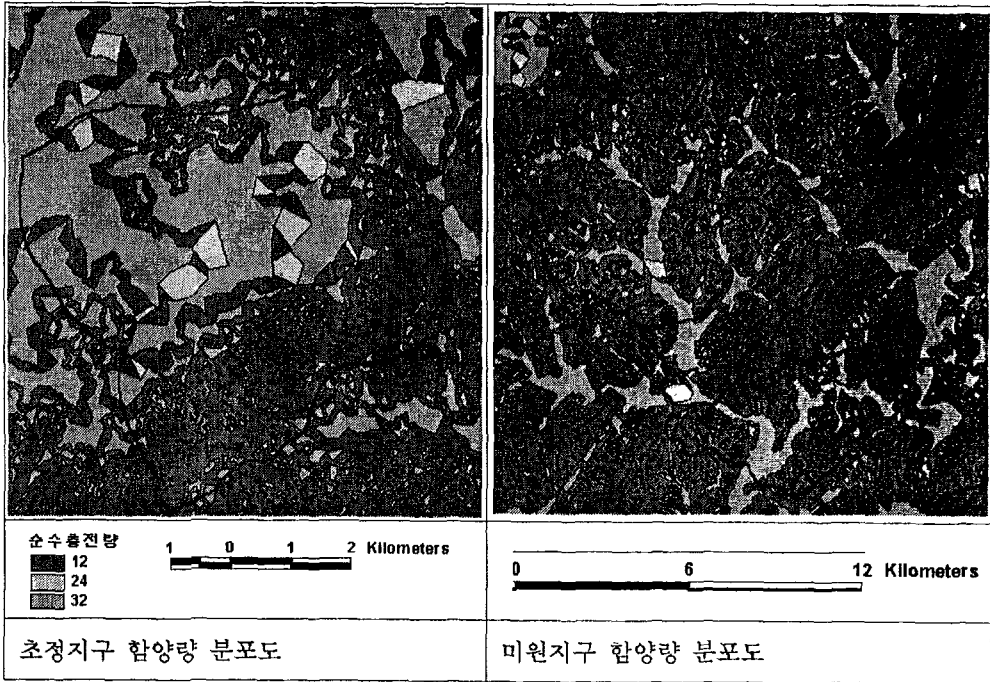
10년 동안 최고 강수량은 1995년 8월의 835.4 mm, 최저 강수량은 1990년 10월중 3.1 mm이고, 연중 강수총량은 1990년 1,473.7 mm로 최대를, 1988년 878.9 mm로 최저를 기록하였다 <표 4-8>.

<표 4-8> 월별 강수량 (청주기상관측소) (단위 : mm)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
1988	12.4	3.5	45.8	50.4	39.3	75.7	385.9	162.3	51.2	5.2	19.9	27.3	878.9
1989	65.3	62.8	82.8	17.3	56.1	180.3	303.0	127.8	273.4	24.7	64.0	22.8	1,280.3
1990	72.1	99.2	60.2	75.0	76.5	282.8	264.0	247.9	189.1	3.1	68.1	35.7	1,473.7
1991	21.2	47.3	57.5	71.6	88.5	99.6	357.3	79.8	213.0	17.0	21.4	69.4	1,143.6
1992	13.5	16.3	29.6	110.1	100.3	28.7	141.7	263.9	176.9	27.4	42.2	39.5	990.1
1993	7.3	75.4	33.1	54.6	127.2	118.8	254.0	378.1	126.6	39.6	66.9	20.2	1,301.8
1994	13.3	12.8	54.2	21.3	108.8	140.5	85.5	318.5	48.1	160.1	29.6	19.3	1,012.0
1995	21.5	14.0	34.4	64.0	70.7	30.9	204.9	835.4	17.5	22.6	20.3	3.6	1,339.8
1996	27.9	4.2	98.4	28.6	36.8	255.8	170.5	128.6	11.2	67.1	77.2	22.5	928.8
1997	12.9	39.1	31.6	58.5	179.1	210.3	425.5	211.1	55.5	8.40	180.3	44.3	1,456.6
평균	26.7	37.5	52.8	55.1	88.3	142.3	259.2	275.3	116.3	37.5	59.0	30.5	1,180.6
최대	72.1	99.2	98.4	110.1	179.1	282.8	425.5	835.4	273.4	160.14	180.3	69.4	835.4
최소	7.3	4.2	29.6	17.3	36.8	28.7	85.5	79.8	11.2	3.1	19.9	3.6	3.1

일반적으로 지하수 순수 충전량은 지표수수문 조사자료를 위주로 분석하는 경우가 많으며, 수문실측 조사가 아닌 경우는 기존의 수문보고서 상의 우리나라 대수계별 평균값을 인용하기도 한다. 본 지구에서는 기상자료 통계분석과 지표수 수문조사, 토양 침출율 조사자료, 토양도와 토지 이용도, 지하수위자료 등 제반 지하수 수문자료를 이용한 지하수 모델분석에 의하여 충전량을 산출하였다.

강우량에 대한 정보는 청주기상대의 10년 간의 기상자료를 이용하였고, 유출량은 하천 수위를 실측하여 자료를 분석하였다. 그러나 그 외의 요인들은 추정값을 적용해야 하기 때문에 본 조사에서는 GIS를 이용한 지형 경사도 분석자료를 토대로 구분하였다. 이때 경사도는 0~2%, 2~6%, 6% 이상의 3가지로 구분하여 입력하였다 (그림 4-4).



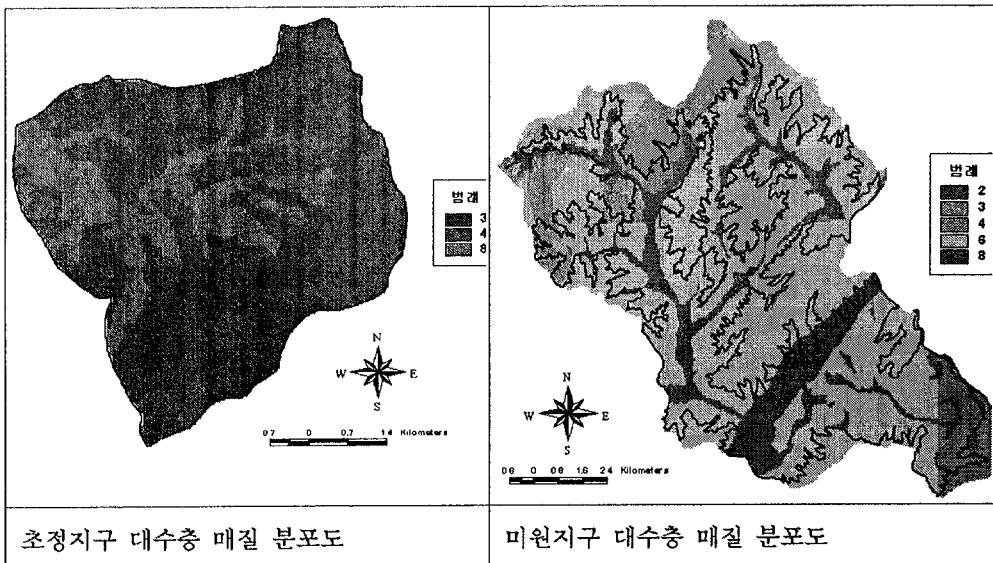
(그림 4-4) 초정·미원지구 함양량 분포도

4) 대수층 매질 (Aquifer media)

초정지구의 지질은 옥천변성대에 속하는 캄브리아기, 후기오르도비스기의 퇴적기원 변성퇴적암류와 이를 관입한 주라기 청주화강암과 백악기의 석영반암 및 산성암맥 그리고 신생대 제4기 충적층으로 구분된다 (이종혁 외, 1980). 초정지구 일대의 지질은 대부분 주라기 관입 화성암류로 초정리 일대에서는 저반상으로 분포되어 있고, 인경리와 화청리에 압주상으로 노출되어 있다. 화강암은 정장석의 반정이 흔히 포함되는 거정질 반상화강암이며 흑운모, 각섬석이

소량 포함된다. 백암류는 산성암맥이 대부분이며 절리의 발달이 뚜렷하고 일부 석영반정을 포함하기도 한다.

미원지구 충적층은 주로 화강암류 지역에 발달되는 하천의 현세퇴적물은 주로 모래와 얽은 자갈대가 협재되는 비교적 두꺼운 퇴적물을 이루고 있으나 옥천계 지질에 발달된 충적층은 자갈이 우세하고 모래층은 희소하고 두께가 빈약하다. 캄브리아기-후기오르도비스기의 사질암, 사질 천매암등의 변성퇴적암류는 미원지구 전역에 넓게 분포되며 각 지층은 대체로 N50~70° E의 층리방향과 50~60° NW경사를 나타내고 있다. 구성암석은 저변성내지 열변성된 사질암이나 층간에는 이질암이 협재되거나 세맥의 페그마타이트가 주입되기도한다. 또한 각섬암이 호상으로 배태되고 이질암류는 천매암화되었고 심한 변형을 받았다.

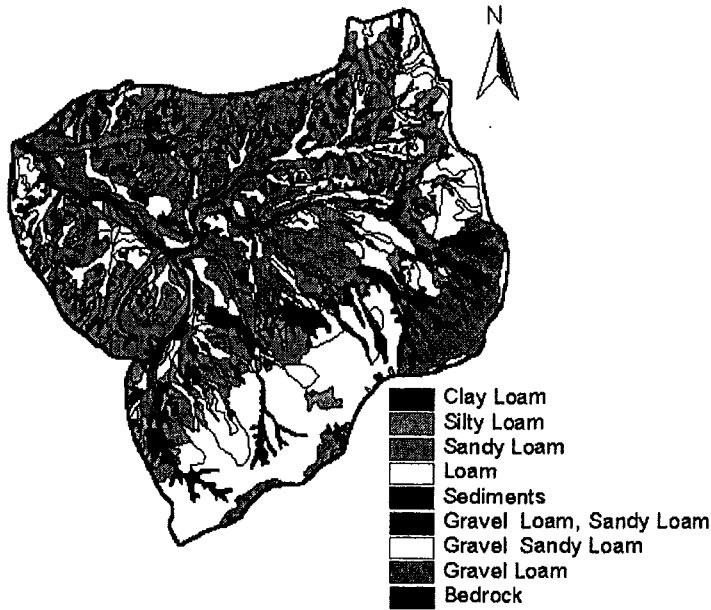


(그림 4-5) 초정·미원지구 대수층 매질 분포도

초정·미원 지구에 대한 대수층 구성매질은 지체구조조사에서 얻어진 지질도를 기초로 하였고, 각 지질별로는 본 지구내의 화강암류, 암맥류 및 창리층은 3점을 적용하였고, 운교리규암층, 화전리층 및 문주리층은 5점을 적용하였다. 또한 운교리층, 미동산층 및 황강리층은 6점으로 하였다 (그림 4-5).

5) 토양매질 특성 (Soil media)

초정·미원 지역의 토양은 지형적인 조건에 따라 크게 2부분으로 나눌 수 있으며, 하나는 기복이 낮은 언덕과 계곡으로 이루어지는 저지대이고 다른 하나는 이들을 내려다보는 산지사면 지역이다. 초정지구는 전자에 해당되는 지역이 대부분을 차지하며 미원지구는 후자가 더 우세한 편이다. 이러한 지형적인 분포는 이 지역의 지질분포와 밀접한 관계를 가지고 있는데, 전자는 주로 화강암질 암석이 분포된 지역이며 후자는 주로 육천층군인 변성퇴적암류가 분포된 지역이다.



(그림 4-6) 초정지구 토양도

화강암 지역의 풍화토는 보통 10 m 이상이며 곳에 따라 20~30 m를 넘기도 하지만 변성퇴적암 지역은 일반적으로 이보다 풍화심도가 얇다. 오염취약성도에서의 토양매질 특성은 토양내 침출율과 관련되므로 정밀 토양도에서의 다양한 특성에 의한 정밀 분류를 등급화하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 여기서

는 토양특성 뿐만 아니라 토지이용도에 따른 특성을 고려하기 위하여 SCS-CN 기법으로 토양별 침출을 등급을 달리 산정하였다.

가) 토양별 토지이용별 침출을 분류

유역의 토양특성은 강수로 인한 유출과정이 직접적인 영향을 미칠수 있는데, 토양성질에 따라 침투능이 다르므로 총 유량 중 직접유출량의 크기도 다를 수 밖에 없다. 그러나 토양의 성질을 양적으로 표시하는 것이 현실적으로 불가능하므로, 미국 토양조사국 (SCS)에서는 유출에 영향을 미치는 토양의 종류나 토지이용 및 관리상태 등을 기초로 하여 수문학적인 토양피복군 (Hydrological soil group)을 4가지 그룹으로 분류하였고, 토지이용, 피복상태 및 수문토양군 별로 유출곡선지수를 정리하여 제시하였다 <표 4-9>. 토양은 성질과 종류에 따라 크게 A, B, C, D 4가지의 형태로 나뉘어 질 수 있는데 이들 토양에 대한 침투능은 A, B, C, D 순으로 작아지며 유출률은 반대로 커지는 관계가 있다 (윤용남, 1998).

<표 4-9> 토양의 성질 및 종류에 따른 토양형의 분류

토양형	토양의 성질	토양 종류
Type A	- 낮은 유출률 - 침투율이 대단히 크며 자갈이 있는 부양질 - 배수 매우 양호	모래, 자갈, 사토, 양질사토, 양질세사토, 세사양토
Type B	- 침투율이 대체로 크고, 돌/자갈이 섞인 사질토 - 배수 대체로 양호	미사질양토, 양토
Type C	- 침투율이 대체로 작고, 세사질 토양 - 배수 대체로 불량	사질식양토
Type D	- 높은 유출률 - 침투율이 대단히 작고, 점토질 종류의 토양으로 거의 불투성 - 배수 대단히 불량	식양토, 미사질식양토, 사질식토, 미사질식토, 식토

다양한 토양 형태를 침출율과 관련하여 크게 A, B, D 로, 토지이용별로는

a, b, c 로 재분류 하였다. 본 지구에 대한 토지이용자료는 현재 본 지역에 대한 토지이용도에 대한 전산화가 이루어져 있지 않기 때문에 본 보고서에서는 수치지형도를 기초로 경사도에 의하여 임야지역과 경작지를 구분하였고, 1 : 5,000 지형도를 기초로 경작지를 논과 밭으로 구분하였다.

조사지구에 대한 토양형별 면적분포와 지구별로 토지이용별 토양형의 면적은 Arc/info의 grid를 이용 전체면적을 5×5 m의 격자망으로 구획한 후, 각 격자망에 대한 값들을 Query명령어를 이용하여 산출하였다 <표 4-10><표 4-11><표 4-12>.

<표 4-10> 지구별 토양형 분류 및 분포 면적

토양형	토양 종류	초정지구 토양형별 분포면적(m ²)	미원지구의 토양형별 분포면적(m ²)
Type A	미사양토, 암괴와 각력이 있는 사양토, 암괴와 각력이 있는 양토, 자갈과 모래를 주로한 하도 퇴적물	10,558,775	96,546,025
Type B	사양토, 양토, 자갈이 포함된 양토-사양토	21,262,325	26,231,800
Type D	식양토, 암석지	170,450	3,364,375

<표 4-11> 초정지구에 대한 토지이용별 토양형 분포 면적(단위 : m²)

	Type a	Type b	Type c
논	2,088,888	10,672,398	143,616
밭	507,983	3,548,285	1,019
산림	7,916,677	7,042,997	26,072

<표 4-12> 미원지구에 대한 토지이용별 토양형 분포 면적(단위 : m²)

	Type a	Type b	Type c
논	11,922,149	4,295,029	242,516
밭	19,748,695	8,238,275	472,492
산림	64,873,329	13,698,875	2,649,872

나) 유역의 토지이용상태, 식생피복 처리상태 및 토양의 수문학적 조건

총우량과 직접유출량간의 관계는 유역의 토양종류 뿐만 아니라 유역의 토지 이용상태와 처리상태에 따라서도 크게 좌우된다. SCS는 주로 농경지역에 대해 토지이용상태, 식생피복처리상태 및 토양의 수문학적 조건 등을 <표 4-13>에서와 같이 여러가지로 분류하였고, 토양형과 피복상태 및 불투수율에 따라 총우량에 대한 직접유출량의 잠재력을 표시하는 유출곡선지수 (runoff curve number, CN)를 부여하였다.

본 연구에서 이용된 CN 값은 토양-피복형별 유출곡선지수를 이용하여 토지 그룹별로 평균값을 구하였다 <표 4-13><표 4-14><표 4-15>.

<표 4-13> 초정지구의 SCS-CN값(면적단위 : km²)

토지이용		A		B		D		면적계	평균 CN	토지구분별 평균 CN
		면적	CN	면적	CN	면적	CN			
농경지	전	0.51	65	3.55	76	0.001	88	4.061	74.62	76.13
	답	2.09	70	10.67	79	0.144	88	12.904	77.64	
임야	보통	7.92	43	7.04	65	0.026	82	14.986	53.40	53.40
계		10.52		21.26		0.171		31.951		

<표 4-14> 농경지역 및 삼림지역의 토양-피복형별 유출곡선지수, CN
(AMC-II, $I_a=0.2S$ 일 때; 윤용남, 1998)

토지이용상태	식생피복처리상태	토양의 수문학적 조건	토양형			
			A	B	C	D
휴경지	경사경작	—	77	86	91	94
이랑경작지	경사경작	배수나쁨	72	81	88	91
		배수좋음	67	78	85	89
	등고선경작	배수나쁨	70	79	84	88
		배수좋음	65	75	82	86
	등고선, 테라스경작	배수나쁨	66	74	80	82
		배수좋음	62	71	78	81
조밀경작지	경사경작	배수나쁨	65	76	84	88
		배수좋음	63	75	83	87
	등고선경작	배수나쁨	63	74	82	85
		배수좋음	61	73	81	84
	등고선, 테라스경작	배수나쁨	61	72	79	82
		배수좋음	59	70	78	81
콩과식물 또는 윤번초지	경사경작	배수나쁨	66	77	85	89
		배수좋음	58	72	81	85
	등고선경작	배수나쁨	64	75	83	85
		배수좋음	55	69	78	83
	등고선, 테라스경작	배수나쁨	63	73	80	83
		배수좋음	51	67	76	80
목초지 또는 목장		배수나쁨	68	79	86	89
		배수보통	49	69	79	84
		배수좋음	39	61	74	80
	등고선경작	배수나쁨	47	67	81	88
		배수보통	25	59	85	83
		배수좋음	6	35	70	79
초지		배수좋음	30	58	71	78
삼림		배수나쁨	45	6	77	88
		배수보통	36	60	73	79
		배수좋음	25	55	70	77
관목숲	매우 듅성듅성	—	56	75	89	91
농가		—	59	74	82	86

<표 4-15> 미원지구의 SCS-CN값(면적단위 : km²)

토지이용		A		B		C		D		면적계	평균 CN	토지그룹별 평균 CN
		면적	CN	면적	CN	면적	CN	면적	CN			
농경지	전	19.75	65	8.24	76	-	84	0.47	88	28.46	70.22	71.42
	답	11.92	70	4.30	79	-	84	0.24	88	16.46	72.61	
임야	보통	64.87	43	13.70	65	-	76	2.65	82	81.22	47.98	53.40
계		96.54		26.24				3.36		126.14		

다) 유역의 선행토양함수조건

총강수량과 직접유출량간의 관계분석에 있어서 5일 혹은 30일 선행강수량은 한 유역의 선행토양함수조건을 대변하는 지표로 흔히 사용된다. 즉 동일한 강수가 내린 경우 선행강수량이 많으면 유역 토양의 습윤도가 높으므로 유출률 즉 직접유출량이 상대적으로 많아질 수 있지만, 선행강수량이 적을 경우에는 침투손실이 커지므로 직접유출량이 적어진다.

SCS에서 기준으로 삼고 있는 선행토양함수조건 (Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)은 1년을 성수기 (growing season)와 비성수기 (dormant season)로 나누고, 5일 선행강수량의 크기에 따라 유역의 습윤정도를 분류하여 각 경우에 대하여 다음과 같이 3가지 조건으로 구분하고 있다 <표 4-16>.

<표 4-16> 선행토양함수조건의 분류 (윤용남, 1998)

AMC Group	5일선행강수량, P ₅ (mm)		구 분
	비성수기	성수기	
AMC-I	P ₅ < 12.70	P ₅ < 35.56	유역의 토양은 대체로 건조상태에 있어서 유출률이 대단히 낮은 상태
AMC-II	12.70 < P ₅ < 27.94	35.56 < P ₅ < 53.34	유출률이 보통인 상태
AMC-III	27.94 < P ₅	53.34 < P ₅	유역의 토양이 수분으로 거의 포화되어 있어서 유출률이 대단히 높은 상태

라) 총우량-직접유출량 관계 모형

SCS는 총우량과 직접유출량 간의 관계를 다음과 같은 식으로 표시하였다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

P : 호우별 총우량 (mm)

I_a : 강수 초기의 손실우량 (mm)

S : 유역의 최대잠재보유수량(potential maximum retention, mm)

Q : 직접유출량 (mm)

또한 SCS는 초기손실 I_a 는 유출이 시작되기 전에 발생하는 차단, 침투, 지면 저류 등을 포함하며 최대잠재보유수량 S 와는 아래식으로 가정하였다.

$$I_a = 0.2S$$

위의 두 식으로부터 총우량(P)-직접유출량(Q) 관계를 구할 수 있다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P - 0.2S) + S} = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

여기서 유역의 최대잠재보유수량 S 는 토양이나 토지이용 및 식생피복처리상태 등 수문학적 토양-피복형 (hydrologic soil-cover complexes)의 성질을 대변하는 것으로서 한 유역의 유출능력을 표시하는 유출곡선지수 CN과는 다음과 같은 관계가 있다.

$$CN = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{혹은} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

그러므로 구해진 유출곡선지수 CN을 구하여 위식에 대입함으로써 최대잠재보유수량 S 를 구할 수 있다.

그러나 최대잠재보유수량 S 는 선행토양함수조건 (AMC)에 따라 상이한 값을 가지며 위에서 구한 Q 는 AMC-II의 조건에서의 유출곡선지수 CN으로부터 구한 값이므로, 각 선행토양함수조건 AMC-I, AMC-II, AMC-III에 아래의 식으로 유출

곡선지수 CN을 구함으로써 각 조건에 맞는 총우량(P)-직접유출량(Q) 관계로부터 직접유출량 Q를 구하여야 한다.

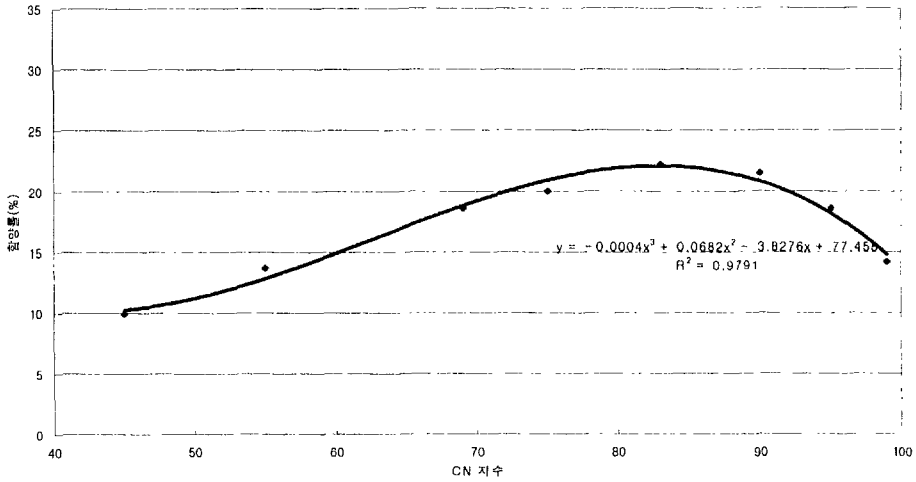
$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

이와같은 침투량 공식들을 적용하기 위하여 본 조사에서는 청주기상대의 강수량자료를 이용하였는데, 1986~1997(12년) 기간의 일별 강수량을 그 선행조건 (AMC)별로 분류하여 앞의 식들에 적용하였다. 본 조사에서는 각 조건을 식들에 대입하여 구하는 것이 번잡하므로 몇 개의 대상 CN값 별로 구해진 함양률로서 그래프를 작도 한 후에 회귀방정식을 구하여 역으로 대입하는 방법을 이용하였다 <표 4-17>(그림 4-7).

<표 4-17> 조사지구에서 CN값에 대한 함양률 변화

연 도	강수량	연 침 투 량(mm)							
		CN45	CN55	CN69	CN75	CN83	CN90	CN95	CN99
1988	878.9	56.0	100.5	159.1	179.4	195.4	205.1	177.1	131.8
1989	1280.3	115.1	183.2	211.0	243.0	292.5	305.4	256.3	191.4
1990	1473.7	186.8	248.7	297.6	298.4	302.3	289.9	262.9	215.8
1991	1143.6	75.8	121.1	200.7	248.7	292.5	271.7	219.5	173.2
1992	990.1	39.7	41.9	140.2	179.5	210.9	217.8	204.4	185.0
1993	1301.8	103.2	112.6	219.6	256.5	303.1	299.3	257.3	196.5
1994	1012.0	28.2	80.4	206.2	227.5	250.7	236.8	212.7	165.2
1995	1339.8	214.3	271.6	280.6	284.3	276.4	223.8	174.6	134.0
1996	928.8	60.6	62.9	71.6	100.5	181.3	221.2	216.8	169.6
1997	1456.6	225.0	321.0	377.3	381.3	377.4	323.1	250.2	153.8
평 균	1180.56	110.47	154.39	216.39	239.91	268.25	259.41	223.18	171.63
함양률(%)		9.4	13.1	18.3	20.3	22.7	22	18.9	14.5



(그림 4-7) 조사지구의 CN과 함양률의 관계

이와 같은 결과로 CN값과 함양률의 관계는 회귀식으로 아래와 같다.

$$y = -0.0004x^3 + 0.0682x^2 - 3.8276x + 77.458$$

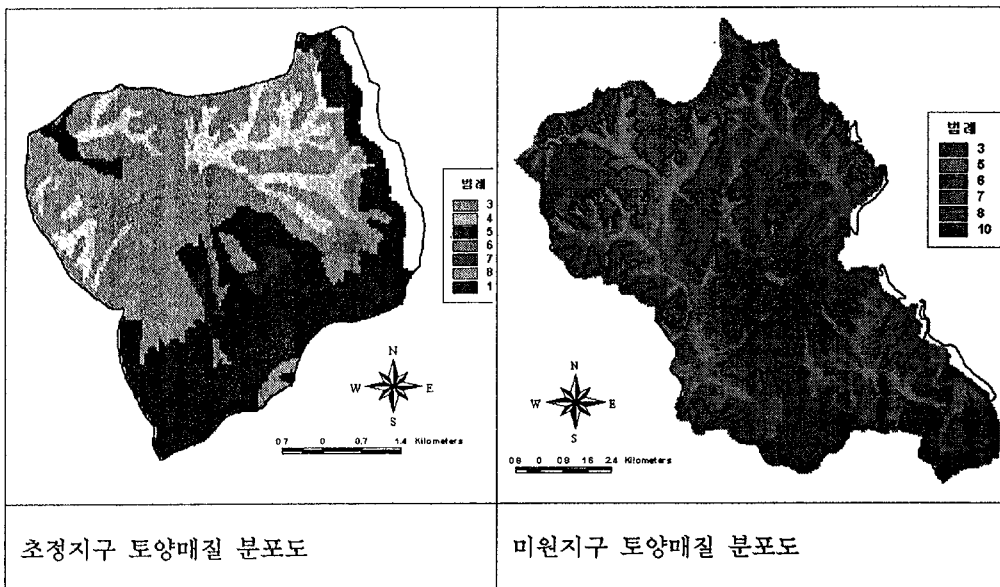
위 식에서 y 는 함양률(%)이고 x 는 CN지수이다. 그림과 같이 함양률은 CN값으로 약 85정도에서 극대값이 나타나므로 초정·미원지구의 약 75의 값을 적용한다면 실제보다 큰 함양률을 얻게 될 것이다.

<표 4-18> SCS-CN 방법으로 구한 조사지구의 함양률

지 구	토지이용	면적(km ²)	CN값	함양률(%)	평균함양률(%)
초정지구	전	4.361	74.62	20.6	17.15
	답	12.904	77.64	21.5	
	임야	14.986	53.40	12.4	
	계	32.251			
미원지구	전	28.46	70.22	19.3	13.94
	답	16.46	72.61	20.2	
	임야	81.22	47.98	10.8	
	계	126.14			

이로부터 초정지구와 미원지구의 토지이용구분 및 토양구분별 CN값을 (그림 4-7)에서 구한 회귀식에 적용하여 토지구분별 함양률을 계산하고 면적가중치에 의해 지구전체에 대한 평균함양률을 산정한 결과 초정지구는 약 17.15%, 미원지구는 약 13.94%로 나타난다 <표 4-18>.

이러한 결과는 지표수 수문분석의 결과와 대체로 일치되지만, 조사지구내의 초정지구는 지형적으로 평탄부분이 많아 전체면적에 대한 CN 가중치에서 평균값보다 높게 산출되어, 지표수 수문분석의 결과와 마찬가지로 토양침출을 등급 산정 시 참고자료로 이용코자 하였다 (그림 4-8).



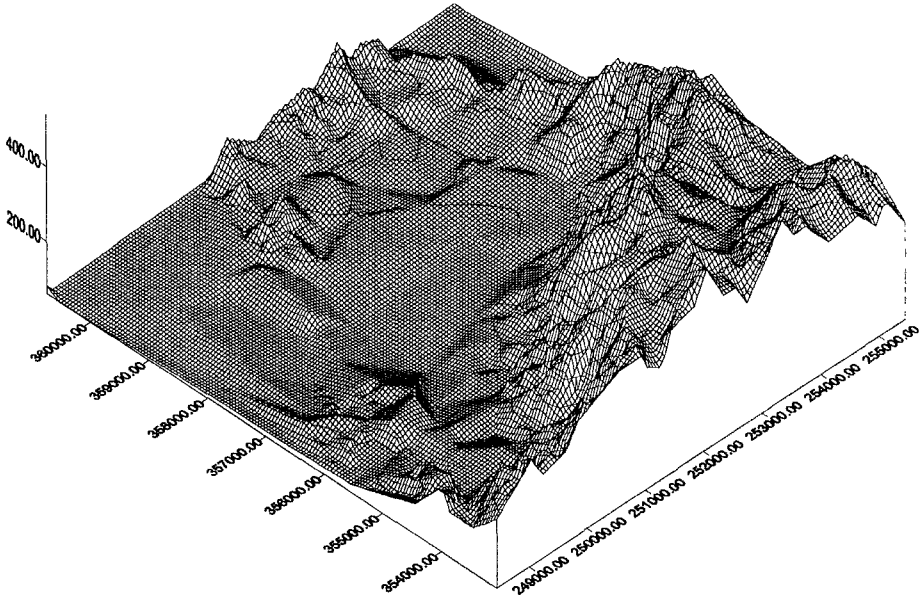
(그림 4-8) 기존기법에 의한 초정·미원지구 토양매질 분포도

6) 지형 경사 (Topography or slope)

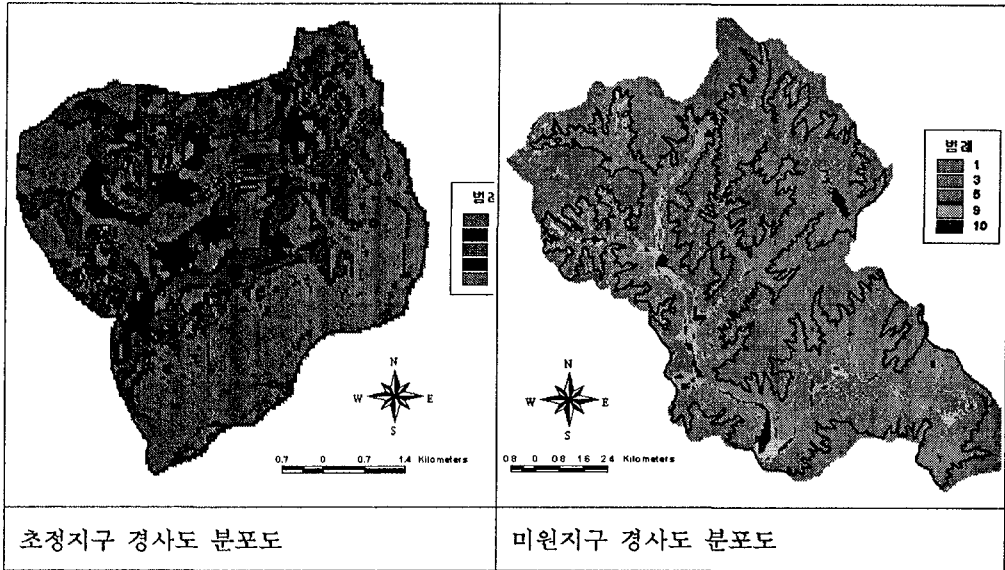
본 조사지역의 지형경사는 지형도로부터 83 m 수치고도자료(DEM)를 만들고 이를 이용하여 ARC/INFO GRID 모듈에서 지형의 경사도면을 생성하였다. 또한 DRASTIC 기준에 의해서 경사등급을 5개로 분류하였고 다른 주제들과의 중첩의

일관성을 위해서 폴리곤 커버리지로 자료를 구축함으로써 최종적인 경사등급도를 만들었다.

초정지구는 (그림 4-9)에서와 같이 조사지역의 남서쪽에서 북동쪽으로 매우 높은 경사를 나타내는 산악지역이 분포하므로 지형적인 인자에 있어서 오염 가능성이 매우 적다고 볼 수 있다. 반면에 나머지 부분들은 논, 밭 지역으로 경사가 매우 완만하여 일단 오염이 되면 오염 지속기간이 길어지는 지역으로 이들 지역에 대한 등급은 9, 10으로써 매우 높게 나타난다. 미원지구의 경우는 조사지구의 대부분이 높은 경사도를 나타내므로 초정지구에 비해 상대적으로 오염에 안정성이 있음을 알 수 있다 (그림 4-10).



(그림 4-9) 초정지구 지형 모식도



(그림 4-10) 기존기법에 의한 초정·미원지구 경사도 분포도

7) 불포화대의 영향 (Impact of Vadose zone)

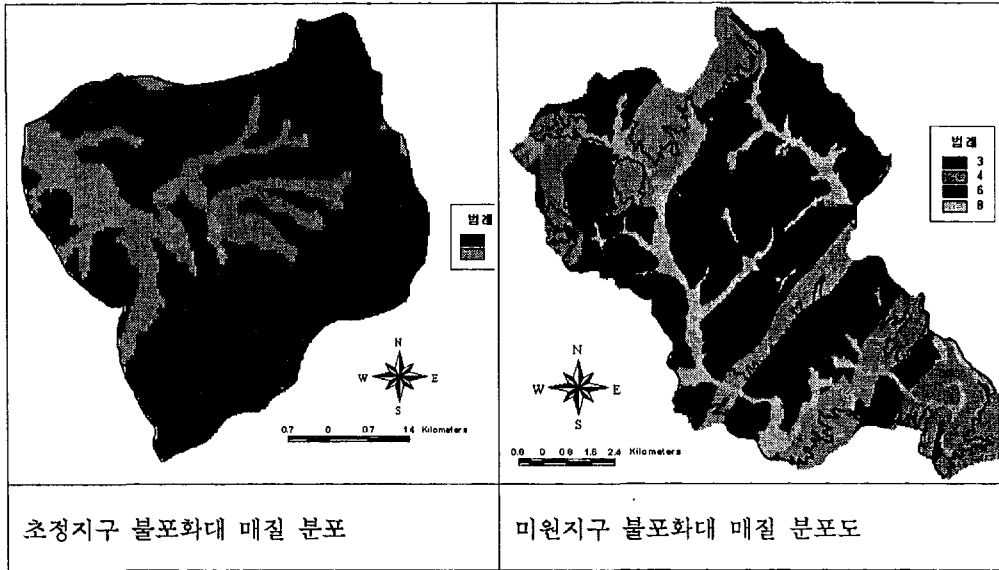
본 조사지역에 대한 불포화대의 영향 분석은 자료의 부족으로 인하여 DRASTIC 모델 기준을 적용하기가 어려웠으나, 1:50,000 축척의 지질도를 이용하여 불포화대를 크게 4가지로 구분하였다 <표 4-19>.

<표 4-19> 조사지역 불포화대 매질의 분류

범 위	점 수
초정지구의 화강암 지역	8
미동산층 지역	6
하천유역(수계를 중심으로 좌우 5m 폭)	8
그 외 나머지 지역	4

조사지역의 불포화대 영향을 나타내기 위해서는 기존의 수리지질보고서나 현장조사 등의 자료가 필요하지만, 본 연구에서는 지질도를 이용하여 DRASTIC

기준에 맞추어 적용하였다. 그 결과 크게 4개의 등급으로 나눌 수 있었고 이에 대한 불포화대의 영향 등급도를 작성하였다 (그림 4-11).



(그림 4-11) 기존기법에 의한 초정·미원지구 불포화대 매질 분포도

8) 대수층 수리전도도 (Hydraulic conductivity of the aquifer)

본 지구에 대한 수리전도도 산출은 조사된 관정들 중에서 본 지역을 대표할 수 있는 관정을 선정하여 대수층시험 (양수시험 및 순간수위변화시험)을 실시하여 수리전도도를 산출하고 각각에 대해서 해당되는 등급을 부여하였다 <표 4-20> (그림 4-12).

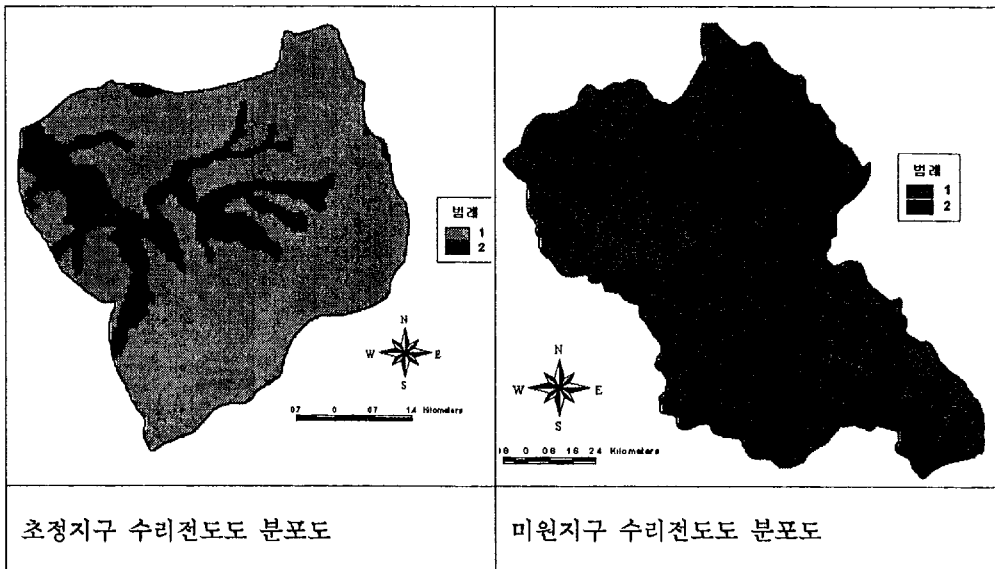
자료가 없는 지역에 대한 대수층의 수리전도도 등급도도 불포화대 영향 등급도와 마찬가지로 지질도를 이용하였다. 등급에 따라 오염지수를 산출하고 지수 도면을 작성하였다.

<표4-20> 대수층시험(Slug 시험) 분석 결과

공 변	위 치	수리전도도(m/min)		비고
		Injection	Withdrawal	
71441003	지자협(구녀성)	7.243×10^{-4}	6.949×10^{-4}	
71441123	지자협(초정삼거리)	5.315×10^{-5}	7.746×10^{-5}	
71441126	스파클 뒤 방치공	1.488×10^{-5}	6.041×10^{-5}	
71441185	저곡리 조사공(2)	8.013×10^{-4}	7.446×10^{-4}	
71441186	저곡리 조사공(3)	4.309×10^{-4}	4.309×10^{-4}	
71441188	초정리 조사공(2)	2.753×10^{-5}	1.160×10^{-5}	
71441189	초정리 조사공(3)	2.402×10^{-5}	3.018×10^{-5}	
71431006	선암리 방치공	3.955×10^{-4}	2.181×10^{-3}	
71431009	호명리 조사공(2)	3.399×10^{-4}	-	
71431010	호명리 조사공(3)	5.649×10^{-5}	4.667×10^{-5}	
71431012	우산리 조사공(2)	5.791×10^{-5}	-	
71431013	우산리 조사공(3)	3.020×10^{-4}	1.730×10^{-4}	
71441021	일화공장 뒤 창고	6.578×10^{-5}	6.347×10^{-5}	
71441047	약수원탕 앞	1.932×10^{-4}	2.807×10^{-4}	
71441066	용문사	7.279×10^{-5}	7.074×10^{-5}	
71441074	정정우씨 소유	2.029×10^{-4}	1.928×10^{-4}	
71441082	국가관측공 앞 탄산수	6.386×10^{-5}	2.757×10^{-5}	
71441142	태촌가든 앞	7.754×10^{-5}	9.975×10^{-5}	
71321005	대신리 우정	8.622×10^{-5}	4.591×10^{-5}	
71321058	쌍이리 스파클	3.853×10^{-5}	2.351×10^{-5}	
71321091	종암리 조사공(2)	2.839×10^{-4}	2.839×10^{-4}	
71321092	종암리 조사공(3)	3.872×10^{-4}	2.529×10^{-4}	
71321094	수산리 조사공(2)	1.302×10^{-4}	1.867×10^{-4}	
71321095	수산리 조사공(3)	1.052×10^{-3}	1.137×10^{-3}	
71321097	쌍이리 조사공(2)	1.676×10^{-3}	3.521×10^{-3}	
71321098	쌍이리 조사공(3)	8.584×10^{-4}	6.523×10^{-4}	

<표4-20> 대수층시험 분석 결과 (계속)

위 치	양수정	관측정	투수량계수 (m ² /day)	저류계수
초정리	71441079	71441074	28.76	5.817×10^{-3}
		71441082	38.30	1.480×10^{-4}
초정리	71441091	71441086	64.01	1.217×10^{-3}
			57.60	1.059×10^{-3}
			54.90	9.486×10^{-4}
초정리	71441097	71441103	4.827	7.487×10^{-3}
			3.738	6.889×10^{-3}
			4.140	6.062×10^{-3}
미원리	71321053	71321054	35.64	5.201×10^{-4}
		71321051	169.7	1.980×10^{-3}
수산리	71321031	71321027	21.95	3.159×10^{-3}
			26.44	1.547×10^{-3}
			50.38	1.803×10^{-3}



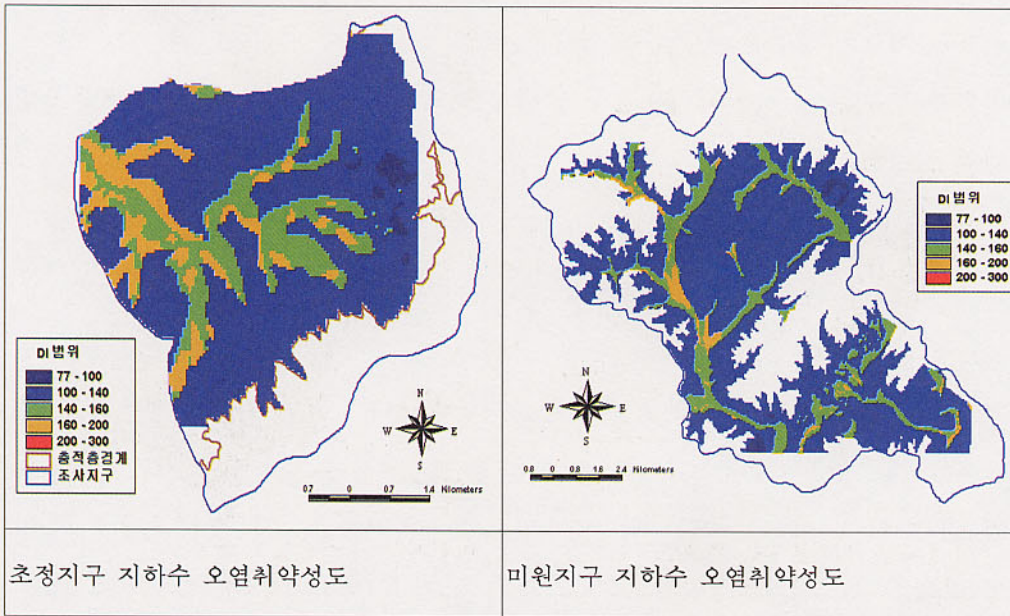
(그림 4-12) 기존기법에 의한 초정·미원지구 수리전도도 분포도

과거 개발된 대부분 관정은 수리전도도 값이 산출되어 있지 못하여 면적에 비하여 자료수가 충분하지가 못하여 수리전도도 값이 층적층과 암반층정도로만 구분되고 있어 오염취약성을 제대로 반영하지 못하고 있음을 볼 수 있다.

9) 지하수 오염취약성도 (DRASTIC Map)

지금까지 검토된 각 요소들을 기준으로 기존 DRASTIC 기법에 의하여 초정·미원지구에 대하여 지하수 오염취약성도를 작성하였다 (그림 4-13).

기존 DRASTIC 기법으로 작성 한 결과 초정, 미원지구 모두 지하수 함양지역인 산악지역이 자료부족으로 분석되지 않았고, 전반적으로 하천변 층적층 지역이 오염에 취약하고 경사지역이 오염에 강한 것으로 분석되고 있어 실제 상황과 반대로 분석되고 있음을 볼 수 있다. 이는 지형경사와 지질도에 의한 영향을 크게 받고 있기 때문이다. 본 연구에서는 이처럼 기존 오염취약성도 기법을 그대로 우리나라에 적용시 잘못된 분석이 나오는 경우가 많다고 보고 원인을 정밀 분석하여 수정안을 제시하고자 한다.



(그림 4-13) 기존기법에 의한 초정·미원지구 지하수 오염취약성도

이는 토양 특성에 의한 침출율의 영향이 상대적으로 무시되고, 상대적으로 자료가 부족한 산악지구가 경사도에 의한 가중치가 크게 영향을 주므로 지하수 오염취약성을 제대로 반영하지 못하였다고 판단된다. 미원지구 오염취약성도 또한 자료의 불충분으로 지역별 차이가 반영되지 못하고 대수층특성과 구조 보다는 지질 암석학적인 특성이 상대적으로 오염취약성에 크게 반영된 것으로 판단된다.

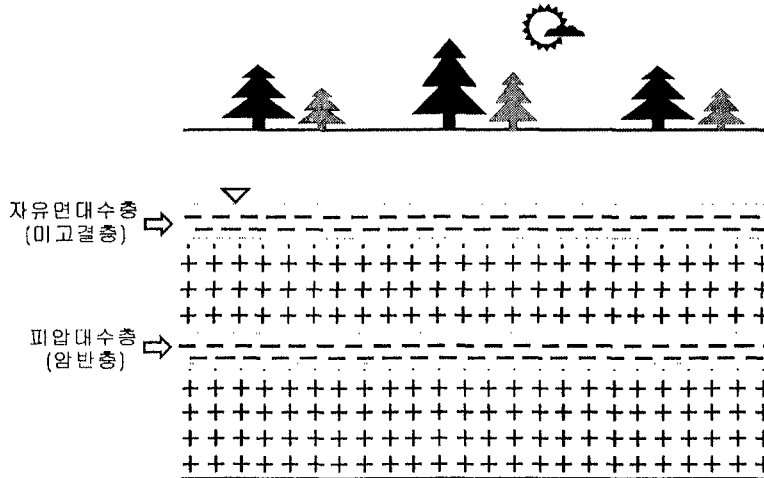
나. 서산지구

서산지구는 해안지대로 행정구역 상 충청남도 서산시 고북면 (위도: 36° 37' 00" - 36° 46' 00", 경도: 126° 27' 00" - 126° 37' 00") 일대에 위치하고 있으며, 지구의 동쪽은 해발고도 450 m 이상의 연암산, 삼층산 등 산악지대이고, 서쪽은 서해에 접한 해안지대로 구성되어 있다.

본 지구는 논, 밭이 고루 분포하며, 지하수위 측정이 가능한 기설관정이 많아 시범지구의 요건을 충족하고 있으며, 토양, 지형 및 지질에 대한 기존 조사 자료가 확보된 지구이다. 본 지구에 대한 현장조사는 '98년 2월부터 98년 6월 까지 실시하였다.

1) 지하수위 조사 (Depth to water)

지하수위는 오염물질이 대수층에 도달하기 까지의 길이와 밀접한 관계가 있으므로 깊을수록 오염취약성이 낮다. 그러나 대수층 구조는 지역적으로 차이가 크므로 각 지구별로 대수층에 대한 구조파악이 선행되어야 한다. 1차년도는 대표적인 대수층을 (그림 4-14)와 같이 상부 미고결층에 분포하는 자유면대수층과 하부 암반층에 존재하는 암반대수층으로 분류하였고, 자유면대수층에 대하여 오염취약성도를 작성하기로 하고 기존 작성기법으로 지하수면 깊이에 대한 등급도를 작성하였다.



(그림 4-14) 서산지구 대수층 구조도

서산지구 기설관정 지하수위를 측정한 값은 다음과 같다< 표 4-21 > .

<표 4-21> 지하수위의 깊이 실측 자료

관측공 번호	경 도	위 도	자연수위	지하수면 깊 이	구 분
g- 1	126. 5465	36. 66968	29. 05	12. 45	기설관정
g-10	126. 5648	36. 66033	62. 62	2. 38	기설관정
g-11	126. 5629	36. 65925	54. 97	2. 53	기설관정
g-12	126. 5627	36. 65943	55. 96	2. 04	기설관정
g-13	126. 5596	36. 65510	45. 15	4. 85	기설관정
g-14	126. 5606	36. 65519	45. 93	5. 57	기설관정
g-15	126. 5558	36. 65370	39. 25	2. 75	기설관정
g-16	126. 5563	36. 65194	43. 70	2. 30	기설관정
g-17	126. 5570	36. 65257	41. 35	1. 65	기설관정
g-18	126. 5372	36. 67319	11. 38	1. 12	기설관정
g-19	126. 5382	36. 67310	10. 61	2. 395	기설관정
g- 2	126. 5525	36. 66683	41. 79	2. 71	기설관정
g-20	126. 5381	36. 66241	9. 555	2. 745	기설관정

<표 4-21> 지하수위의 깊이 실측 자료(계속)

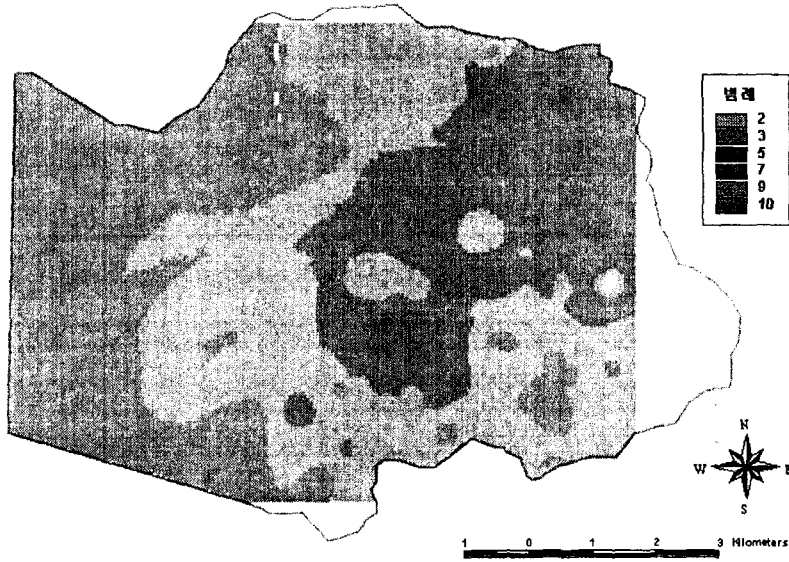
관측공 번호	경도	위도	자연수위	지하수면 깊이	구분
g-21	126.5430	36.66331	18.31	0.195	기설관정
g-22	126.5456	36.66593	32.49	2.005	기설관정
g-23	126.5442	36.66056	19.51	1.99	기설관정
g-24	126.5451	36.66128	21.22	1.38	기설관정
g-25	126.5486	36.65948	27.30	0.70	기설관정
g-26	126.5432	36.65857	17.09	1.705	기설관정
g-27	126.5427	36.65862	18.40	0.00	기설관정
g-28	126.5416	36.65894	17.39	0.51	기설관정
g-29	126.5416	36.65853	16.53	0.97	기설관정
g- 3	126.5515	36.66656	39.66	2.34	기설관정
g-30	126.5398	36.65875	15.24	0.26	기설관정
g-31	126.5288	36.66534	2.900	5.00	기설관정
g-32	126.5260	36.66566	3.220	3.78	기설관정
g-33	126.5259	36.66525	3.650	0.45	기설관정
g-34	126.5203	36.66611	5.565	1.935	기설관정
g-35	126.5186	36.66606	4.780	0.72	기설관정
g- 4	126.5524	36.66674	37.50	6.00	기설관정
g- 5	126.5517	36.66760	44.18	2.82	기설관정
g- 6	126.5535	36.66855	45.41	7.09	기설관정
g- 7	126.5569	36.67085	68.92	6.08	기설관정
g- 8	126.5581	36.67351	69.85	13.15	기설관정
g- 9	126.5595	36.66710	44.68	34.325	기설관정
g97w1	126.5436	36.66936	20.815	9.685	기설관정
g97w2	126.5400	36.66787	14.86	16.14	기설관정
g97w3	126.5452	36.67053	41.64	-0.14	기설관정
g97w4	126.5476	36.66810	25.43	14.57	기설관정
j -1	126.5259	36.66029	7.315	15.185	기설관정
j-10	126.5347	36.66137	4.58	5.42	기설관정
j-11	126.5218	36.64937	10.85	3.15	기설관정

<표 4-21> 지하수위의 깊이 실측 자료(계속)

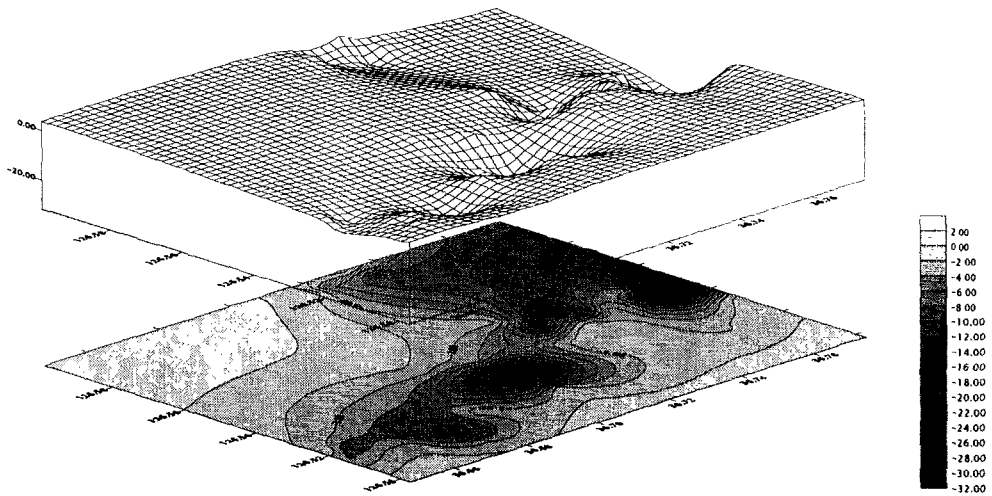
관측공 번호	경도	위도	자연수위	지하수면 깊이	구분
j-12	126.5256	36.65090	9.50	1.00	기설관정
j-13	126.4985	36.64698	5.93	0.57	기설관정
j-14	126.4932	36.64558	5.67	1.13	기설관정
j-15	126.4930	36.64522	6.06	0.84	기설관정
j-16	126.4947	36.64531	5.28	1.42	기설관정
j-17	126.4941	36.64486	6.00	0.6	기설관정
j-18	126.4943	36.64445	5.14	0.36	기설관정
j-19	126.4944	36.64409	4.04	0.76	기설관정
j-02	126.5221	36.65925	11.37	14.13	기설관정
j-20	126.4946	36.64395	3.50	0.80	기설관정
j-21	126.4948	36.64359	5.16	-1.06	기설관정
j-22	126.4957	36.64634	5.59	0.31	기설관정
j-23	126.4953	36.64671	5.92	0.28	기설관정
j-24	126.4950	36.64653	6.16	0.44	기설관정
j-25	126.4954	36.64621	5.89	0.41	기설관정
j-26	126.5056	36.64228	4.13	1.87	기설관정
j-27	126.5096	36.63791	3.93	0.17	기설관정
j-28	126.4894	36.65018	3.41	4.59	기설관정
j-29	126.4888	36.65144	2.67	1.83	기설관정
j-03	126.5155	36.65393	7.58	5.42	기설관정
j-30	126.4933	36.65104	4.46	4.54	기설관정
j-31	126.4927	36.65257	1.04	6.46	기설관정
j-32	126.4897	36.65329	1.57	0.93	기설관정
j-33	126.4909	36.65311	2.97	1.53	기설관정
j-34	126.4909	36.65546	0.93	1.07	기설관정

지하수위는 지표에 발생된 오염물질이 토양층과 불포화대를 거치면서 대수층까지 도달할 때까지 매질과의 접촉하는 시간을 결정해 주며, 불포화대에서의 산화작용과 매질 입자의 저감효과를 결정해주는 인자이다.

현장조사에서는 총 98개의 기설관정 및 관측공 조사자료를 토대로 DRASTIC 시스템 주요인자 중 가중치가 가장 높은 지하수위까지의 깊이를 도시하였다 < 표 4-21>(그림 4-15).



(그림 4-15) 기존기법에 의한 서산지구 지하수위 등급도

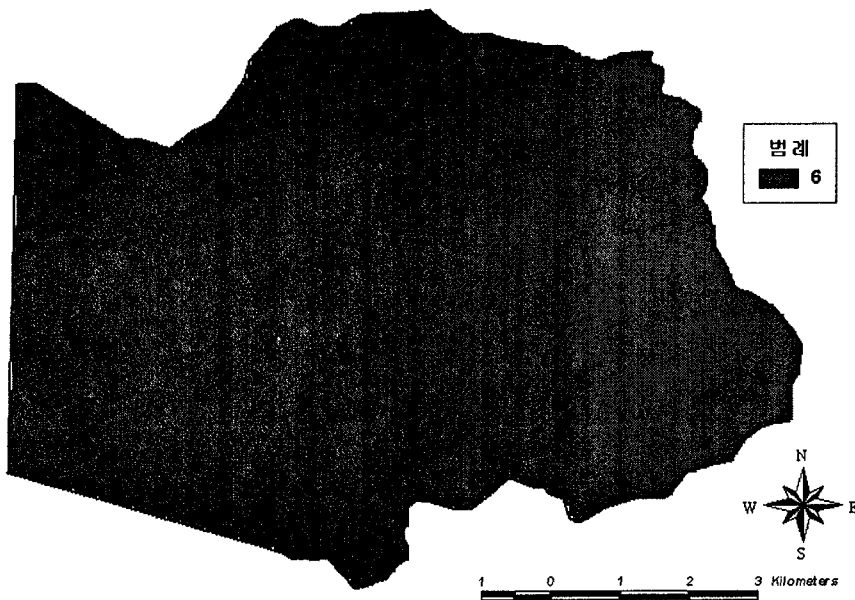


(그림 4-16) 조사지역(충남 서산시 고북면)의 지하수위 3차원도

(그림 4-16)은 지형고도를 고려하지 않는 지하수위 등급도를 3차원으로 작성한 것이다. 발지역으로 고도가 높은 동부지역 지하수위는 깊고, 주로 눈이 많은 서쪽 해안변 지하수위는 낮다.

2) 지하수 함양율 (net Recharge)

지하수의 기원은 강수로서 지표로부터 불포화대를 통과하여 지하수위면까지 침출된 것이라 할 수 있으며, 지하수 함양율이란 오염물질이 투여된 지표로부터 지하수위까지 통과하는 단위 면적 당 물의 량을 뜻한다. 이 물의 량은 오염물질을 지하 수직방향으로 나르는 매질역할을 하는 물량이다. 또한 이 물의 량은 불포화대와 포화대 내에서 오염물질의 희석작용과 확산작용을 결정하는 인자이기도 하다. 결국 지하수 함양율은 연간 평균강수량 중 지하수로 함양되는 총량을 뜻하며 위치 분포나 우기 건기 같은 시간 개념을 고려치 않는다.



(그림 4-17) 기존기법에 의한 서산지구 지하수 함양량 등급도

본 서산지구에서 기존 기법에 의한 함양을 등급은 10년간 강수량 평균에 수문통계상의 평균 함양율을 적용하였다. (그림 4-17)은 순수 충전량 도면으로써 함양을 등급은 단일 등급으로 전지역이 10개의 등급 중에서 동일한 6등급으로 분류되었다.

3) 대수층매질 (Aquifer media)

대수층매질이 오염취약성에 미치는 영향은 지하수를 저장하는 공극, 이를 통한 지하수 유동경로의 길이, 시간 등으로 부터 오염에 대한 저감효과를 좌우할 수 있으며, 입자의 표면적도 영향을 미친다.

농업기반공사 충남지사에서 조사한 「'97 발기반정비사업 지하수기초조사」 중 정자리지구 및 가구리지구에 의하면 고북면 정자리 (J97W1~6)와 가구리 (G97W1~4)의 수리지질구조는 최상부에 3~5 m의 토사층, 그 하부에 22~43 m의 풍화암, 그 하부로는 중생대 섬록암 내지 화강섬록암으로 이루어져 있다. 본 지구의 충전층지하수는 암반인 섬록암, 화강섬록암이 풍화된 풍화대에 발달되어 있고, 암반지하수는 암반 내의 파쇄대에 발달되어 있다. 본 연구는 충전층지하수를 대상으로 하였으므로 대수층 매체에 대한 범위는 '풍화된 변성암/화성암'에 해당되며 등급은 3~5 (대표값:4)가 된다. 현장조사 시 가구리의 경우는 G97W3 관정 주변에 3개의 관측정 (G-01~3)을 개발할 때 확인하였으나, 정자리의 경우는 관측정 (J-W, J-01~4) 개발 시 충전층지하수의 대수층이 토사층에 발달되어 있는 것을 확인하였다. 이는 지형 특성상 조사지역의 서쪽은 해안에 접하여 있으므로 해안에 가까워질수록 동쪽 산록지역보다 암반까지의 깊이가 더 깊어지고 지하수위 깊이는 얕아지기 때문인 것으로 판단된다.

그러므로 조사지역의 각 격자에 대한 대수층 매체의 범위와 등급은 지질도를 근거로 한 분류를 그대로 적용하는 것보다 현장조사 자료 및 기초사 자료로부터 대수층 매체의 특성을 파악하여 정하는 것이 타당하다.

본 연구지역의 대수층은 서산, 해미, 홍성 지역의 1:50,000 축척의 지질도

를 이용하여 DRASTIC 모델에 맞는 가중치와 등급을 정하였다. 크게 네 가지의 대수층 매질 즉, 충적층, 변성/화강암, 흑운모화강암과 사암 등으로 구분된다.

대수층 매질은 지질분류를 이용하여 각각을 DRASTIC 대수층 매질 기준에 최대한 적합하도록 등급을 정하여 등급도를 작성하였다 (그림 4-18)〈표 4-22〉.

(그림 4-18)에 의하면 연구지역의 남동쪽과 동쪽 그리고 북서쪽 일부 지역은 다른 지역보다 낮은 등급으로써 등급 8인 충적층 지역에 비해서는 상당히 오염 가능성에 적다고 볼 수 있다.

불포화대에 대한 등급 및 수리전도도 등급은 〈표 4-23〉과 같으며, 충적층 (qa)이 연구지역의 약 50%를 차지함으로써 대수층 매질에 매우 큰 비중을 보이고 있다. 각각의 분포범위 순위는 다음과 같다.

충적층(48.54%) > 흑운모화강암(25.73%) > 화강암(25.54%) > 석회암(0.19%)

〈표 4-22〉 대수층의 매질에 관한 자료 및 면적

AREA	PERIMETER	AQU_RINT_	AQU_RINT_I	MJ_	MJ_I	GR
118476600	51389.04	1	0	0	0	0
166508.3	2140.02	2	1	296	256jbgr	4
32005900	96102.31	3	2	128	205qa	8
46127.02	1119.45	4	3	296	256jbgr	4
550500.1	5106.89	5	4	296	256jbgr	4
1245486	11272.52	6	5	128	205qa	8
4513531	13869.35	7	6	375	279jbgr	4
1166914	5181.65	8	7	351	272dh	3
1410129	11676.42	9	8	385	285dh	3
228176.8	2188.23	10	9	389	286jbgr	4
898164.4	10897.68	11	10	45	175jbgr	4
21139160	48210.98	12	11	236	237jbgr	4
4331.11	316.8	13	12	143	375qa	8
3553.54	366.15	14	13	400	538	8
1036362	5002.08	15	14	402	540qa	8
1519.75	350.89	16	15	412	294qa	8

<표 4-22> 대수층의 매질에 관한 자료 및 면적(계속)

AREA	PERIMETER	AQU_RINT_	AQU_RINT_I	MJ_	MJ_I	GR
2899247	13585.82	17	16	414	296jbgr	3
7005247	15906.57	18	17	411	547jbgr	3
11533480	23103.45	19	18	402	540qa	8
1013779	12437.36	20	19	400	538	8
306711.6	3259.79	21	20	143	375qa	8
87526.36	1227.75	22	21	419	299jbgr	4
11435.2	456.2	23	22	425	302jad	3
976851.6	5241.88	24	23	433	305jbgr	4
565882	4262.8	25	24	434	345dh	3
15165.44	659.81	26	25	440	307pegn	3
46963.47	1133.71	27	26	441	308jbgr	4
28052.83	747.12	28	27	442	309dls	6
1292.35	193.46	29	28	445	310jbgr	4
40988.53	886	30	29	447	311jdi	3
27832.21	687.09	31	30	449	565jad	3
29157.39	812.84	32	31	451	313dh	3
225235	2501.26	33	32	455	315jbgr	4
1198219	6448.46	34	33	456	316jbgr	4
657704.7	4516.43	35	34	457	317dh	3
20652.66	603.74	36	35	458	318pegn	3
1077408	4853.46	37	36	465	321pegn	3
1070114	4935.58	38	37	471	325jdi	3
411110.7	2951.68	39	38	472	326jbgr	4
144030.4	1987.5	40	39	476	329qa	8
3717995	19698.89	41	40	480	195qa	8
227053.9	3354.44	42	41	484	196gd	3
666415.1	5110.83	43	42	485	197gg	3
5010486	12339.18	44	43	486	198sgr	3
5340957	20118.38	45	44	487	199gd	3
6366733	24173.79	46	45	504	212qa	8
491504.4	3625.96	47	46	505	213pew	3

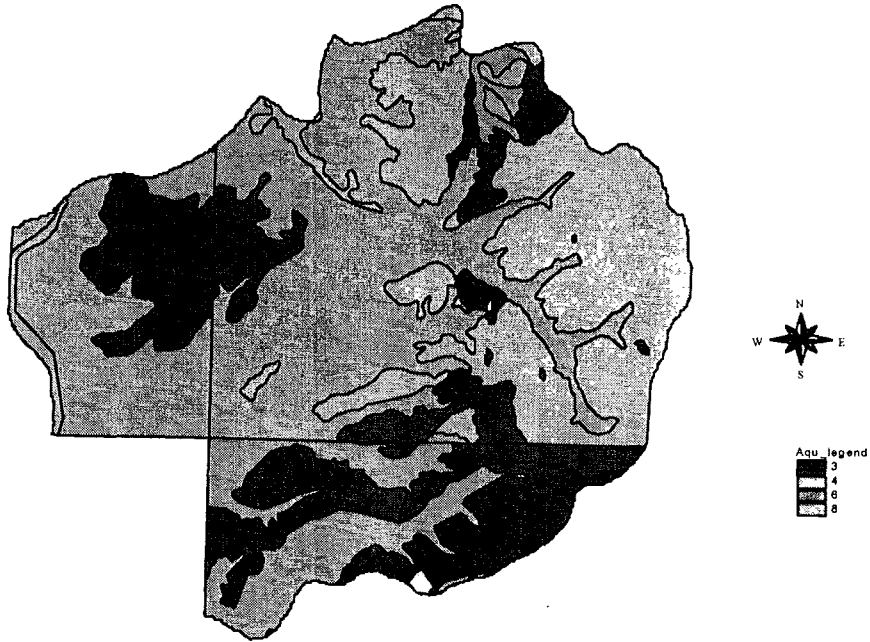
<표 4-22> 대수층의 매질에 관한 자료 및 면적(계속)

AREA	PERIMETER	AQU_RINT_	AQU_RINT_I	MJ_	MJ_I	GR
1783404	9832.75	48	47	507	215gg	3
449621.9	4101.52	49	48	515	223pes	3
283094.6	2950.61	50	49	516	224ap	3
185068.2	1746.74	51	50	520	228pm	6
112987.7	2358.91	52	51	521	229qa	8
13292.13	505.6	53	52	525	233qa	8
6788.38	433.9	54	53	526	234a	6
10717.07	427.65	55	54	537	245gd	3
35.91	27.91	56	55	539	246ap	3

<표 4-23> 지질분류에 따른 대수층의 매질, 불포화대와 수리전도도 등급

지질명	지질등급	불포화대 등급	수리전도도 등급
Alluvium	8	6	1
Granite/Dike	3	4	0
Biotite Granite	4	4	0
Gneiss/Schist	3	4	0
Limestone	6	6	0

<표 4-23> 에서의 지수 등급으로 (그림 4-18) 대수층 매질 등급도를 작성하였다. 이 경우 서쪽 해안가 많은 지역이 충적층 분포지역으로 분류되었다. 하지만 지질도는 지표지질이고 오염취약성도에서는 지표부분에 대한 고려는 이후 토양매질인자에서 분석되고 토양하부의 매질에 대해서는 불포화대 매질 인자에서 별도 검토되기 때문에 대수층 매질에서는 지하의 대수층 매질을 고려해 주어야 한다. 이 경우는 암반 매질을 적용해 주는 것이 옳다고 판단된다. 이에 대한 정밀 분석은 다음 장에서 검토하고자 한다.

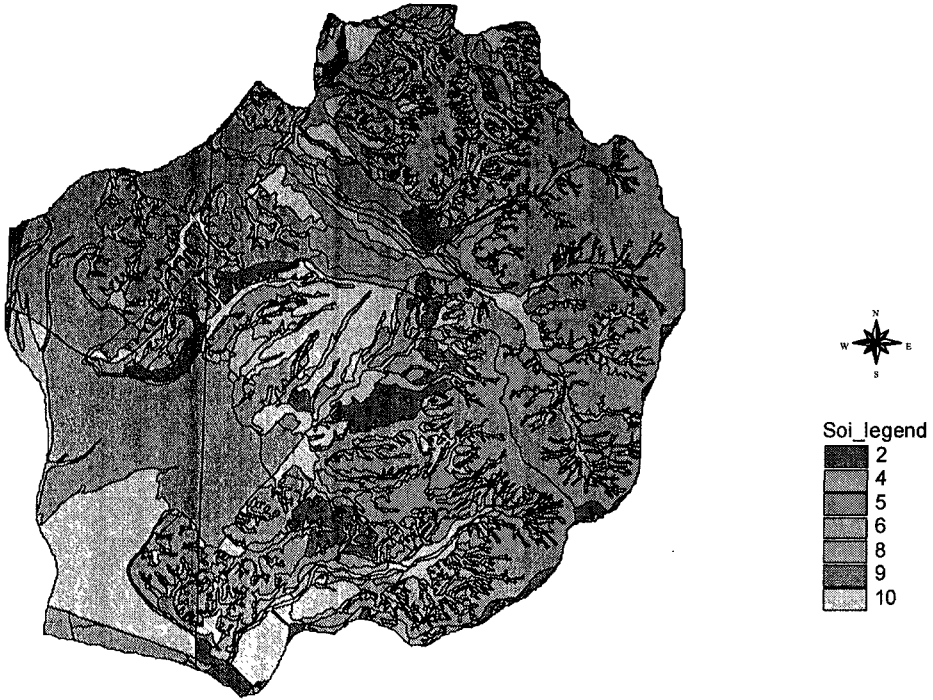


(그림 4-18) 대수층의 매질 등급도

4) 토양매질 특성 (Soil media)

우리나라 토양분류는 미국 등과 큰 차이는 없으나, 미국의 토양도에는 토양별 지하수위 등 지하수 관련 조사자료가 다양하게 포함되어 있어 이를 활용하는 경우 최소한의 조사로 DRASTIC인자 값을 얻을 수 있다. 그러나 우리나라 토양도에는 지하수와 관련된 자료가 불충분하므로 본 연구에서와 같이 시범지구에 대한 조사자료 분석이 축적되면 세부 토양분류를 지하수 특성과 관련지어 대분류로 통합이 가능할 것이다.

토양매질 특성 분류를 위하여 농촌진흥청에서 제작한 부석, 해미, 갈산 지역의 1:50,000 개략토양도를 ARC/INFO coverage를 이용하여 각각의 polygon에 속성값을 넣는 D/B 작업을 실시했으며, 연구지역 외에 D/B화된 주변 토양도를 첨가하여 연구 지역뿐만 아니라 그 주변 지역의 토양특성을 추가하였다. 이 레이어는 11개의 범위를 갖으며 각각에 대해서 등급을 설정하였다 (그림 4-19).



(그림 4-19) 토양의 매질 등급도

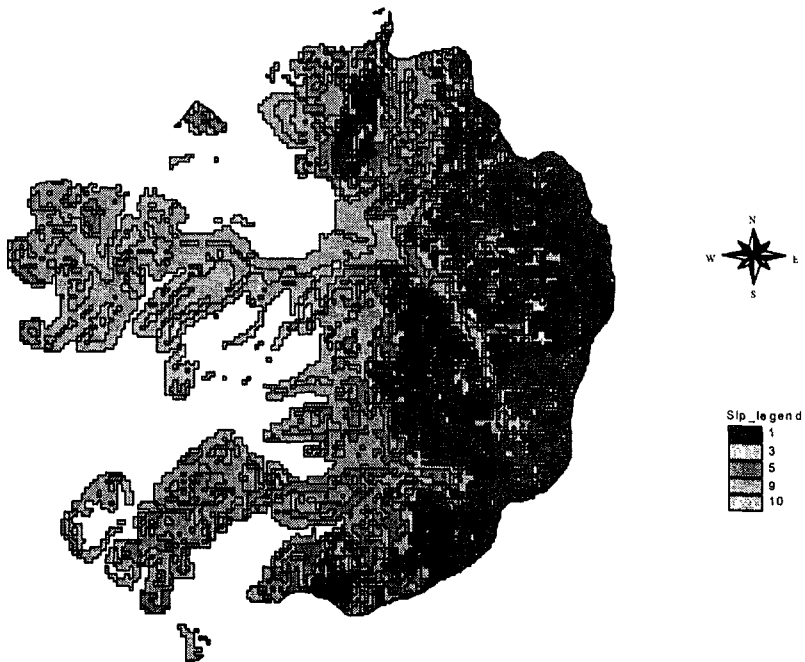
토양 매질 등급도에 의하면 전체적으로 등급 5인 토양 (Loam)이 약 80% 정도 차지하고 있으며, 등급 4인 토양 (Silt loam)은 약 8.5%, 등급 2인 토양 (river deposite)은 약 6.5%, 등급 6인 토양은 약 5.1% 정도 분포한다. 그러나 토양 등급은 거의 5 이하이므로 다른 인자들에 비해 토양 매질에 있어서의 오염 가능성 지수는 매우 낮다고 말할 수 있다.

5) 지형 경사 (Topography or slope)

지형 경사를 분석하기 위하여 본 연구에서는 등고선 자료를 이용 ARC/INFO 상에서 TIN (Triangle Irregular Network) 작업을 수행함으로써 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 구축하였고, map to map projection을 통해서 UTM 좌

표로 변환시켰다. 이를 본 연구 지역의 경계만을 나타내는 벡터자료를 이용하여 연구지역을 구분하였고, 구분을 쉽게 하기 위해서 2, 3차원적으로 모델을 구축했다. 지형 경사도는 지형고도자료 (DEM)를 ARC/INFO 커버리지로 변환하여 GRID 모듈에서 사면 경사를 구하였다. 사면 경사는 경사의 퍼센트로 나타낸다. 이는 경사각도의 탄젠트 값에 100을 곱해준 값과 같다. 본 연구에서는 연구지역이 매우 완만한 경사를 갖고 있으므로 0%에서 18% 이상까지 DRASTIC 기준에 의해서 경사등급을 5개로 분류하였고 다른 주제들과의 중첩의 일관성을 위해서 폴리곤 커버리지로 자료를 구축함으로써 최종적인 경사등급도를 만들었다.

본 연구지역에 대한 지형 경사 등급도를 구축한 결과 (그림 4-20)과 같이 연구지역의 남북을 기준으로 오른쪽은 매우 높은 경사를 나타내는 산악지역으로 지형적인 인자에 있어서 오염 가능성이 매우 적다고 볼 수 있다.



(그림 4-20) 지형경사의 등급도

반면에 연구지역의 왼쪽은 논, 간척지 지역으로써 경사가 매우 완만하여 일단 오염이 되면 오염 지속기간이 길어지는 지역이다. 이들 지역에 대한 등급은 9, 10으로써 매우 높게 나타난다. 본 연구지역에서 지형경사 등급도를 만드는 데 있어서의 문제점은 수치표고모형 (DEM)를 만든 지형도가 서해안 지역 간척 사업이 이루어지기 이전의 자료로, 간척된 지역이 바다로 되어 있어 지형경사를 계산할 수 없었다. 그러므로 모든 자료를 중첩하여 분석하는 DRASTIC 도면은 지형경사의 영향에 의해 간척된 지역의 분석을 할 수 없었다.

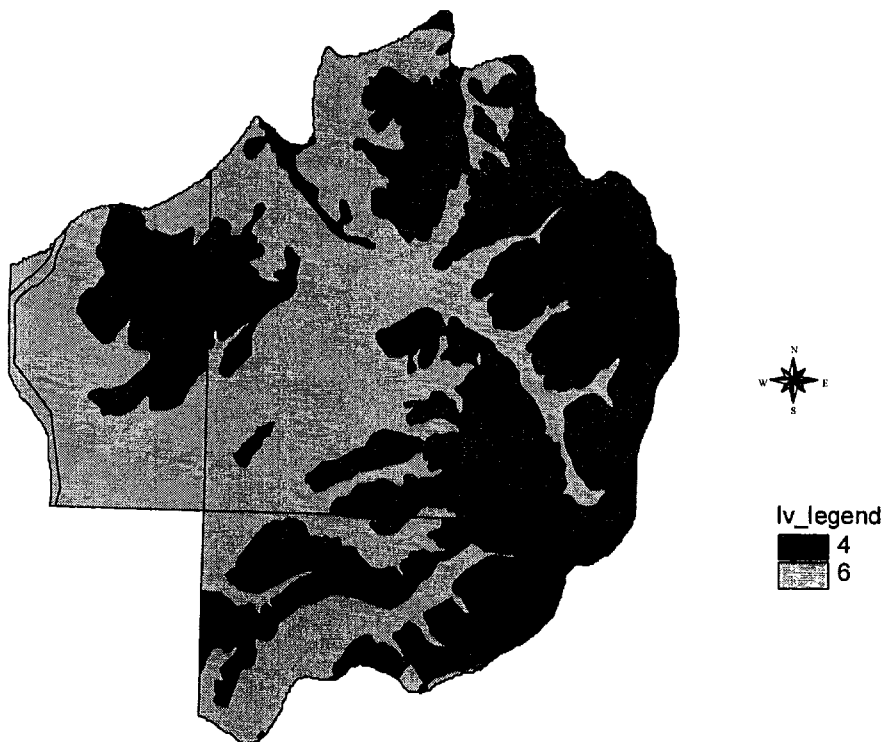
6) 불포화대의 영향 (Impact of vadose zone media)

불포화대는 지하수위 위에 있는 비포화되었거나 불연속적으로 포화된 zone 으로, 조사지역에서는 기존의 조사자료와 정자리, 가구리에 대한 관측공 개발 자료를 제외하고는 불포화대에 대한 자료가 없어 불포화대에 대한 효과적인 범위 및 등급을 설정하는데 한계가 있다. 발기반정비사업의 일환으로 개발한 관정들에 대한 자료 및 관측정 개발 당시 자료에 의하면 조사지역의 불포화대는 충적층지하수의 대수층과 같이 대부분 풍화암이며 정자리지역은 토사층으로, DRASTIC 시스템의 '불포화대 매체의 영향'에 대한 범위 및 등급은 '대수층 매체'의 경우처럼 당초 제시된 분류를 그대로 적용하는 것보다 현장 조사자료 및 기초조사 자료로 부터 불포화대 매체의 특성을 파악하여 정하는 것이 타당하다고 판단하였다.

본 연구지역의 불포화대에 대한 자료는 기존 조사자료의 부족으로 인하여 DRASTIC 모델의 기준에 맞추어 적용하지 않고, 1:50,000 축척의 지질도를 이용하여 크게 두 가지로 구분하여, 등급이 4인 경우는 변성 및 화성암을 등급이 6인 경우는 석회암, 사암, 점토로 나타내었다 (그림 4-21).

(그림 4-21)와 같이 연구지역의 남북을 기준으로 오른쪽 지역은 등급이 4(51.3%)로써 변성 및 화성암 지역으로 오염가능성이 상대적으로 적고, 연구지

역의 왼쪽은 등급 6(48.7%)이 주로 분포하고 이 지역은 석회암, 사암, 점토로 대표된다. 따라서 오염가능성이 상대적으로 높다는 것을 보여준다.



(그림 4-21) 불포화대의 영향 등급도

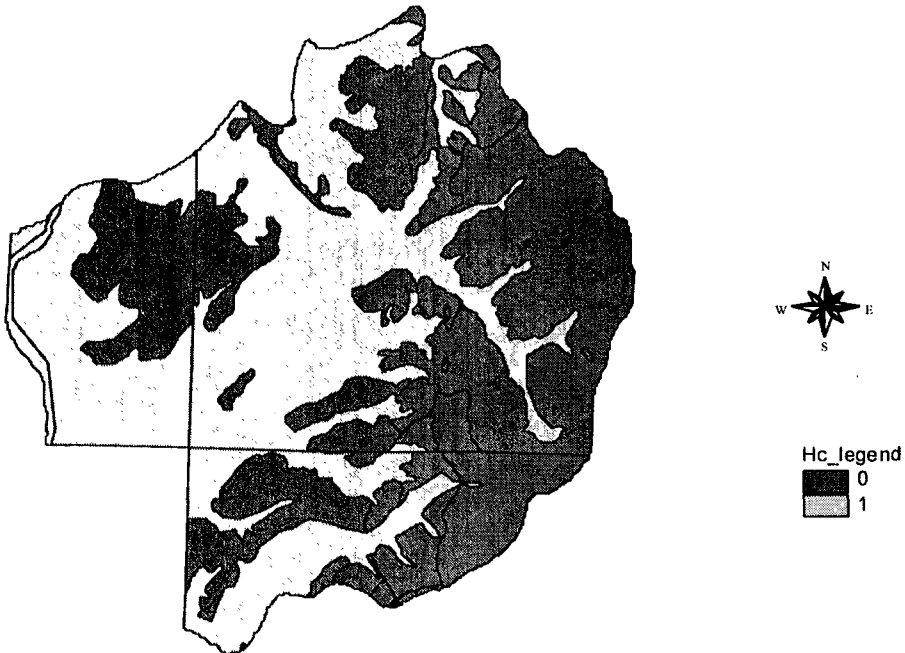
7) 대수층 수리전도도 (hydraulic Conductivity)

대수층의 수리전도도는 양수시험으로 부터 자료를 얻을 수 있으나, 본 연구 지역에서는 조사된 자료의 부족으로 인하여 1:50,000 축척의 3개 지역 지질도를 이용하여 크게 충적층과 그 이외 지역으로 구분하였고 일부 관정에 대한 대수층시험 자료를 활용하여 등급을 부여하였다.

수리전도도 분류는 기본적으로는 지질도를 이용한 충적층과 그 외 지역으로 구분하였고, 충적층은 등급을 1로, 그 외 지역(변성/화강암, 편암/편마암 등)은

등급을 0으로 하였다. 따라서 최종적인 지하수 오염 가능성 지수는 등급 0에 의한 영향으로 상당히 변할 가능성을 보인다.

대수층의 수리전도도 등급도인 (그림 4-22)에 의하면 연구지역의 오른쪽 지역은 등급이 0으로써 오염 가능성이 희박하고 반면, 왼쪽 지역은 등급이 1로써 상대적으로 오염 가능성이 조금 높게 분석된다.

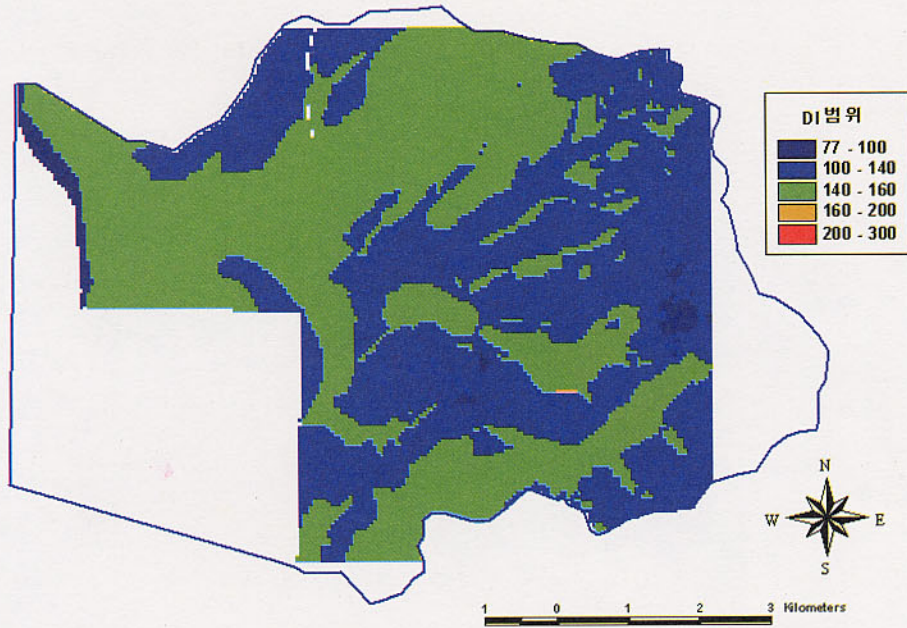


(그림 4-22) 대수층의 수리전도도 등급도

8) 기존 DRASTIC 오염취약성도 (DRASTIC Map)

이러한 7개 인자별 등급도를 합산하여 오염취약성도를 작성하였다(그림 4-23). 그림에서 한눈에 볼 수 있듯이 지질도에 의한 구분을 쉽게 볼 수 있으며 전체적으로는 오염에 취약한 지역이 없는 것으로 분석되었고, 동부 산악지역이 서부 충적층 지역보다 오염에 저항력이 강한 것으로 분석되었다. 이러한 분석은 지형경사 인자에 강한 영향을 받고 있기 때문이며, 지하수 함양지역이

라는 점을 고려할 때도 반대로 해석된 것으로 볼 수 있다. 또한 동 지역 지하수 수질오염 현상과 비교할 때 잘못된 분석이며, 이렇게 기존 DRASTIC 기준에 의하여 지하수 오염취약성도를 작성할 경우 거의 반대로 분석될 위험성이 크며 따라서 본 연구에서는 이러한 잘못을 수정하고자 한다.



(그림 4-23) 기존기법에 의한 서산지구 지하수 오염취약성도

다. 무주군의 오염취약성 평가

1) 지형 및 일반지질

전라북도 무주군은 행정구역 상 1개 읍, 5개 면으로 구성되어 있으며, 면적은 약 631.5km²이다. 이 지역은 우리나라 내륙지방 중에서 중심부에 위치하며, 지리적 좌표는 동경 127° 55' ~127° 31', 북위 36° 04' ~36° 47' 에 해당한다.

이 지역은 소백산맥의 산악지대에 속하며, 주변에는 북쪽으로부터 민주지산(1,424m), 대덕산(1,290m), 덕유산(1,614m) 등 해발 1,000 m가 넘는 고산들이 산맥을 이루고, 중앙에는 사면이 절벽으로 둘러싸인 적성산(1,034m)이 있어 수자원의 함양면에서 유리한 특성을 가지고 있다. 농경지는 주로 해발 180~900 m 사이에 분포되어 있으며 임야가 82.7%를 차지하고 있고, 북쪽으로는 금강수계와 연계되며, 동쪽으로는 낙동강수계와 접하고 있다. 하천은 범정하천으로 지방하천인 금강천과 남대천 2개 하천의 길이는 40.4km이며, 준용하천은 30개소에 총연장이 203.4km이다. 무주군의 동쪽에 위치하는 남대천의 유로는 대체로 수지상이며, 유역형상은 원형으로 되어 있고, 유역평균폭은 8.76km로서 비교적 넓고, 임상은 양호하다.

전체적으로 많은 소하천 계곡지류들이 급경사로 인하여 급류를 이루면서 동서방향으로 발달되어 있으며 소하천이 모여 형성된 중규모 하천은 대체적으로 남북 방향으로 큰 계곡을 따라 북상하고 있으며 이러한 중규모 하천들이 북쪽군 경계부에서 금강과 남대천에 이르러서야 비교적 완만한 흐름을 보이게 된다. 무주군 북서쪽 충청남도와의 경계에서는 금강에 합류하여 서에서 동으로 흐르고, 북동쪽 충청북도와의 경계부에서는 남대천으로 합류하여 동에서 서로 흐르다가 두 하천은 무주읍 북서쪽에서 합류하여 충청남도로 북상한다.

2) 일반지질

본 연구지역은 선캠브리아시대 편마암이 기반암으로 넓게 분포하고 있으며 선캠브리아기 탄산염암인 대리암이 소규모로 협재되어 있다. 편마암과 대리암은 각섬암, 주라기 화강암 및 백악기 화강반암에 의하여 관입되어 있다. 각섬암이 편마암과 대리암을 관입한 증거는 몇 군데 노두에서 잘 관찰되며, 이는 이 지역에 분포하는 각섬암이 화성기원임을 지시한다. 이 지역에 분포하는 편마암은 호상흑운모편마암, (반상변정)화강암질편마암 및 미그마타이트질편마암 등 다양한 산출상태를 보여준다.

백악기 퇴적암은 선캠브리아시대의 우백 화강암질 편마암과 호상 편마암을 기반암으로 쌓였으며, 후기의 중성 및 산성 관입암체에 의해 곳곳에서 관입되었다. 퇴적암은 적상산을 중심으로 발달된 조항산 퇴적암체와 조항산을 중심으로 발달된 조항산 퇴적암체로 구성된다. 두 퇴적암체는 무주읍 가옥리에서 연결되어 있다. 퇴적암체의 하부는 입자의 크기가 매우 큰 조립질 역암을 비롯하여, 소량의 사암과 이암으로 이루어진 쇠설암으로, 상부는 층리가 잘 발달된 화산쇄설암으로 구성된다. 기반암과 백악기 퇴적암의 관계는 단층과 부정합으로, 조항산 지역에서는 주로 단층으로 접촉하지만 산성암맥의 관입으로 직접 접촉부를 확인하기 어려운 경우가 많다. 적상산 지역에서는 기반암과는 주로 부정합으로 산출되는데 여러 곳에서 확인된다.

퇴적암류로는 주로 무주군의 북쪽 일대에 분포하며 적장산일대의 적장산층과 그 하부에 북창리층이 분포하며 북창리층은 방아리 일대에 널리 분포한다. 적장산층은 백악기 회색, 적색 응회암질 사암 및 셰일로 하부의 신창리층과는 두터운 기저역암층을 포함하며 정합관계를 갖는다. 알코스질 사암과 역암으로 구성되어 있으며 회색사암 및 영암류도 일부 분포한다. 퇴적암류 하부에는 상부백악기의 혼성구암 및 안산암이 분포한다. 특히 방이리를 중심으로하는 퇴적암의 원형분포는 지형상으로 Cone Fracture 형상으로 분포하고 있어 주목된다.

화강암류는 적상면과 부남면 하부 버드산과 장안리 일대에 상부쥬라기 편상 화강암이 일부 분포하며 무주군 북서단 충청남도 금산군 경계부에 중생대 백악기말 알칼리 화강암이 분포하고, 무풍면일대는 중생대 Cretaceous 초기 망덕산 안산암류가 분포한다.

많은 수의 석영맥과 페그마이트질 암맥류들이 변성암분포지역에 대상분포하며 발달방향은 N35E 이다. 지질구조로서는 대부분 변성암류에 협재된 암맥과 지질분포방향, 단층방향이 크개는 N35E 방향으로 발달하고 이와 거의 직교하는 N60W방향으로 지질 및 지형구분이 발달하고 있다. 또한 지형적으로는 거의 NS

방향과 EW방향으로 산 능선과 계곡들이 발달하며 하천방향을 지배하고 있다.

3) 지하수 오염취약성 인자별 평가

본 연구에서는 기존의 자료를 최대한 활용한다는 원칙 하에서, 우리나라에서 DRASTIC의 각 요소들에 대한 기초자료의 가용성과 문제점 및 대처방안을 분석하였다.

가) 기설관정자료조사 및 지하수면의 깊이

무주군의 증대형 관정 수는 210공으로 타 시군에 비하여 상대적으로 적은 편이다 <표 4-24><표 4-25>. 이는 무주군에 산악지형이 많고 산림이 우거져 계곡마다 풍부한 소하천이 있어 이를 생활용수로 활용해 오기 때문이다. 무주군의 상수도 보급율은 42.7%이며 1인당 급수량은 351리터 ('97 무주군 통계 연보)이다.

<표 4-24> 무주군 증대형 관정 구경별 용도별 개발 현황

구경별	소 계				구경 ϕ 200mm 이상				ϕ 125~150mm	구경 ϕ 50 ~ 75 mm			
	소 계				67 공, 9,286톤/일				12공, 910톤/일	131 공, 8,576톤/일			
용도별	소 계	생활	공업	농업	계	생활	공업	농업	생활	계	생활	공업	농업
소 계	210공	67공	2공	141공	67공	41공	1공	25공	12공	131공	14공	1공	116공
	18,772	6,786	180	11,806	9,286	4,576	30	4,680	910	8,576	1,300	150	7,126
무주읍	12공	8공	1공	3공	9공	6공		3공	2공	1공		1공	
	1,952	1,402	150	400	1,702	1,302		400	100	150		150	
무풍면	28공	4공		24공	4공	2공		2공	2공	22공			22공
	2,553	1,080		1,473	1,280	930		350	150	1,123			1,123
설천면	27공	21공	1공	5공	19공	16공	1공	3공	1공	6공	4공		2공
	1,987	1,334	30	623	1,414	1,024	30	360	70	503	240		263
적상면	18공	12공		6공	9공	3공		6공	7공	2공	2공		
	2,500	900		1,600	1,750	150		1,600	590	160	160		
안성면	100공	11공		89공	10공	3공		7공		90공	8공		82공
	7,990	1,180		6,810	1,830	280		1,550		6,160	900		5,260
부남면	25공	11공		14공	15공	11공		4공		10공			10공
	1,790	890		900	1,310	890		420		480			480

* 자료 출처 : 수자원공사 두레박 자료 상단 : 공수, 하단 : 펌프 1일 최대 양수용량

상수도 시설이 미비한 지역에는 생활용 관정이 보급되고 있으나, 관정 사용 전기료가 비싸다는 인식으로 실제로는 미사용 관정이 많았다. 따라서 한해시에만 사용하는 예비용으로 관리되고 평시에는 방치되는 곳이 많았다. 인구가 밀집된 무주읍과 안성면에서도 상수도가 보급되어 일반 주민들은 지하수 이용이 적은 반면, 숙박업소 등 다량의 용수가 필요한 건물에서 지하수를 이용하고 있었다.

<표 4-25> 무주군 소형 지하수시설 현황

구경별	소 계			구경 ϕ 40 ~ 45 mm			구경 ϕ 25mm 이하		
	소 계								
소 계	880 공, 38,298 톤/일			448 공, 21,545 톤/일			432 공, 16,753 톤/일		
용도별	계	생활	농업	계	생활	농업	계	생활	농업
소 계	880공 38,298	280공 5,577	600공 32,721	448공 21,545	66공 1,297	382공 20,248	432 16,753	214공 4,280	218공 12,473
무주읍	74공 4,989		74공 4,989	2공 100		2공 100	72공 4,889		72공 4,889
무풍면	126공 4,213	66공 1,297	60공 2,916	122공 4,127	66공 1,297	56공 2,830	4공 86		4공 86
설천면	33공 850	8공 160	17공 690	8공 240		8공 240	17공 610	8공 160	9공 450
적상면	291공 8,392	206공 4,120	85공 4,272	81공 4,122		81공 4,122	210공 4,270	206공 4,120	4공 150
안성면	356공 19,419		356공 19,419	227공 12,521		227공 12,521	129공 6,898		129공 6,898
부남면	8공 435		8공 435	8공 435		8공 435			

자료 출처 : 수자원공사 두레박 자료 상단 : 공수, 하단 : 펌프 1일 최대 양수용량

무주군 지하수 관정 개발 현황표에 의한 펌프 1일 최대 양수용량은 실제 이용량은 아니며 이중 일부만이 사용되고 있다. 특히 금번의 조사에 의하면 많은 농업용 관정은 1년 중 농번기인 2~3 개월 만 이용되고 있는 실정이다.

본 연구에서의 관정조사는 설천면과 무풍면을 위주로 오염취약성도 작성에 필요한 위치 및 수위자료와 이용현황을 조사하였고, 여타 읍면은 군도로 변에 위치한 관정을 위주로 조사하였다. 대부분의 관정이 계곡의 낮은 부분에 위치하고 있기 때문으로, 관정이 없는 산악부에 대한 대책이 필요하다.

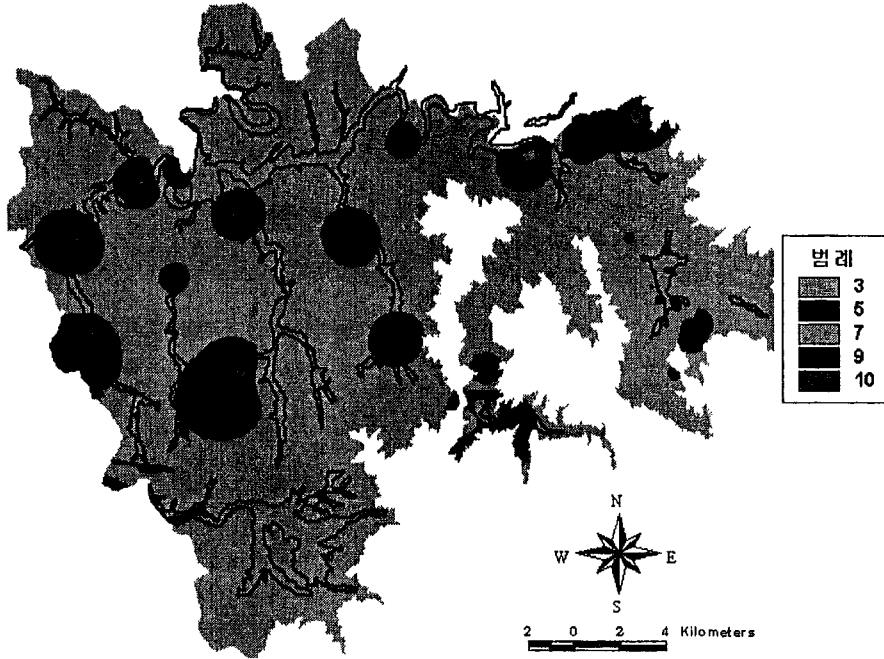
본 조사 시 수위의 실측조사는 총 53개소의 관정을 실시하였으며, 농업기반공사에서 개발한 관정 76공의 자료를 추가하여 위치 및 수위 분포도를 작성하였다. 현장 실측한 관정위치와 실측한 수위자료는 다음과 같다 <표 4-26>.

<표 4-26> 지하수위 측정자료 (TOC : 케이싱 상단부터의 깊이) (단위 : m)

번호	수위	번호	수위	번호	수위	번호	수위	번호	수위	번호	수위
1	7.0	11	7.0	21	5.0	31	23.5	41	5.0	51	5.5
2	3.4	12	6.5	22	7.0	32	4.4	42	10.0	52	7.0
3	5.6	13	5.5	23	6.0	33	12.0	43	2.1	53	7.0
4	5.6	14	12.0	24	7.5	34	2.1	44	13.0		
5	16.0	15	1.5	25	2.0	35	12.0	45	9.0		
6	1.8	16	3.3	26	7.5	36	8.0	46	1.7		
7	1.3	17	10.0	27	8.0	37	5.0	47	1.2		
8	4.6	18	8.0	28	5.5	38	7.0	48	3.8		
9	9.8	19	13.0	29	7.4	39	1.2	49	15.0		
10	4.2	20	11.1	30	1.6	40	2.0	50	6.5		

오염예측도 작성에 이용된 지하수면의 깊이는 연구지역 내의 관측공에서 측정된 자료를 GIS 도면 작성에 사용하기 위하여 ARC/INFO GRID 모듈에서 내삽함으로써 얻어지는데, 본 연구지역은 임야가 80% 이상을 차지하고 있는 지형이기 때문에, 이 방법을 적용할 경우에는 산악지형에 대한 특성을 적절히 반영하기가 불가능하다.

또한 전국적인 규모의 지하수면에 대한 자료로는, 산림청에서 제작한 전국간이 산림토양도에서 논 토양에 대하여 보통 논 50~100 cm, 사질 논 >100 cm, 고 논 <50 cm, 미숙 논 >100 cm, 염해 논 20~100 cm, 특히 산성 논 20~80 cm 등으로 구분된 자료가 있어, 본 조사에서는 이를 반영하여 지하수위 분포도를 작성하였다 (그림 4-24).



(그림 4-24) 무주지역의 기존방식으로 작성한 지하수위 깊이

그림에서와 같이 산악지역이 대부분인 무주지역의 경우, 대부분 관정이 계곡부에만 위치하여 지하수위 자료가 있는 지역보다도 없는 지역이 더욱 많다. 이처럼 자료가 부족지역이 더 많은 경우에 그대로 오염취약성 도면을 분석할 경우 분석이 잘못될 우려가 크며, 산악지역에 대한 지하수위 대체방안이 필요하다.

나) 순수 충전량 (net Recharge)

본 항목에 대한 직접적인 자료는 현장에서 측정한 강수량과 지하수위의 변화를 대비시켜 계산할 수 있으며, 간접적인 방법으로는 매질의 투수성으로부터 유추 해석하거나, 국내에서 가장 많이 사용되는 물수지 분석방법을 사용하여 일정한 지역에 대한 전체적인 충전량을 계산하는 방법 등이 있다.

지하수 함양율은 기존의 DRASTIC 기준에서의 가중치가 두 번째로 큰 요인으

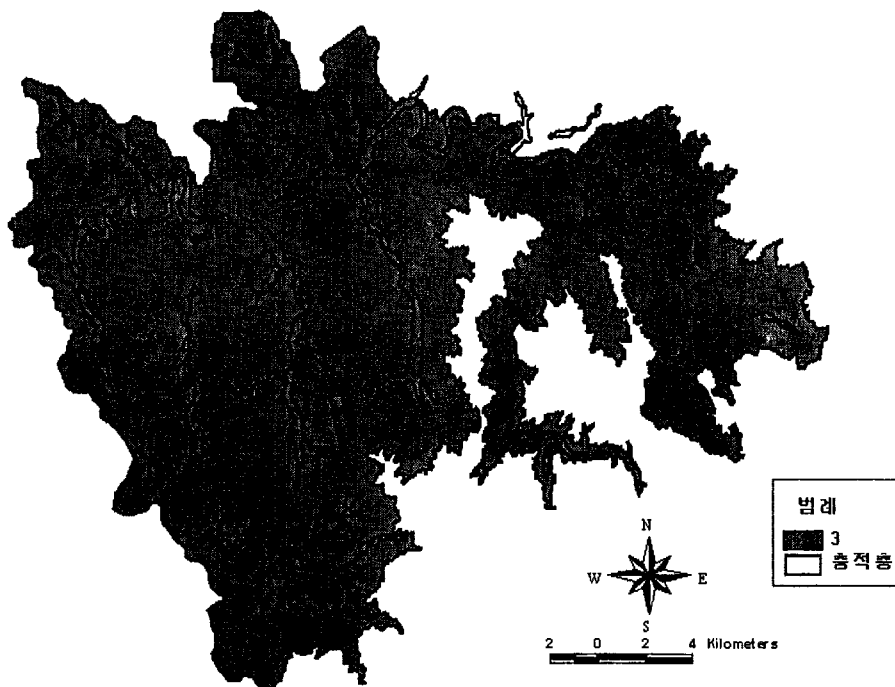
로 오염에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 오염예측도 작성에 필요한 함양율은 지하수 수문분석에 의한 결과가 필요하지만, 이는 많은 시간과 예산이 소요되므로 본 연구에서는 기존자료를 활용하였다. 지표수 수문분석 기법으로 산출한 남한지역의 년 평균 강수량에 대한 지하수 함양율은 18% 정도이지만, 농업 기반공사에서 시행한 각종 연구 및 관련 사업에서 얻어진 지하수 수문분석 결과는 지역별로 5~11% 정도이다. 무주군의 경우 기상자료를 얻을 수 있는 지점이 한 군데로 세부 지역별 강우강도를 반영할 수 없었으므로 <표 4-27>, 지형 지질 및 토양 특성만을 고려하였다.

<표 4-27> 월별 강수량 (금산지방 관측소) (단위 : mm)

년도	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전 년
1986	17.5	27.3	17.9	41	118.5	249.5	115.5	134.5	40	59	6.5	32.4	859.6
1987	26.5	59	37	25.5	35.5	67	406.2	432.5	13	80.6	36	2.7	1221.5
1988	9.8	3.1	54.1	45	38	93.2	196.5	19.5	0.5	0.9	0.7	6.4	467.7
1989	106.9	84.4	87.1	34	27	117.5	418	179	164	31.5	50	13.8	1313.2
1990	83.3	111.5	49	66	65.5	177.5	240.5	194.5	77	7.5	54.5	32.3	1159.1
1991	21	60	63.5	82	39	128	277	167.5	93.5	10.5	17	16.2	975.2
1992	20	9.3	36.5	101.5	45.5	10.5	238	153	186	37.5	31	35	903.8
1993	25.5	56	41	33.5	118.5	208.5	391.2	337.5	65	60.5	86.9	16.9	1441
1994	32.7	14.3	51	20	94	98	87	163	8	108	24	14.3	714.3
1995	29	21.5	29.8	80.3	33	33	120.2	488	37	21	24.5	1.7	919
평균	37.1	45	55.68	61.56	84.12	147	281.7	247.6	106.5	47.47	42.1	28.92	1185.27
최대	106.9	111.5	87.1	101.5	118.5	249.5	418	488	186	108	86.9	35	2073.3
최소	9.8	3.1	17.9	20	27	10.5	87	19.5	0.5	0.9	0.7	1.7	198.6

무주측후소 자료에서 강수의 직접유출을 고려하여 20 mm 이상의 일별 강수량 중 20 mm 이상값은 삭제하고, 최소 함양 강수량을 3 mm로 하여 지하수 함양에 영향을 미치는 년강수량을 산출한 결과 900 mm 였으며, 이중 10%만을 함양량으로 설정하였다. 또한 동일지역에서 강우의 지리적 변동성을 참조하면 강우

량 분포에 있어 고도가 증가함에 따라 년강우량은 증가현상을 보이며, 또한 경사부에는 미립질 토양 피복심도가 낮아 피복심도가 깊은 평지에서보다 함양량이 높은 경향이 있다. 또한 산지에는 나무의 잎과 뿌리가 강수의 지체시간을 증가시켜 함양율을 증가시키기도 한다. 이러한 현상들은 지역별로 차이가 있지만 침출을 조사결과에 따르면 일반화된 경향이라 할 수 있다. 반대현상으로는 강수의 지하 함양율은 급경사 산악지역에서 보다 주거지 계곡부 평지에서 높은 경향이 있으나 이러한 점은 본 오염취약성도에서는 지형경사 항목에서 어느정도 고려가 되고 있다.



(그림4-25) 무주지역의 기존 방식으로 작성한 지하수함양 등급

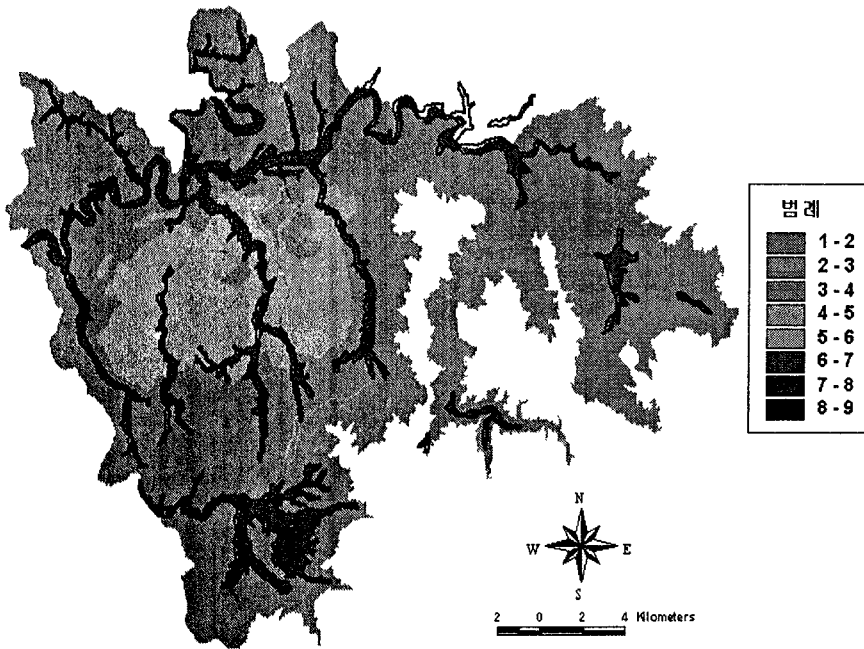
무주군 지하수함양량 분석도는(그림 4-25) 전지역이 동일 등급으로 산정되었다.

다) 대수층 매질 (Aquifer media)

일반적으로 우리나라에서 자유면 대수층은 암반의 풍화대에 위치하고 있는 것으로 판단되나, 현장조사 시에는 확인이 필요하다. 즉 지하수면이 암반 내에 위치하는 경우에는, 지질도에서 대수층을 확인할 수 있다.

일반적인 수맥도조사보고서(농업기반공사 발간)에 포함된 시추 주상도에서도 풍화대 또는 풍화암으로 기재되어 있는 부분들이 이 대수층에 속하게 되나, 실제로 이 층에 대한 보다 구체적이고 체계적인 기재가 되어 있지 않은 것이 현실이다.

본 연구에서는 한국자원연구소에서 발행한 1 : 50,000 축척의 무주, 무풍, 장거리, 설천, 영동 지질도폭의 자료를 대부분 이용하였다. 이 지역의 대수층 매질은 편마암, 화강암, 퇴적층 등의 분포가 우세하게 나타난다.

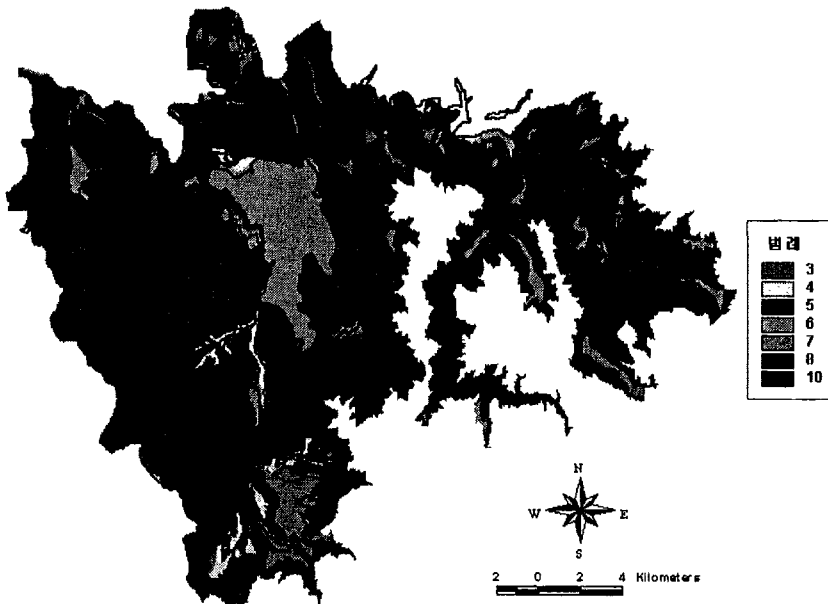


(그림 4-26) 무주지역의 기존방식으로 작성한 대수층매질 등급도

(그림 4-26)은 대수층 매질도를 지질도에 의하여 등급산정한 것으로 역암 및 사암지대가 화강, 편마암 지대보다 오염이 약한것으로 분석되고 있다. 또한 앞서 분석한 초정, 미원, 서산지구에서와 동일하게 충적층 분포지역이 가장 오염에 취약한 것으로 분석되고 있어 반대 현상을 보이고 있다. 오염물질은 산악 지역 파쇄대나 균열대를 통하여 대수층으로 유입이 쉽게 일어나며 하천변은 미립질 토양으로 인하여 오염물질 유입이 암반보다 어렵다고 보아야 할 것이다.

라) 토양 매질

현재 국내 관련자료 중에는 산림청의 간이산림토양도와 농촌진흥청 농업기술연구소 (1993)에서 제작한 정밀토양도에 “토양배수” 특성이 기재되어 있다. 이는 매우 양호, 약간 양호, 양호, 약간 불량, 불량, 매우 불량의 6등급으로 구분되어 있으며, 비록 정성적이나 이 자료를 사용하여 토양매질의 투수성을 나타낼 수 있다고 판단된다.



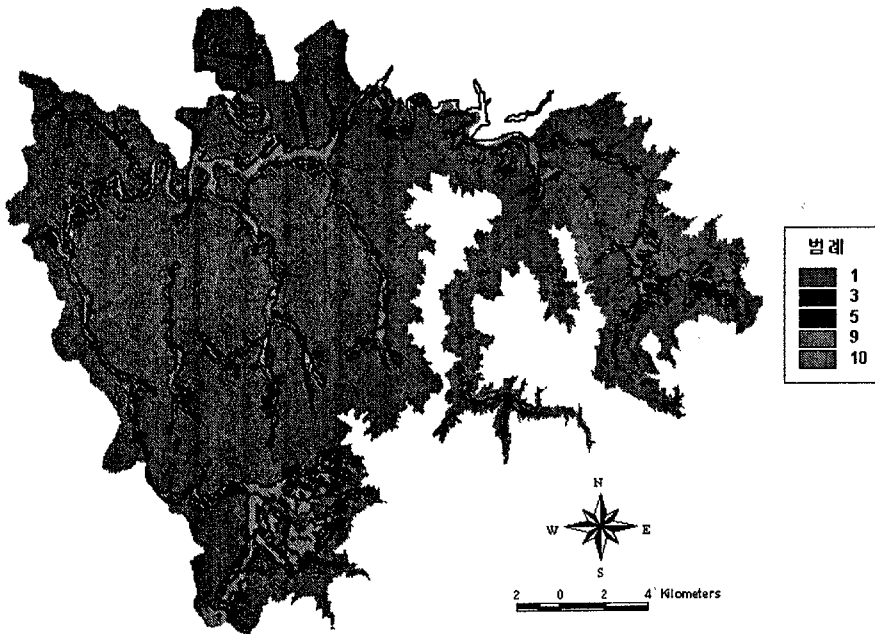
(그림 4-27) 무주지역의 기존 방식으로 작성한 토양매질 등급도

그러나 정밀토양도의 경우에, 산악지역에 대한 자료가 거의 존재하지 않으며, 간이산림토양도의 경우에는 산림청 자체의 기준으로 작성되어 그 기준에 대한 고찰이 필요할 뿐만 아니라 그 분류가 세밀하지 않은 문제가 있다.

개략토양도는 연구 지역 전체에 대한 토양 매질에 대한 자료를 얻을 수 있는데, 이 경우에 분류기준이 정밀토양도 보다 광역적인 문제가 있다. 따라서 이 문제를 해결하기 위하여 개략토양도의 한 그룹에 속하는 정밀토양도의 여러 그룹들의 평균값을 이용하였다 (그림 4-27).

마) 지형 경사

간이산림토양도에 의하면 지표면의 경사도가 평탄지 (5° 미만), 완경사지 (5-15°), 경사지 (15-20°), 급경사지 (20-30°), 험준지 (30-45°), 절험지 (45° 이상) 등으로 구분되어 있으며, 정밀토양도에는 경사도를 % 단위로 구분하고 있다.



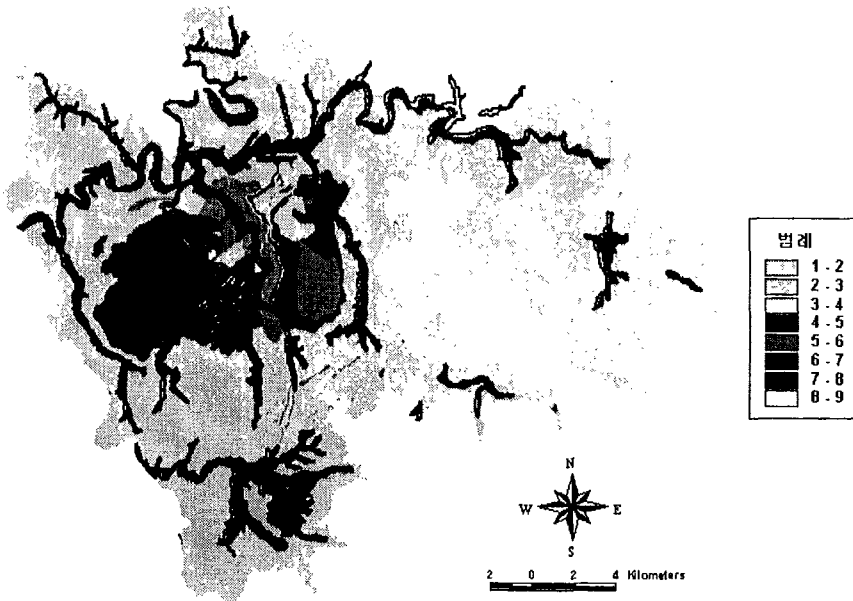
(그림 4-28) 무주지역의 기존 방식으로 작성한 지형경사 등급도

그러나 실제 작업에서는 현재 국내에서 발간된 지형도와 DEM 자료 등을 활용하여 GIS 기술을 적용하면, 비교적 쉽게 DRASTIC 형식에 적합하게 만들어낼 수 있다.

본 연구에서는 수치고도자료를 ARC/INFO GRID 모듈에서 경사율로 계산하였다 (그림 4-28).

바) 불포화대 매질의 영향

풍화대와 마찬가지로 이에 대한 구체적인 조사자료가 기존의 시추 및 검층 자료에 기재되어 있지 않다. 기존기법에서는 DRASTIC MAP을 작성하던 연구에서는 지질도의 기반암의 특성에 근거하여 이를 해석하여 왔다(그림 4-29).



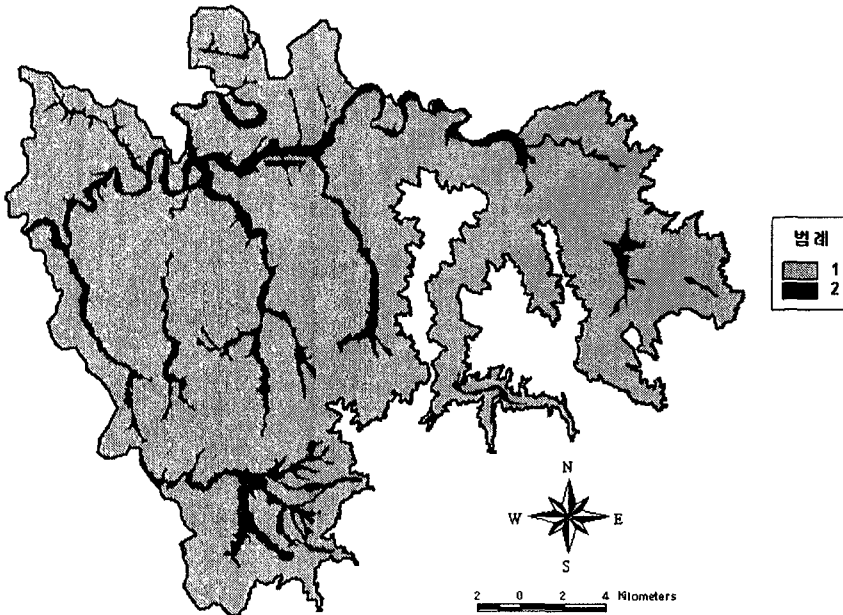
(그림 4-29) 무주지역의 기존 방식으로 작성한 불포화대 등급도

사) 대수층의 수리전도도

이 요소는 지하수면이 위치하는 자유면 대수층의 특성에 따라서 좌우될 것이나, 국내에서는 기존에 조사되어 있는 정량적인 자료가 드문 상태이다. 수리전도도의 정량적인 자료는 대수층에 대한 다양한 수리시험을 통하여 직접 분석

/결정하게 된다. 그러나, 국내의 현재 상태에서 이러한 수리시험자료는 대부분 심부 암반관정을 통하여 심부 대수층의 수리특성을 규명한 것이 대부분이며, 천부 대수층에 대한 수리시험 자료는 찾기가 쉽지 않다. 이 자료 역시 피조메타를 설치하여 직접적인 수리시험을 통하여 산출할 필요가 있다.

투수계수 측정을 위하여 설천면과 무풍면에서 각각 1개소씩 2개소에 대하여 관측공 8개 공을 개발하고 양수시험을 실시하였다. 현장조사는 일차적으로 오염취약성도 작성에 필요한 자료를 취득하였고, 오염현황도는 기존자료를 위주로 분석하였다. 본 지구에 대한 토양 침출을 측정자료를 이용하여 수리전도도를 산출하였다.



(그림 4-30) 무주지역의 기존 방식으로 작성한 대수층 수리전도도 등급도

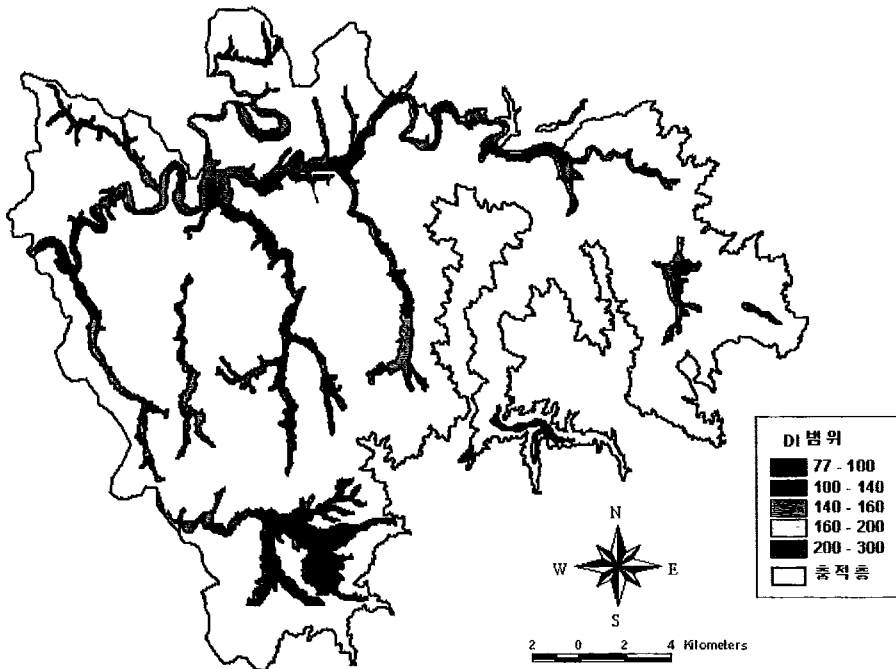
수리전도도는 대수층을 대상으로 구해야 하나 자료수가 워낙 부족하여 토양 침출을 자료를 보조 자료로 활용하였다. Guelph Permeameter를 이용하여 11개 토양통 분포 지역의 총 60개 지점에 대한 침출율을 측정하였고, 대수층 파악을 위하여 2개 공에 대하여 TV검층을 시행하였다. 국내에 적용된 기존 DRASTIC에

서는 지질도를 바탕으로 Freeze and Cherry(1979)가 제시한 암반의 지질특성에 따른 수리전도도의 범위를 적용하여 왔지만, 이 방법 역시 동일한 자료로부터 얻어진 것이기 때문에, 인자의 중복이라는 문제점을 가지고 있어 대수층 매질, 불포화대 매질 등 다수의 인자가 지질도 분류에 의거 작성되기 때문에 바람직한 기법은 아니라고 판단된다. 최대한 취득 가능자료를 이용하여 수리전도도 등급도를 작성하였다(그림 4-30).

그림에서와 같이 지질도상 충적층지역으로 구분된 하천부지만이 구분되고 있어 오염취약성 분석목적에 부합하지 않는 것으로 판단된다.

사) 기존 기법에 의한 무주지구 지하수 오염취약성도

각 인자별 등급도를 취합 분석하여 작성한 DRASTIC index map은 다음과 같다 (그림 4-31).



(그림 4-31) 무주지역의 기존 방식으로 작성한 지하수 오염취약성도

산악지역이 대부분인 무주지역 기존 기법에 의한 지하수 오염취약성도에서는 관정 및 지하수위, 수리전도도 등 자료부족으로 인하여 계곡부만이 분석되었을 뿐 대부분 지역이 빈 공간으로 취약성도로서의 가치가 없다. 자료부족지역을 무리하게 외삽법등으로 처리할 수 있으나 이또한 근거가 부족하여 정책자료로 활용하기에는 곤란하다고 판단된다.

이상 4개 지역에 대한 기존기법으로 지하수 오염취약성도를 작성하였으며 기본적으로 다음과 같은 문제점들로 인하여 오염취약성이 역으로 분석되는 경우가 대부분이었으며 자료 부족으로 빈공간으로 처리되어 오염취약성도로서의 목적에 크게 미달하고 있었다.

- 자료 부족지역이 과다 : 산악지역은 대부분 관정이 없어 지하수위와 수리전도도 인자 자료가 없다.
- 지질도에 의한 영향이 과다 : 지질도를 참고로 하여 표준 등급을 산정하게 되는 인자로서는 대수층 매질특성, 불포화대 매질특성, 수리전도도가 있다. 하지만 이경우 지질도상의 단순한 암석학적 분류를 따를 경우 세가지 인자가 거의 동일한 등급분류를 나타내어 오염취약성도 작성목적에 부합하지 않는다. 기존 DRASTIC 작성 세부 지침 상에도 언급되어 있지만 지질도는 참고자료이며 암석학적 특징보다는 암석의 구조등 침출율을 고려하도록 강조하고 있다. 따라서 현장 지표지질조사에 의한 지질구조 파악이 필수적이다.
- 지질도상 총적층 (하천 인근지역)으로 표시된 지역의 적용 검토 : 기존 DRASTIC 작성기준에 의하면 하천부지 등 지표 특성은 토양의 매질특성에서 고려되고 불포화대 매질특성은 토양 이하 심도의 매질 특성을 고려하고 대수층매질에서는 불포화대 이하 심도의 매질 특성을 대상으로 분석하도록 되어 있다. 따라서 불포화대 매질과 대수층 매질 특성에서 지질도를

참고할 경우 충적층 지대는 제거하고 주변의 지질로 포함시켜 등급을 산정해야 한다.

- 토양매질 특성 분석 : 토양인자는 정밀토양도가 계곡부만 작성되었고 산악지역자료가 없어 개략토양도상의 분류기준을 참조하였다. DRASTIC 기존 작성기법에서 토양별 침출율을 고려토록 되어 있어 본연구에서는 토양통별 침출율을 현장조사시 실측하여 보았으나 토양분류와 침출율이 별로 상관 관계를 보이지 않았다. 따라서 일정기간 토양통별 침출율 실측자료가 축적되어 상관관계가 규명될 때까지는 침출율 실측을 해야 한다고 판단된다.
- 토지이용도에 따른 영향 고려 : 토지이용에 따른 침출율을 고려하는 방법으로 미국 토양국에서 개발한 SCS-CN 법이 국내에서도 자주 활용되는바 본 연구에서도 초정 미원지구에서는 토양매질 특성에서 고려하였고 서산 지구에서는 함양을 인자 등급산정시 고려하여 보았다. 하지만 기 언급한 바와 같이 아직은 토양도상의 토양 분류가 침출율과 상관 관계가 명확치 않기 때문에 토양도를 기준으로하는 SCS-CN 기법의 적용도 타당성이 흐려진다고 판단된다. 따라서 오염예측도에서 토지 이용에 따른 영향을 고려해주는 것은 관개용수로 인하여 영향을 받는 지하수 함양을 인자에서 논과 밭 분류 및 관개용수 공급지역을 고려해주는 것이 타당하리라 판단된다.

대부분의 시범지구 오염취약성도가 역으로 분석된 것은 자료부족으로 대부분 인자가 심도 있게 분석되지 못하는 상황에서 지형경사 자료만이 제대로 분석되고 또한 지질도상에서 충적층 분포 지대가 중복 고려되면서 역전현상이 있는 것으로 분석되었다. 다음장에서는 이러한 시범지구에서의 기존 기법으로 작성된 오염예측도의 문제점들을 해결하는 방안을 제시하고자 한다.

제 5 장 수정 오염취약성도 기준 검토

여 백

제 5 장 수정 오염취약성도 기준 검토

제 1 절 개 요

제 3장에서는 DRASTIC 기법에서 제시한 인자들의 가중치 및 등급에 대하여 분석을 실시하였으며, 제 4장에서는 서로 상이한 대수층 특성을 가진 4개의 시범지구에 대한 적용으로 우리나라 수리지질학적 특성과의 적합성 여부를 검토하여 보았다.

본 장에서는 DRASTIC 기법 중 우리나라 대수층 특성을 반영하지 못하는 인자들과 새로운 기준 수립이 필요한 인자에 대하여는 관련 자료 및 현장조사 자료 등의 정밀검토를 통하여 적합한 수정안을 제시하고자 한다.

특히 우리나라 대수층의 특성을 반영할 수 있는 추가 인자는 여러 연구에서 제시된 선구조 밀도도와 토지이용도인데, 지금까지의 연구결과를 기초로 두가지의 인자를 기존 DRASTIC 인자에 별도로 추가하는 것은 분석자료의 근거가 부족하여, 본 연구에서는 이러한 두가지 인자를 기존 인자 검토 시 관련되는 인자에 포함시켜 제시코자 하였다. 즉 선구조 밀도도는 불포화대 영향 인자에 중첩하여 검토하고, 토지이용도는 지하수 함양 및 지표토양 매질 인자 검토 시 고려하는 방향으로 제시하고자 하였다. 본 장에서는 기존 DRASTIC 기법 중 우리나라 대수층 특성과 큰 차이가 없는 지형경사에 대한 검토는 제외하였다.

제 2 절 항목별 기준 검토

DRASTIC 기법은 지하수 유동에 영향을 미치는 7개의 중요 인자를 선정하고 각 인자별로 등급을 평가한 결과를 종합하여 최종적으로 지하수 오염취약성을 평가하는 기법이다.

DRASTIC 기법은 강수로부터 지하수위로 오염물질이 유입되는 동안의 매질을

지표토양, 불포화대 및 대수층으로 구분하였고, 대수층은 매질특성, 지하수위, 수리전도도를 별도로 고려하므로 유입량을 강수량과 지형경사 인자 특성으로 분석하고 있다.

본 기법에서의 등급설정은 각 인자별로 표준 등급표를 제시하고 있으나, 제시된 등급은 표준적인 예일 뿐 각 인자별 등급 설정 시에는 오염물질이 지표로부터 지하수면까지 유동하는데 미치는 영향을 고려해야 한다. 즉 각 매질별 등급 산정 시 가장 중요한 사항은 침출속도, 침출량, 자연저감, 흡착 및 반응 등 침출에 미치는 영향을 종합적으로 고려하도록 제시하고 있다. 따라서 단순하게 토양도 및 지질도의 분류기준을 표준등급화 하는 것은 적절치 못하다. 따라서 본 장에서는 기존자료 중 미흡한 부분을 보완하기 위한 최소한의 현장조사 내역, 추가 고려사항 및 대체 자료 적용기법 등 기존의 DRASTIC 기법 중 우리나라에 적용하기에 부족한 점들에 대하여 정밀 검토하였다.

1. 지하수위 (D)

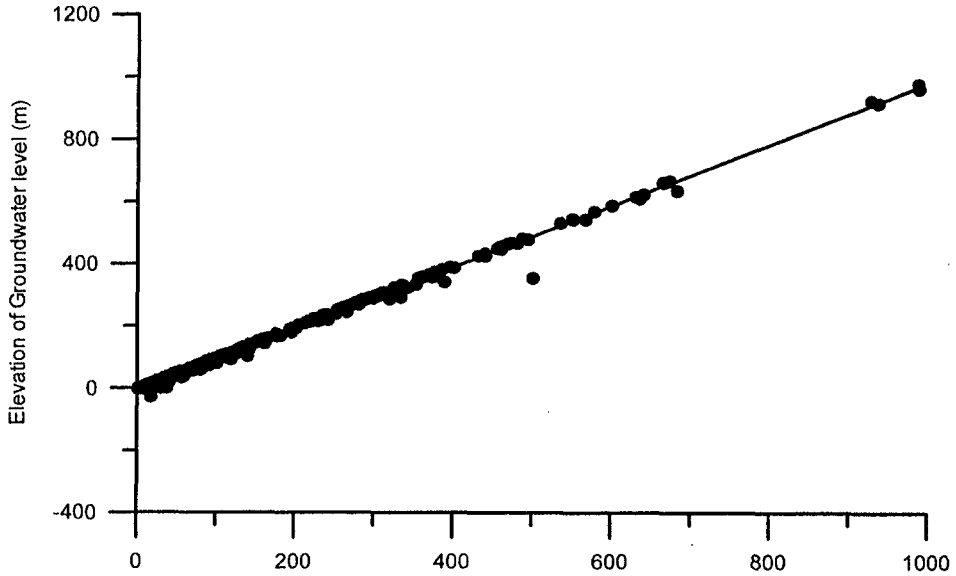
가. 지하수위 일제조사

개발당시 지하수위자료는 측정시점 차이가 심하여 사용하기가 곤란하며 최소한의 현장조사로 신뢰성 있는 자료취득이 가능하므로 되도록 지하수위 일제 조사를 실시하여 자료를 취득하도록 한다.

나. 산악지역 지하수위 산출기준

우리나라의 산악지역은 대체적으로 지하수위 관측자료가 부족하므로 앞서 검토한 바와 같이 당초의 기준으로 작성할 경우는 분석에 오류를 범할 수 있다.

본 연구에서는 농업기반공사에서 1970년도부터 1998년까지 개발한 전국 (제주도 제외) 479개 관정 수위자료를 기초로 해발표고에 대한 자연수위를 도시한 결과 높은 상관관계를 확인할 수 있었다 (그림 5-1).



(그림 5-1) 기설관정에 대한 해발고도와 자연수위 관계도

직선 회귀식 $Y = 0.9895 X - 5.4859$

자료수 : 479,

평균 해발표고 $X = 141.587$

평균 자연수위 $Y = 134.62$

Residual Sum of Squares = 38898

Regression Sum of squares = $1.26929 E+007$

Coef. of Determination, R-squared = 0.996945

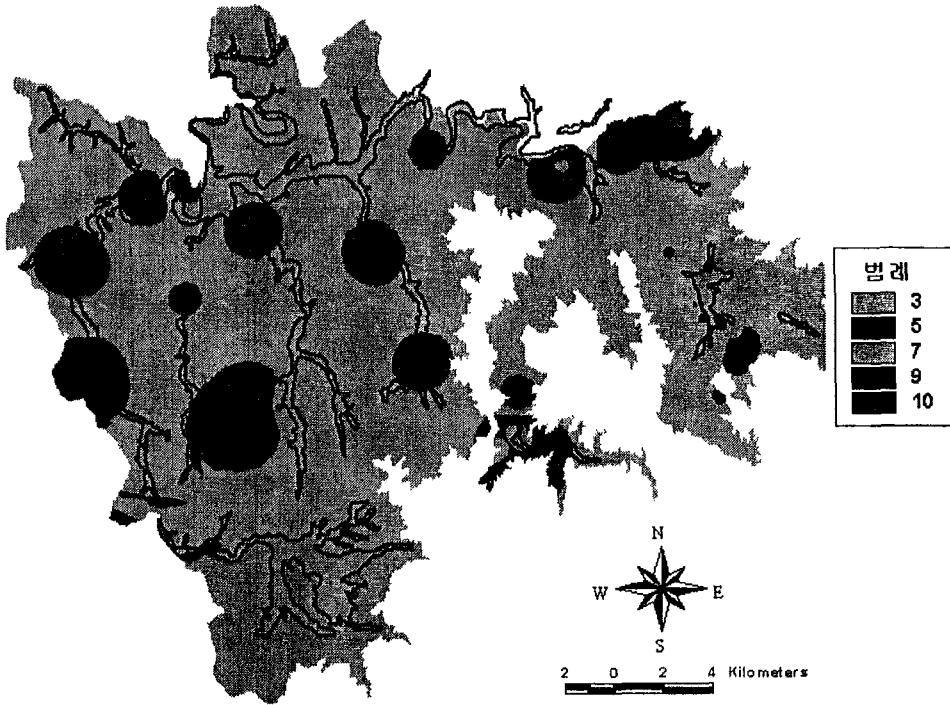
Residual mean Square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 81.5472$

당초 분석에 이용된 자료는 약 17,000여 개이나, 자연수위와 해발고도값의 신뢰성이 결여된 자료는 본 분석에서 제외하고 자료의 신뢰성이 높은 관정 479공의 자료만을 이용하였다. 사용된 수위자료는 개발 당시의 자연수위로 측정 시간차가 크고 대수층의 주변여건 등이 확인되지 않은 상태이지만, 우리나라 대부분 지역의 지질여건과 대수층 조건을 반영하였고 대부분 농어촌지역에 소재한 관정으로 교란작용이 비교적 적은 지역을 감안할 때 범용성 있는 자료로서 신뢰성이 높다고 판단된다.

상기 회귀식을 이용하여 자료가 부족한 산악지역에 대한 지하수위를 다음과 같이 추정하여 제시코자 한다.

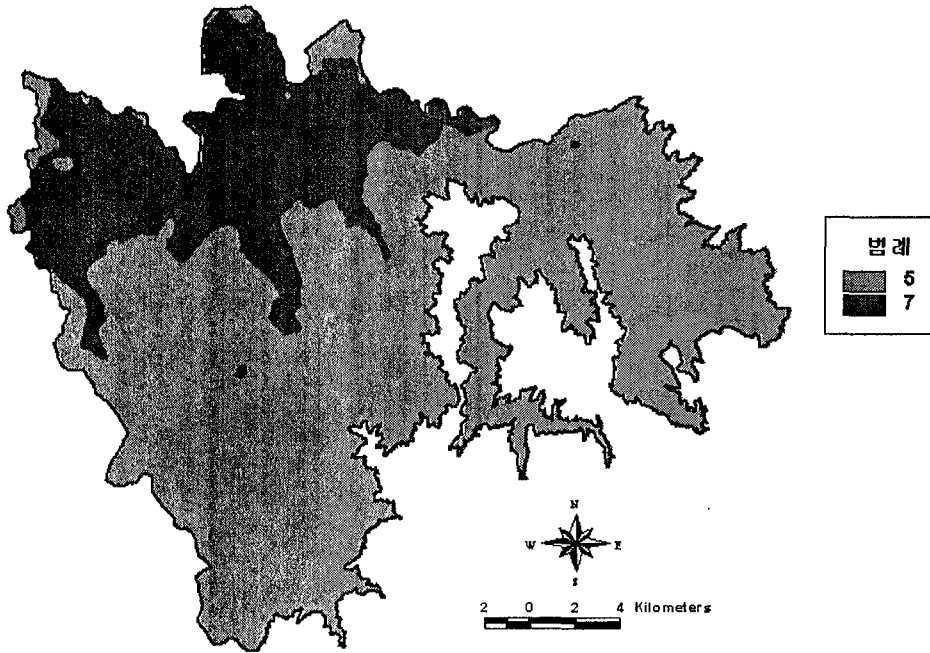
$$\text{산악지역 지하수위} = \text{해발표고} \times 0.99 - 5.486 \text{ (m)}$$

무주 시범지구에 대하여 이러한 산악지역 자료대체기법을 사용하기 전후 지하수위 등급도를 비교하면 다음과 같다(그림 5-2, 5-3).



(그림 5-2) 무주지역 기존 기법에 의한 지하수위 등급도

상기 (그림 5-2)에서 볼 수 있듯이 대부분 관정이 주민이 거주하는 계곡부에만 위치하여 수위자료가 극히 국부적인 지역에만 존재하고 있으며 만일 주변 산악지역에 단순 외삽법으로 지하수위를 추정하기도 곤란하다. 본 연구에서 제시한 산악지역 지하수위 산출 기법에 의하여 수정 보완된 (그림 5-3)에서는 지역별로 등급분포가 양호한 결과를 보이고 있다.



(그림 5-3) 산악지역 지하수위 대체기법에 의한 지하수위등급도

2. 지하수 함양량 (R)

지하수 함양율은 강수나 기타 지표수가 지하수로 함양되는 연간 총 침출량으로 지역별 침출량 차이를 고려할 수 있는 인자이다.

가. 토지이용도

토지이용에 따른 침출율을 고려하는 방법으로 미국 토양국에서 개발한 SCS-CN 법이 국내에서도 자주 활용되는바 본 연구에서도 초정 미원지구에서는 토양매질 특성에서 고려하였고 서산지구에서는 함양율 인자 등급산정시 고려하여 보았다. 하지만 기 언급한 바와 같이 아직은 토양도상의 토양 분류가 침출율과 상관 관계가 명확치 않기 때문에 토양도를 기준으로하는 SCS-CN 기법의

적용도 타당성이 흐려진다고 판단된다. 따라서 오염예측도에서 토지 이용에 따른 영향을 고려해주는 것은 관개용수로 인하여 영향을 받는 지하수 함양을 인자에서 논과 밭 분류 및 관개용수 공급지역을 고려해주는 것이 타당하리라 판단된다.

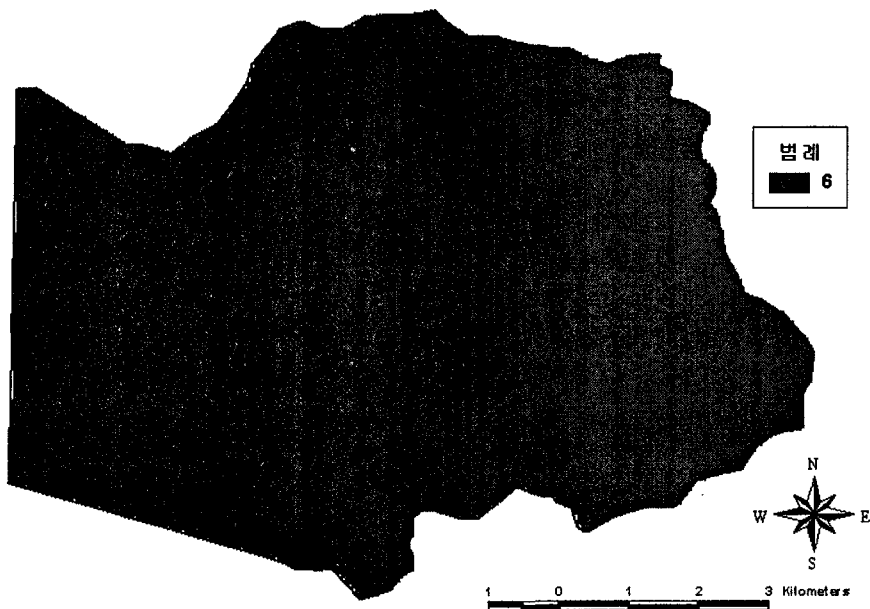
전답분포 및 관개용수 공급지역 파악은 위성영상분석과 현장확인에 의하여 얻을 수 있다. 인공위성 자료를 이용하여 감독분류를 실시하기 위해서는 Landsat-TM 자료의 7개 밴드 중 가장 적절한 밴드를 먼저 선정하여야 한다. 이에 따라 7개의 밴드 중 서로 상관관계가 적으며 다양한 정보를 갖는 1, 4, 5 그리고 7번 밴드를 이용한다. 감독분류에 사용될 밴드의 조합이 결정되면 기존의 지도와 항공사진 등의 가능한 모든 보조적인 정보를 이용하여 각 분류종류의 가장 대표가 되는 부분을 분류대상 영상 내에서 선택하여 각 분류종류에 대한 광학적 특성을 통계학적으로 분석하는 단계를 거친다. 감독분류가 높은 정확도를 갖기 위해서는 각 분류 대상종류간의 광학특성이 비교적 작은 폭을 갖으며 가능하면 상이한 분포를 갖도록 데이터를 정하는 것이 좋다.

토지 이용은 크게 함양율과 지표토양 구성매질(S) 즉 토양별 침출율에 영향을 미친다. 토양별 침출율은 본 연구에서는 Guelph 또는 Ring 침출을 측정기로 실측할 것을 제시하였으므로 고려하지 않기로 하였다.

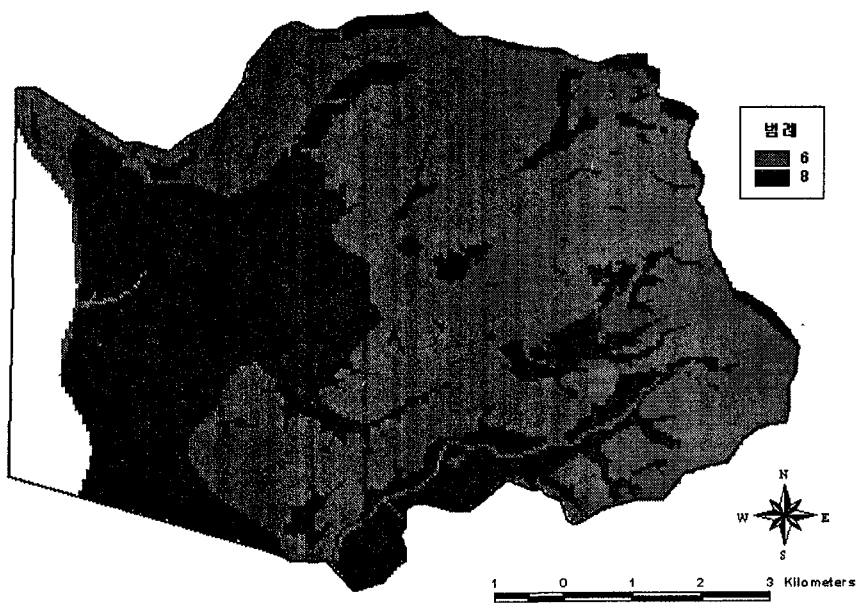
토지 이용이 함양율에 미치는 영향을 분석하기 위하여는 토지이용과 강우량 실측자료가 필요하지만, 대부분 국지역에 강우 측후소 개소 수가 많지 않아 지역별 구분자료가 부족하다. 따라서 토지이용 전 답 분포지역에서 기존 DRASTIC에서 제시한 바와 같이 논지역에서 최대 10 Cm 까지의 추가 함양율을 적용토록 하는 것이 바람직하다. 향후 밭지역에 대한 실측자료가 확보될 경우 이에 대한 보정도 할 수 있다.

서산 시범지구에 대하여 기존 기법과 수정보완된 기법으로 지하수 함양량 등급

도를 작성 비교하면 다음과 같다(그림 5-4), (그림5-5).



(그림 5-4) 서산지구에 대한 기존기법의 지하수 함양을 등급도



(그림 5-5) 토지이용을 고려한 수정기법에 의한 서산지구 지하수 함양을 등급도

수정 보완된 지하수 함양을 등급도(그림 5-5)에서 동부 산악지역이 등급 6으로 서부 대부분 논지역이 등급 8로 구분되었다.

3. 대수층 구성물질 (A)

DRASTIC 기준에 따른 대수층 구성물질은 지질별 등급을 일정한 값으로 규정하지 않았고, 암질의 파쇄구조 및 균열대 발달상태 등 강수의 침출율에 영향을 미치는 지질구조 발달상태에 따라 등급을 일정 범위 내에서 적절히 적용하도록 규정하고 있다. DRASTIC 기법의 각 인자별 등급산정은 각 등급표에서 제시하는 항목들이 대표적인 예를 나타내는 것이고 실제 조사자가 각 인자별로 강수의 침출율, 침출속도, 자연저감 등 제반오염물질 유동에 영향을 미치는 정도를 고려하여 등급을 산정토록 하고 있다. 따라서 기존 지질도나 토양도상의 분류 기준만으로 취약성 등급표에서 제시된 값을 그대로 입력하는 것은 취약성분석에 중대한 오류를 범할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 대수층 구성물질 등급산정에서도 현장 지표지질조사를 실시 구조대를 파악한 후 그 결과에 따라 등급을 설정해야 한다.

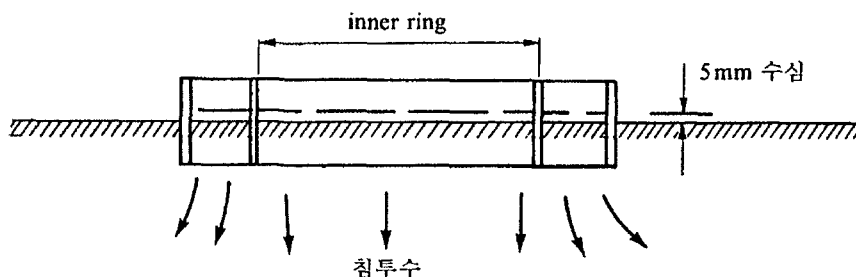
4. 지표토양 구성물질 (S)

지표토양 구성물질은 토양도로부터 자료를 취득하여 지역별 토양침출을 정도를 구분해 주는 인자이다. 그러나 토양도는 토양자체의 물리 화학적 특성에 따라 구분되는 경향이 큰 것으로 조사되었다. 오염취약성도에서는 토양종류별 침출율을 고려가 필요하지만, 우리나라 개략토양도상에 분류되어 있는 침출율 구분은 실측자료가 아니고 토양입자 크기 및 구성을 등에 기초하여 구분하고 있으므로 토양도 분류기준만으로 사용하기는 불가능하다. 이를 확인하기 위하여 시범지구에서 토양통별로 Guelph permeameter와 Ring Permeameter로 실측에 의한 검토를 실시하였다.

가. Ring Permeameter 에 의한 침출율 측정

지상에 내리는 비는 우선 토양이나 지면의 식생을 적시게 되며, 지표면이 완전히 습해진 후부터 빗물은 지표 침투층을 스며들거나 불투수층 위로 흘러 하천 수로에 도달하게 된다. 지표면이 투수층일 경우에는 토양 속에 미소한 공극이 있으므로 이를 통해 물이 지하로 스며들게 된다. 본 연구에서는 토양의 침투능력을 실측하여 강우에 의한 지표 오염물질의 이동으로 인한 지하수오염 정도를 비교하고자 하였으며, 토양 침투율 조사는 무주지구, 토양 포화 수리전도도 조사는 서산지구 및 무주지구에서 실시하였다.

토양 침투율 조사에서는 상부가 열려있는 이중 원통 침투계(double ring infiltrometer)를 이용하여 토지이용별 자연상태의 토양 침투속도를 측정하였다 (그림 5-6). 토양 침투율은 토양종류, 토지이용, 피복식생 등에 따라 다르며 무주지역에서는 많이 분포하는 주요 토양별, 토지이용이 다른 지점들을 대상으로 조사하였다.



(그림 5-6) Ring Permeameter 측정 모식도

이중 원통 침투계는 중심이 같은 두 개의 원통으로 구성되어 있으며 본 조사에서 사용한 원통 중 안쪽은 지름이 31cm, 높이 25cm이고 바깥 원통은 지름 57.8cm, 높이 25cm이다. 지표면에 두 개의 중심이 같은 10cm 깊이의 홈을 파서 그 안에 벤토나이트 슬러리 (현장에서는 벤토나이트 대용으로 점토 사용)를 넣고 원통을 놓는다. 벤토나이트는 원통을 위한 성층이 되고 측벽을 따르는 선택적 흐름을 감소시킨다. 물을 두 원통 사이와 안쪽의 원통내부에서 침투되도록 하면서 일정수위를 유지시킨 수량으로부터 침투율을 구한 결과, <표 5-1>과 (그림 5-7)에서 보는

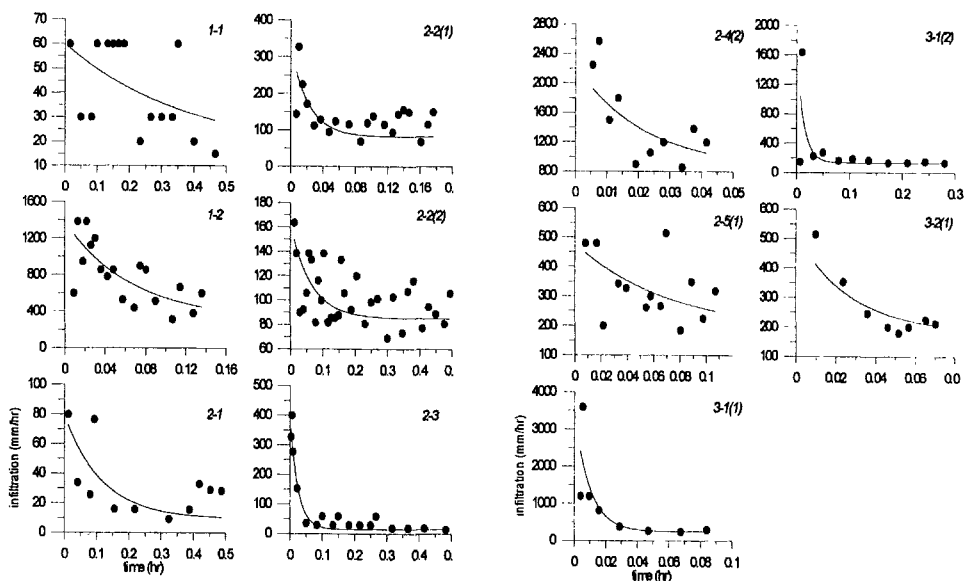
바와 같이 초기에는 토양이 불포화상태에 있으므로 침투율이 높으나 시간이 지날수록 낮아지며 나중에는 일정하게 된다 (→ 종기침투율, f_c).

보다 정확한 토양침투율을 측정하려면 장시간(5시간~10시간 이상) 측정하여야 하는데, 본 조사에서는 초기 30여 분간 조사하였지만 <표 5-1>의 종기침투율(f_c)로부터 토양종류 및 토지이용별 차이를 어느 정도 비교할 수 있다.

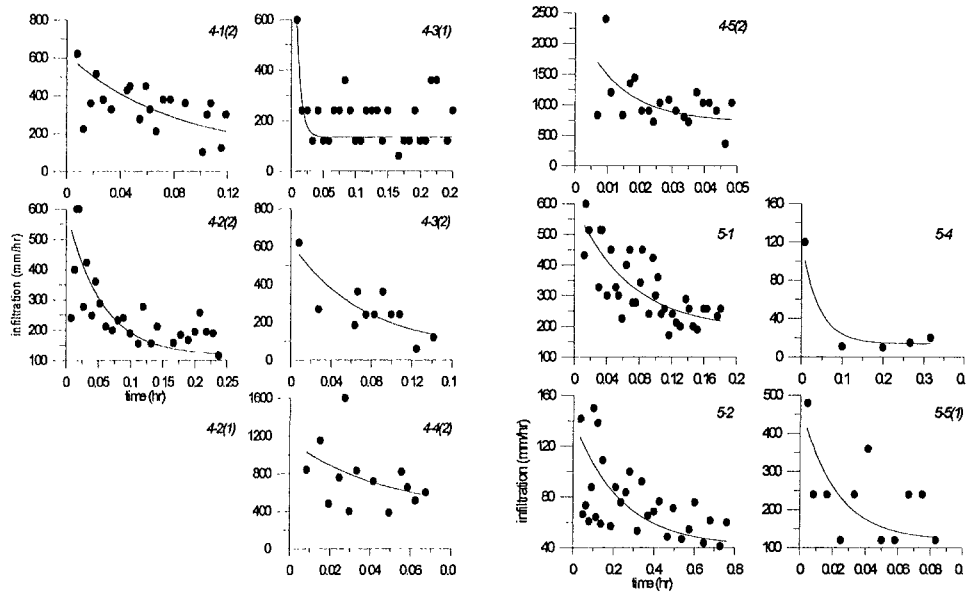
Horton의 침투능 곡선식으로 나타내면 <표 5-1>과 같다. 토양종류별로 종기침투율(f_c)을 비교하면 산악지에 비해 자갈이 있는 사양토, 자갈이 있는 양토의 종기침투율이 높으며, 토지이용별로 비교하면 논 < 밭 < 임야 순으로 높다 (그림 5-8).

$$f_p = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt} \quad \dots \dots \text{Horton의 침투능 곡선식}$$

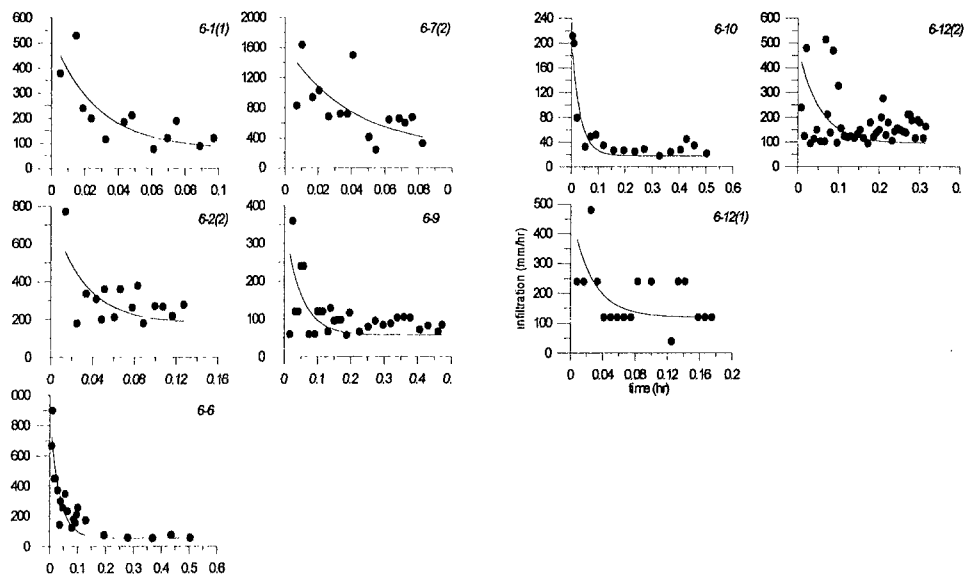
- f_p : 임의시간에서의 침투율 (mm/hr)
- f_o : 초기 침투율 (mm/hr)
- f_c : 종기 침투율 (mm/hr)
- k : 토양 종류 및 식생피복 등과 관련된 상수
- t : 시간 (hr)



(그림 5-7) Ring Permeameter 로 실측한 토양별 침출율



(그림 5-7) Ring Permeameter 로 실측한 토양별 침출율 분포(계속)



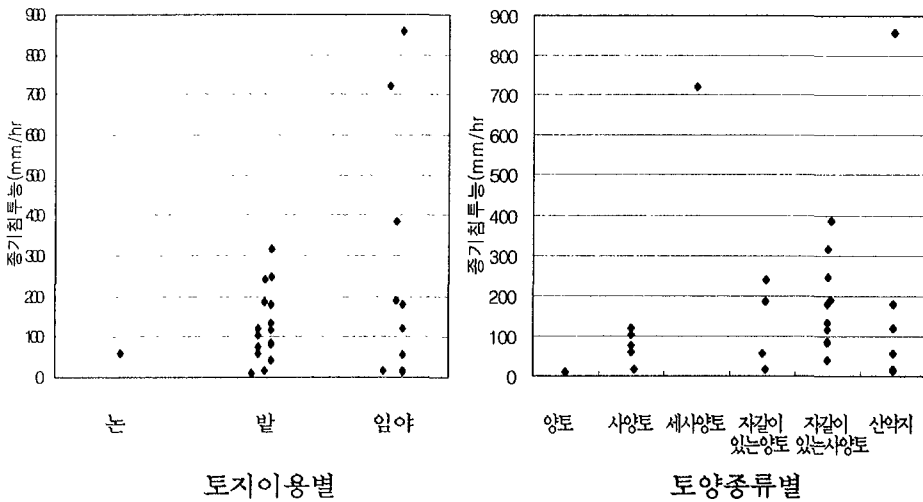
(그림 5-7) Ring Permeameter 로 실측한 토양별 침출율 분포(계속)

<표 5-1> Ring Permeameter 로 측정된 토양별 토지이용별 침출율

조사 번호	토양분류	토지이용	Horton 공식			
			공식	f _c (mm/hr)	f ₀ (mm/hr)	k
1-1	안릉 자갈이 있는 양토	밭	$Y=15+(60-15) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.232784$	60	15	2.57
1-2	풍천 자갈이 있는 사양토	밭	$Y=315.79+(1384.62-315.79) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.455002$	1385	316	15.21
2-1	용지 양토	밭	$Y=9.45+(80-9.45) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.36059$	80	9	8.65
2-2	지곡 자갈이 있는 사양토	밭	$Y=85.1+(163.64-85.1) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.174686$	327	82	45.31
2-3	Mt (산악지)	임야	$Y=15+(400-15) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.938764$	400	15	40.75
2-4	Mt (산악지)	임야	$Y=857.14+(2250-857.14) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.578007$	2250	857	47.01
2-5	오산 자갈이 있는 양토	밭	$Y=184.62+(480-184.62) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.122671$	480	185	14.16
3-1	지곡 자갈이 있는 사양토	밭	$Y=134.33+(1636.36-134.33) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.274808$	1636	134	74.58
3-2	수암 자갈이 있는 사양토	밭	$Y=180+(514.29-180) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.814804$	514	180	36.59
4-1	고평 미사질식양토	밭	$Y=102.86+(620.69-102.86) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.0899095$	621	103	13.09
4-2	풍천 자갈이 있는 사양토	밭	$Y=116.13+(600-116.13) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.428602$	600	116	18.43
4-3	매곡 사양토	밭	$Y=0+(620.69-60) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.63411$	621	60	14.14
4-4	수암 자갈이 있는 사양토	임야	$Y=85.71+(1152-385.71) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.127253$	1152	386	21.01
4-5	중등 세사양토	임야	$Y=20+(2400-720) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.161921$	2400	720	78.53
5-1	지곡 자갈이 있는 사양토	임야	$Y=89.47+(600-189.47) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.574243$	600	189	14.95
5-2	지곡 자갈이 있는 사양토	밭	$Y=1.14+(141.73-41.14) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.13349$	142	41	4.29
5-4	Mt (역암) (산악지)	임야	$Y=3.9775+(120-13.9775) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.934864$	120	14	23.64
5-5	Mt (사암) (산악지)	임야	$Y=20+(480-120) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.25115$	480	120	46.43
6-1	월곡 사양토	밭	$Y=6.6+(529.41-76.6) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.618963$	529	77	37.00

<표 5-1> Ring Permeameter 로 측정된 토양별 토지이용별 침출율(계속)

조사 번호	토양분류	토지이용	Horton 공식			
			공식	f_0 (mm/hr)	f_c (mm/hr)	k
6-2	Mt (산악지)	임야	$Y=80+(771.43-180) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.34666$	771	180	32.16
6-6	Mt (산악지)	임야	$Y=5.73+(900-55.73) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.799214$	900	56	29.67
6-7	안릉 자갈이 있는 양토	밭	$Y=40+(1636.36-240) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.302032$	1636	240	25.32
6-9	안릉 자갈이 있는 양토	논	$Y=7.14+(360-57.14) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.0423421$	360	57	20.29
6-10	매곡 사양토	임야	$Y=7.73+(211.76-17.73) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.886387$	212	18	30.71
6-12 (무주지구)	Mt (산악지)	임야	$Y=20+(480-120) \times e^{(-k \times X)}$ $R^2=0.117654$	480	120	38.04

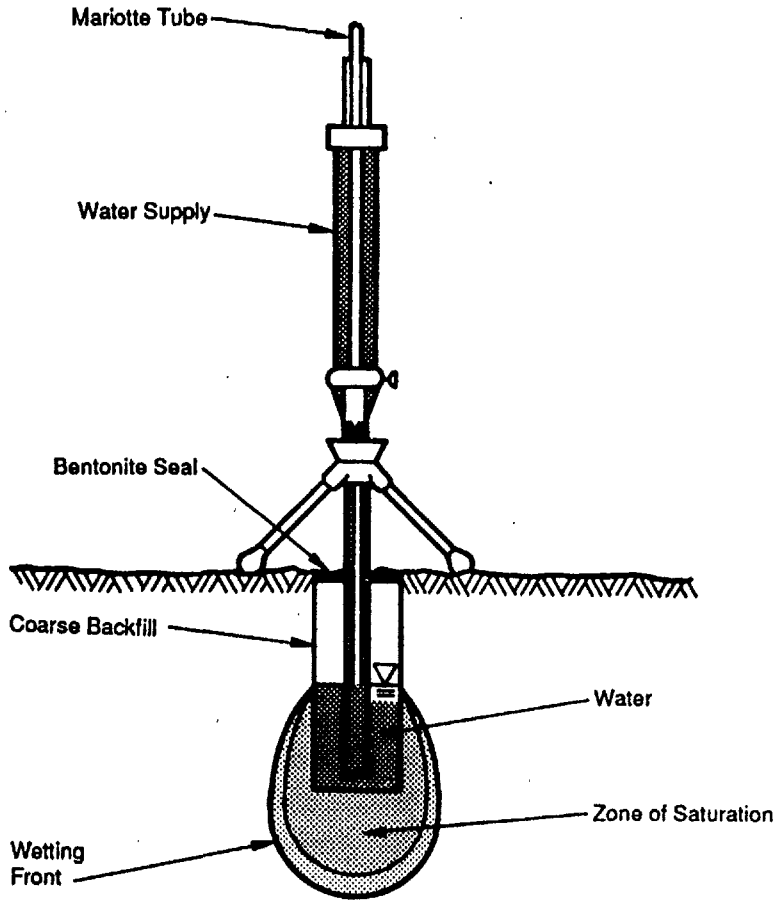


(그림 5-8) Ring Permeameter 로 실측한 토양별, 토지이용별 침출율

나. Guelph Permeameter 에 의한 침출율 측정

토양의 포화 수리전도도를 구하기 위하여 현장에서 토양침출율조사기 (Guelph permeameter)를 이용하여 서산지구에서는 18지점, 무주지구에서는 45 지점 총 63지점에서 조사하였다. Guelph permeameter는 보링공을 판 후 permeameter를 설치, 단위시간 동안 물이 유출되는 양을 측정하여 비포화대의

수리전도도를 구한다. 본 조사에서는 Glover (1953)가 제안한 공식을 이용하여 수리전도도를 구하였다 (그림 5-10)〈표 5-2〉.



(그림 5-9) Guelph permeameter 모식도

$$K_{fs} = \frac{Q}{C_u r H} \dots \dots \dots \text{Glover(1953)}$$

K_{fs} : 토양 포화수리전도도(Saturated hydraulic conductivity, mm/hr)

Q : 침투율 (ml/hr)

r : 보링공의 반지름(mm)

H : 보링공의 물 깊이(mm)

$$C_u : C_u = \frac{2\pi H_D}{\left[\sinh^{-1}(H_D) - \sqrt{\frac{1}{(H_D^2+1)} + \frac{1}{H_D}} \right]}, \quad H_D = \frac{H}{r}$$

조사 결과 서산지구 및 무주지구에서 토지이용에 따른 포화 수리전도도는 이중 원형 침투계 조사결과와 다르게 나타났다 (그림 5-6). 서산지구에서는 논에서의 포화수리전도도가 높게 나타났는데 이는 미사질양토가 분포하는 논에서만 유출량이 높았으며 이를 제외하고는 전반적으로 밭과 임야로 이용되는 토지에서 수리전도도가 높았다. 무주지구에서는 논 < 임야 < 밭 순으로 포화 수리전도도가 높게 나타났다. 토양종류별로 보면 무주지구에서 밭으로 사용하는 미사질식양토가 분포하는 지점을 제외하고는 자갈이 있는 양토/사양토에서의 포화 수리전도도가 높고 당초예상과는 달리 산악지에서는 포화수리전도도가 그다지 높게 나타나지 않았다. 이는 토지이용, 종류 외 피복상태 등 토양침투능에 영향을 주는 다른 인자들을 고려하지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

토양침투능 및 토양 포화수리전도도를 현장에서 조사한 자료를 근거로 DRASTIC INDEX MAP의 토양매질에 대한 등급을 다음과 같이 재조정하였다. 토지이용에 따른 침투능의 변화가 많지만 대략 (그림 5-10)에서 보는 바와 같이, ① 미사질식양토, ② 양토, 세사양토, 미시질양토, 사양토, ③ 자갈이 있는 양토, 자갈이 있는 사양토, 바위가 있는 사양토, ④ 산악지로 크게 구분할 수 있으며, 이에 대한 등급은 전반적으로 토양침투능 포화수리전도도가 높은 자갈/바위가 있는 양토/사양토를 '4', 미사질식양토 및 산악지는 '2', 그 외 토양은 '3'으로 하였다.

토양 침출율을 토양도자료상의 토양매질 구분에 따라 토양도에서 제시하는 침출율로 그대로 적용치 아니하고 실측에 의한 검증을 하고자 함은 국내토양도 구분이 지하수 침출율을 고려하기 보다는 토양 자체 입자 특성에 기인하여 구분되었기 때문이다. 하지만 금회 연구과정에서 실측한 자료만으로는 아직도 토양도상의 토양구분별 실측 침출율이 명확한 상관성을 보이지 못하였다. 앞으로 좀더 많은 실측자료 축적 및 분석이 필요하다.

<표 5-2> Guelph Permeameter 로 실측한 토양별 침출율

조사 번호	조사일	위치			지질	토양분류	토지 이용	Glover(1953) eq.
		군	면	리				Kfs (mm/hr)
S-1	98-03-05	서산	고북	가구	섬록암 (쥬라기)	반산 (양토)	임야	34.5088704
S-3	98-03-05	서산	고북	초록	반화강암질편상화강암 및 조립질편상화강암 (시대미상)	덕산 (바위가 있는 사양토)	임야	17.0193635
S-5'	98-04-28	서산	고북	신상	충적층 (제4기)	고평 (미사질식양토)	논	19.8810156
S-6	98-03-10	서산	고북	기포	충적층 (제4기)	연곡 (양토)	논	2.24961821
S-8	98-03-11	서산	고북	가구	섬록암 (쥬라기)	용지 (양토)	밭	1.69853381
S-12	98-03-17	서산	고북	신상	충적층 (제4기)	화동 (미사질식양토)	임야	3.90555782
S-14	98-03-14	서산	고북	정자	조립질화강섬록암 (백악기)	송정 (양토)	밭	99.6597726
S-15	98-03-20	서산	고북	초록	충적층 (제4기)	합평 (미사질양토)	밭	7.69145161
S-16	98-03-20	서산	고북	초록	충적층 (제4기)	합평 (미사질양토)	밭 (복토)	1.71735204
S-17	98-03-20	서산	고북	초록	충적층 (제4기)	용계 (자갈이 있는 양토)	밭	28.9673768
S-18	98-03-20	서산	고북	초록	충적층 (제4기)	용계 (자갈이 있는 양토)	임야	271.387
S-21	98-03-21	서산	고북	남정	충적층 (제4기)	광할 (미사질양토)	논	1352.63342
S-21'	98-03-21	서산	고북	남정	충적층 (제4기)	광할 (미사질양토)	논	1385.82294
S-24	98-04-24	서산	고북	가구	대호지층(편암, 천매암) (시대미상)	우곡 (자갈이 있는 양토)	논	6.33152456
S-25	98-04-25	서산	고북	용암	대호지층(편암, 천매암) (시대미상)	오산 (자갈이 있는 양토)	논	139.475997
S-28	98-05-01	서산	갈산	대사	반화강암질편상화강암 및 조립질편상화강암 (시대미상)	아산 (자갈이 있는 양토)	산	52.5426891
S-30	98-05-01	서산	고북	장요	반화강암질편상화강암 및 조립질편상화강암 (시대미상)	아산 (자갈이 있는 양토)	산	404.062536
S-31	98-05-01	서산	고북	초록	흑운모화강암 (쥬라기)	덕산 (바위가 있는 사양토)	산	69.5300244

<표 5-2> Guelph Permeameter 로 실측한 토양별 침출율(계속)

조사 번호	조사일	위치			지질	토양분류	토지이용	Glover(1953) eq.
		군	면	리				Kfs (mm/hr)
1-1	00-07-30	무주	부남	가당	화강암질 편마암 (시대미상)	안릉 (자갈이 있는 양토)	밭	332.20413
1-2	00-07-30	무주	서	대차	화강암질 편마암 (시대미상)	풍천 (자갈이 있는 사양토)	밭	5.6019243
2-1	00-08-02	무주	부리	내도	흑색천매암 (시대미상)	용지 (양토)	밭	0
2-2	00-08-02	무주	부리	후도	석영반암 (백악기)	지곡 (자갈이 있는 사양토)	밭	7.9687096
2-3	00-08-02	무주	무주	북리	화강암질 편마암 (시대미상)	Mt (산악지)	암야	-
2-4	00-08-02	무주	무주	오산	화강암질 편마암 (시대미상)	Mt (산악지)	암야	29.73704
2-5	00-08-02	무주	설천	장백	호상흑운모편마암 (선캠브리아기)	오산 (자갈이 있는 양토)	밭	0
3-1	00-07-30	무주	설천	대불	주입편마암 (시대미상)	지곡 (자갈이 있는 사양토)	밭	-
3-2	00-07-30	무주	설천	소천	주입편마암 (시대미상)	수암 (자갈이 있는 사양토)	밭	0
4-1	00-08-01	무주	부남	대소	용포리층 (선캠브리아기)	고평 (미사질식양토)	밭	16.498075
4-2	00-08-01	무주	부남	고창	혼상석영암 및 안암 (백악기)	풍천 (자갈이 있는 사양토)	밭	0
4-3	00-08-04	무주	적상	삼가	북창리층 (백악기, 경상계)	매곡 (사양토)	밭	5.7003
4-4	00-08-04	무주	적상	장안	편상화강암 (จู라기)	수암 (자갈이 있는 사양토)	암야	0
4-5	00-08-01	무주	부남	술암	규장암 (백악기)	중동 (세사양토)	암야	0
5-1	00-07-31	무주	적상	삼가	우백화강암질편마암 (선캠브리아기)	지곡 (자갈이 있는 사양토)	암야	3.34878
5-2	00-07-31	무주	적상	삼가	우백화강암질편마암 (선캠브리아기)	지곡 (자갈이 있는 사양토)	밭	0
5-4	00-08-03	무주	적상	북창	북창리층 (백악기, 경상계)	Mt (역암) (산악지)	암야	16.2468
5-5	00-08-03	무주	적상	(적상 주변)	북창리층 (백악기, 경상계)	Mt (사암) (산악지)	암야	10.8314
5-6	00-08-03	무주	적상	(적상 주변)	적상리층 (백악기, 경상계)	Mt (산악지)	암야	0.95656

<표 5-2> Guelph Permeameter 로 실측한 토양별 침출율(계속)

조사 번호	조사일	위치			지질	토양분류	토지이용	Glover(1953) eq. Kfs (mm/hr)
		군	면	리				
5-7	00-08-03	무주	적상	(적상 주변)	북창리층 (백악기, 경상계)	Mt (산악지)	임야	177.801
5-8	00-08-07	무주	적상	삼가	화강암질 편마암 (선캠브리아기)	Mt (산악지)	임야	0
5-9	00-08-07	무주	적상	삼가	화강암질 편마암 (선캠브리아기)	수암 (자갈이 있는 사양토)	밭	0
6-1	00-07-31	무주	설천	소천	판상편암 및 운모편암 (선캠브리아기)	월곡 (사양토)	밭	41.9665
6-2	00-07-31	무주	무예	현내	판상편암 및 운모편암 (선캠브리아기)	Mt (산악지)	임야	898.998
6-3	00-08-04	무주	설천	두실	석영안산암 (백악기)	수암 (자갈이 있는 사양토)	밭	5.573
6-4	00-08-04	무주	설천	두실	석영안산암 (백악기)	수암 (자갈이 있는 사양토)	임야	5.14815
6-6	00-08-05	무주	설천	두길	석영안산암 (백악기)	Mt (산악지)	임야	0
6-7	00-08-05	무주	무예	철목	흑운모-각섬석화강암 (백악기)	안릉 (자갈이 있는 양토)	밭	1.80819
6-9	00-08-06	무주	무예	덕지	흑운모-각섬석화강암 (백악기)	안릉 (자갈이 있는 양토)	논	0
6-10	00-08-06	무주	무풍	은산	흑운모-각섬석화강암 (백악기)	매곡 (사양토)	임야	2.5767
6-11 (무주면)	00-08-08	무주	설천	심곡	덕유산층 (선캠브리아기)	Mt (산악지)	임야	64.7048
6-12 (무주면)	00-08-08	무주	설천	심곡	덕유산층 (선캠브리아기)	Mt (산악지)	임야	0.85121
92	99-08-09	무주	설천	청량	주입편마암 (시대미상)	안릉 (자갈이 있는 양토)	밭	82.3537
93	99-08-09	무주	설천	청량	층적층 (제4기)	월곡 (사양토)	논	8.72885
94	99-08-10	무주	설천	청량	층적층 (제4기)	남계 (사양토)	논	14.4782
95	99-08-10	무주	설천	청량	층적층 (제4기)	안릉 (자갈이 있는 양토)	논	1.13713
96	99-08-10	무주	설천	청량	주입편마암 (시대미상)	고평 (미사질식양토)	밭	24.832
97	99-08-10	무주	설천	청량	주입편마암 (시대미상)	안릉 (자갈이 있는 양토)	밭	18.3078

<표 5-2> Guelph Permeameter 로 실측한 토양별 침출율(계속)

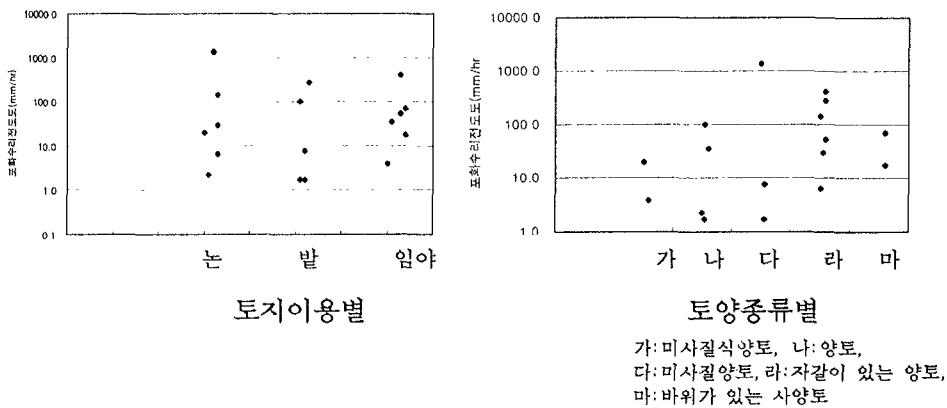
조사 번호	조사일	위치			지질	토양분류	토지이용	Glover(1953) eq. Kfs (mm/hr)
		군	면	리				
98	99-08-10	무주	설천	청량	주입편마암 (시대미상)	풍천 (자갈이 있는 사양토)	밭	2.21721
99	99-08-11	무주	설천	용강	충적층 (제4기)	수암 (자갈이 있는 사양토)	논	1.40698
100	99-08-11	무주	설천	용강	충적층 (제4기)	수암 (자갈이 있는 사양토)	논	1.6167
101	99-08-11	무주	설천	용강	충적층 (제4기)	칠곡 (양토)	논	0
102	99-08-13	무주	설천	용강	반상흑운모편마암 (선캠브리아기)	가천 (사양토)	밭	12.6797
103	99-08-13	무주	설천	청량	충적층 (제4기)	사촌 (사양토)	논	0
104	99-08-13	무주	설천	용강	반상흑운모편마암 (선캠브리아기)	칠곡 (양토)	밭	0.79397
105	99-08-13	무주	설천	길산	충적층 (제4기)	상주 (사양토)	논	1.53426

북창리층 : 알코스사암, 알코스질역암, 회색사암, 분암류

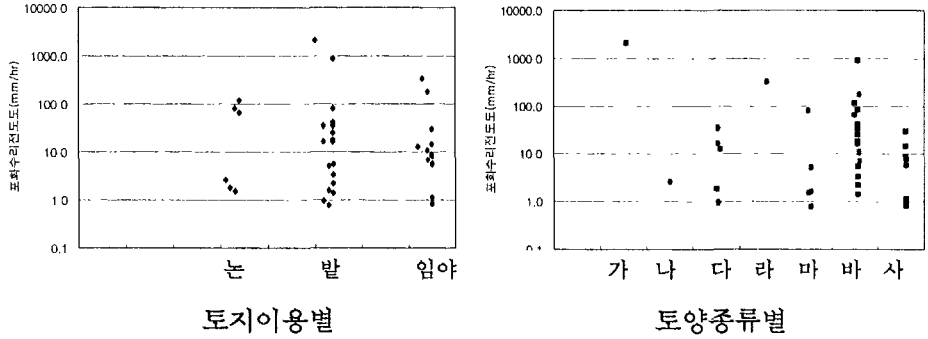
덕유산층 : 운모편암, 천매암, 석영편암, 구상변정편암

용포리층 : 규암, 편암류, 장석편암, 변질석회암

적상리층 : 회색, 자색, 적색 응회암질 사암 및 셰일

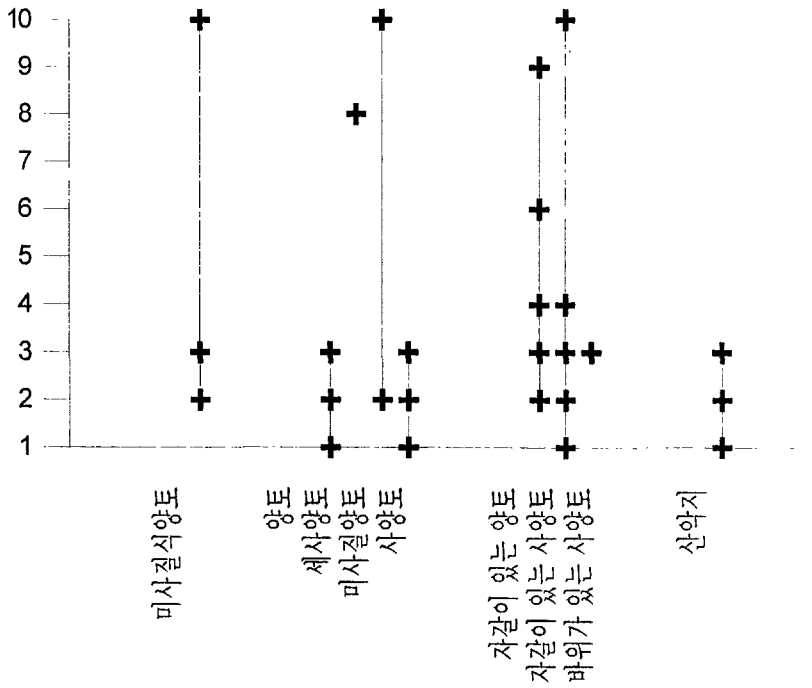


(그림 5-10) 토양별 Guelph Permeameter 로 산출한 수리전도도 분포



가: 미사질식양토, 나: 양토, 다: 사양토, 라: 세사양토,
 마: 자갈이 있는 양토, 바: 자갈이 있는 사양토, 사: 산악지

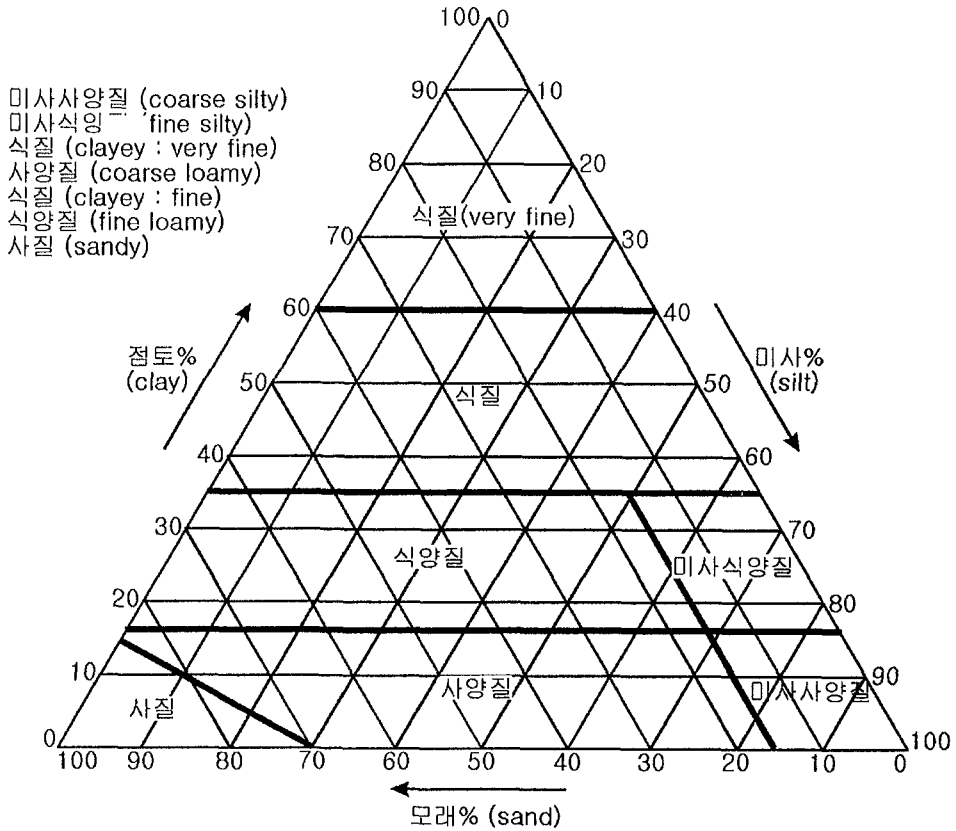
(그림 5-10) 토양별 Guelph Permeameter 로 산출한 수리전도도 분포(계속)



(그림 5-11) 토양별 Guelph Permeameter 로 산출한 침투율 등급 분포

다. 개략토양도상의 침출율

개략토양도에는 토양입자에 함량에 따라 토양구분과 토양침출율을 다음과 같이 구분하고 있다 (그림 5-12) <표 5-3>.



(그림 5-12) 개략토양도의 토양구분

○ 토양별 침출율

공기 혹은 액체의 통과를 나타내는 것으로써 각기 다른 토층은 투수성에 차이가 있다. 이들 투수성의 정도는 단위시간당 통과되는 깊이에 따라 표시된다. 이는 토양의 토성과 구조에 따라 깊은 관계가 있다.

<표 5-3> 토양별 침출율

개략토양도		급회 실측 자료 {투수계수 m/일, ()는시험수}	
토 성	m / 일	Ring Permeameter	Guelph Permeameter
세식질토	<0.024		
식 질 토	0.024 - 0.12	78(1)	0.1(1), 0.5(1)
식양질토	0.12 - 0.48		0.1 (2), 1 (2), 33(2)
양 토	0.48 - 1.44	9(1)	0.1(2), 1 (1), 3 (1)
사 양 토	1.44 - 2.88	14(1), 30(1), 37 (1)	0.1(6), 0.5 (3), 1(1), 50(1)
양질사토	2.88 - 6	5(2), 20(7), 40(2), 75(1)	0.1(3), 0.2(2), 3(3), 10(2)
사 토	> 6		0.1(8), 0.5(5), 1(2), 5(2), 21(1)
Mt 산악지		25(1), 30(2), 40(3)	0.05(10), 0.2(5), 1(1), 8(1)

조사결과 개략토양도 구분과 크게 일치하는 침출율을 보이지 않았으며 실제 현장 여건은 매우 복잡한 입자들이 혼재되어 같은 토양이라도 큰 편차를 보이고 있었다. 이를 다시 토지이용별로 논과 밭 임야로 구분하여 분류하였지만 결과는 역시 일관성을 보이지 않았으며, 분포 지질과도 큰 연관성을 보이지 않았다. 결론적으로 토양도상의 토양 구분에 의한 등급구분은 큰 의미가 없으며 당분간 침출율 측정에 의한 좀더 많은 자료 축적이 필요하다고 볼 수 있다. 그동안은 토양도 상의 구분과 측정자료를 최대한 관련지어 실측자료 중 극한 값을 제외하고 평균 값을 이용하여 등급 설정에 사용하였으며 Guelph 보다는 Ring Permeameter 가 자료의 분산정도가 적은 것으로 판단된다.

라. 침출율 실측에 의한 토양매질 특성 등급산정

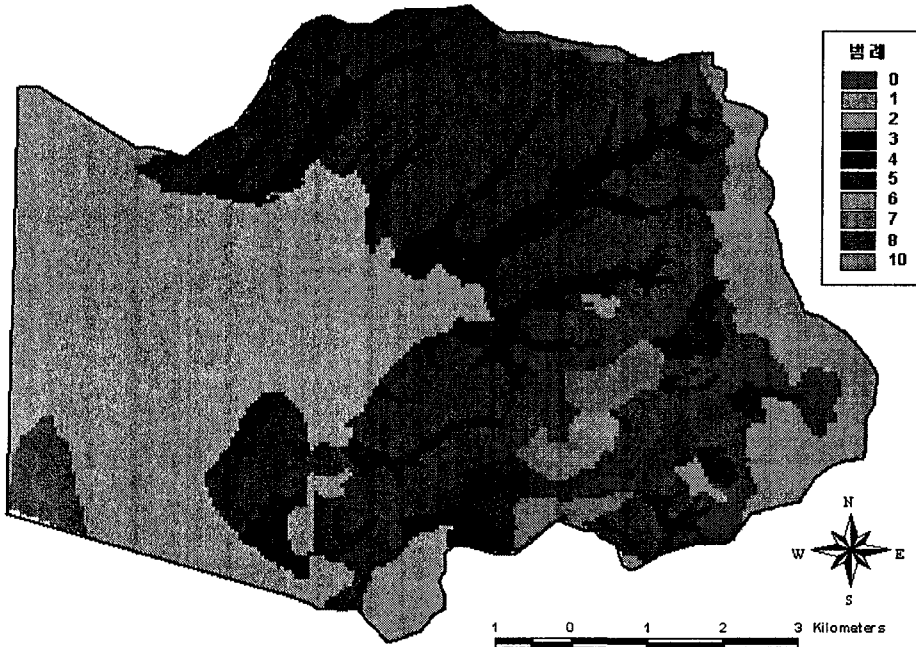
침출율 실측은 지질별, 토양별, 토지이용별로 실시하였으며 지질별로는 측정 값 변화 특성을 보이지 않았으며 어떤 한가지가 요소와 좋은 상관성을 보이지 않았다. 토양종류별로 단순하게 분류할 경우는 오염취약성 분석결과에 오류를

범할 수 있기 때문에 토양 침출율에 대한 충분한 자료축적과 상관성이 규명되기까지는 실측자료와 토양도 분류기준을 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 실측한 침출율 자료에 의하여 토양별로 산정된 등급은 다음과 같다 <표 5-4>.

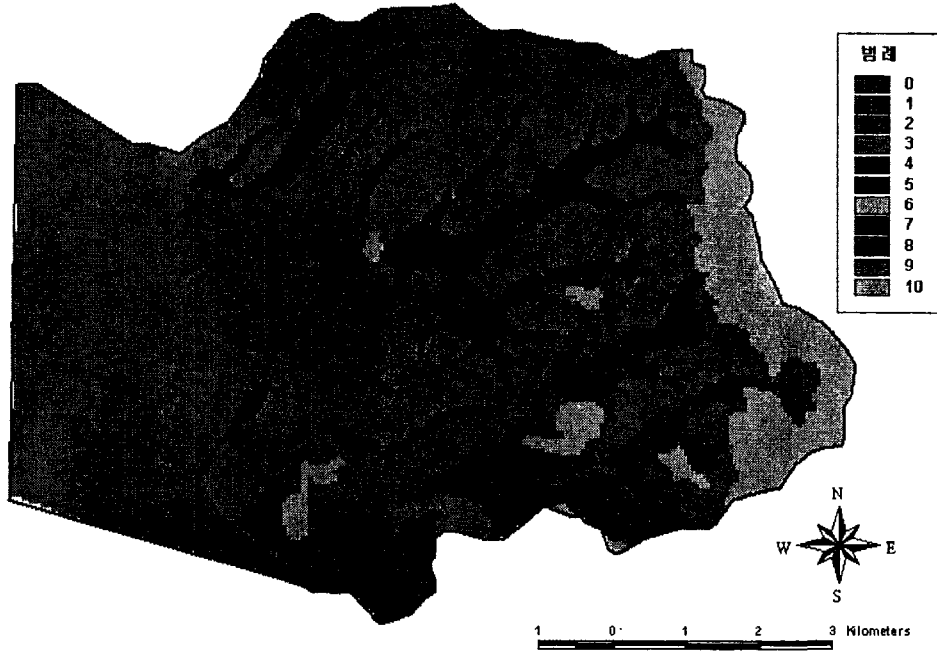
<표 5-4> 토양별 침출율 실측자료에 의한 등급 산정

구분	등급	비고
미사질식양토	2	
양토, 세사양토, 미사질양토, 사양토	3	
자갈이 있는 양토, 자갈이 있는 사양토, 바위가 있는 사양토	4	
산악지	2	

기존기법과 수정기법에 의한 서산지구 토양매질 등급도를 작성 비교하였다(그림 5-13), (그림 5-14).



(그림 5-13) 기존 토양도 구분에 의한 서산지구 토양매질 등급도



(그림 5-14) 침출율 실측자료와 토양도에 의해 보완된 서산지구 토양매질 등급도

두 토양매질 등급도는 기본적으로 토양도의 토양구분을 기초로하여 등급별 경계부 형태는 크게 차이가 없어 보이며 다만 등급에 있어서 실측된 침출율을 기초로 하여 오염 위험성이 보다 지역별로 잘 나타나고 있다.

5. 불포화대 영향 (I)

본 인자는 기존 국내 논문에서 제시되었고 본 연구에서도 검토된 바와 같이 우리나라 대수층이 대부분 암반 대수층으로 지하수 유동과 강수 함양 등 제반 지하수 수문요소가 암반의 지질구조와 관련이 크기 때문에 이를 반영해주어야 한다고 판단하였다. 지질구조 중 파쇄구조와 균열대등은 지질도를 고려하는 대수층매질 인자에서 지표지질조사 방법으로 상당부분 고려되었기 때문에 본 불포화대 매질에서는 큰 지질구조를 반영하는 선구조 밀도를 반영하고자 하였다.

선구조 밀도도는 침출율과 밀접하게 관련되며 특히 토양층 하부 풍화대 또는 기반암에서의 침출율에 직접적인 영향을 미친다. 선구조 밀도에 대한 고려는 국내 여타 연구에서 비포화대 영향 인자를 대체한 경우와 그대로 두고 추가시킨 사례가 있었다.

가. 선구조 밀도도 적용방법

국내 연구는 민경덕 외 와 이사로 외(1997)는 DRASTIC의 7개 요소 중, 불포화대의 영향을 제외하고 선구조 밀도를 대체 적용할 것을 제시하였으며, 조시범 (1998)은 불포화대 영향을 그대로 적용하고 선구조 밀도도를 추가 적용하였다. 드러나 불포화대 영향에 대체된 선구조 밀도 산출 기법은 다음과 같이 동일하게 적용하였다. Landsat TM 센서 영상의 7개 밴드 중 5번, 7번 밴드를 선정하여 주성분 분석, 고역 통과 여과, 경계선 추출 및 개선 등의 영상처리기법을 적용하여 추출하였다. 추출된 선구조들은 GIS를 적용한 DRASTIC 방법에 적용하기 위하여 1km×1km 크기 격자 내의 선구조의 발생빈도와 총 길이의 값을 Hardcastle(1995)이 제안한 분포밀도로써 정량화하였다.

$$\frac{\text{격자당 선구조 개수}}{\text{평균 격자당 선구조 개수}} + \frac{\text{격자당 선구조의 총 길이(km)}}{\text{평균 격자당 선구조의 총 길이(km)}} = \text{분포밀도값}$$

이렇게 계산된 선구조 분포밀도 값은, 빈도를 고려하여 10 등분한 다음 DRASTIC시스템의 등급 범위인 1부터 10까지 등급을 주어, 기존 DRASTIC방법에 중첩시켰다. 가중치는 선구조의 중요성을 고려하여 다른 DRASTIC 요소의 가중치 중 가장 큰 값인 5를 주어, 변형된 DRASTIC 평가지수를 구하도록 하였다.

본 연구에서는 불포화대 영향과 선구조도 밀도를 상호 보완시켜 적용할 것을 제안한다. 즉 선구조도 밀도가 높은 지역이 파쇄대나 단층을 나타내고 있다면 이는 암석의 종류에 무관하게 침출율이 높게 나타나므로 선구조도 밀도를 상기 기준에 의거 우선 산출을 하고 선구조가 없는 지역의 기본 등급은 지질도

에 의한 당초 불포화대 영향을 그대로 적용하기로 한다. 즉 최소 등급은 불포화대 영향을 따르고 높은 침출율을 보이는 지질구조대 즉 선구조 밀도가 높은 지역은 선구조 밀도 등급을 적용하기로 한다.

나. 선구조 분포도 추출방법

실제자료를 이용하여 추출방법을 검토하기 위하여 충남 서산 시범지구 위성 영상 자료를 활용하였다. 선구조는 Landsat TM 영상자료와 DEM을 이용하여 추출한다. Landsat TM자료만으로 추출한 선구조는 축척편차 및 위성의 관측방향에 따른 선택적 증감효과에 의하여 해석시 오차가 발생할 수 있는 문제점이 있기 때문에 위성영상의 합성, 수치고도자료, 수계망 및 육안 판독 등을 통해 선구조도를 보정한다. 선구조 분석은 Landsat TM자료중 선구조가 가장 잘 표현되어 있는 band 4, 5번을 선정하여 영상증강을 거친 후 실시한다. 수치고도자료는 태양의 고도와 방위각을 변화시키면서 작성된 음영기복도(shaded relief image)를 생성하여 보조자료로 이용한다.

1) 대상지역

선구조 밀도도는 기본적으로 Kenneth C. Harcastle에 의한 방법을 이용하고 서산시범 지구 해안가에 인접한 부분의 해양면적에 의한 편차를 보정해주기 위하여 각 grid별 육지면적을 구해 이용할 예정이다. 본 지역에 대하여는 선구조 길이가 1km 이상, 2km 이상, 3km 이상인 선구조만을 이용하였을 경우의 선구조 밀도도를 각각 작성하였다.

2) 선구조 방향분석도

연구지역을 10여개의 구역으로 구분하여, 각 구역별 선구조를 로즈도표(rose diagram)로 표현 가능하며 또한 선구조 방향분석은 각 구역 별로 선구조의 빈도분석과 각 선구조의 빈도에 길이를 가중치로 곱한 후의 분석을 함께 실시하였다.

3) 자료의 특성

본 연구에서 사용된 위성자료는 미국 상용위성인 Landsat-5에 장착되어 있는 위성센서인 TM(Thematic Mapper)을 이용하여 얻은 자료로서, 대상 지역은 Landsat-5 영상좌표계 Path/Row가 116/35인 지역이며 1993년 10월 15일 얻어진 자료를 사용하였다. Landsat-5는 16일 간격으로 같은 위성 Path를 관측하며 우리나라 상공에서의 각 지역의 관측시각은 지역 및 관측일에 따라 약간의 차이는 있으나 대체로 약 오전 10시 30분 경이다.

<표 5-5>는 1993년 10월 15일 연구지역인 서산 일대의 위성자료의 통계적 특성이다. 먼저 위성영상 자료에서의 평균은 모든 화소값(Digital Number)을 더하여 화소의 개수로 나눈 산술적 평균을 의미하여, 표준편차(Standard Deviation)는 분산의 양의 제곱근으로 이 값이 작다는 것은 평균값 근처에 화소 값들이 밀집하여 있고 영상자료가 적은 정보를 포함하고 있다는 것을 의미한다. 그리고 최대값(Maximum)과 최소값(Minimum)은 각 화소값의 최대·최소값을 나타내며 범위(Range)는 이들의 차이 값으로, 최대·최소값들이 예러나 노이즈 등이 아닌 경우에는 최대-최소 대조 확장(min-max contrast stretching)과 같은 이미지 향상 함수 등에 이용되는 중요한 통계자료이다.

앞에서 설명한 각 밴드별 통계적 특성이외에, 각 화소 값의 통계적 특성은 스펙트럼 영역이 다르더라도 서로 의존적이므로 다중채널 영상자료를 이용해서 원격탐사 자료를 분석할 경우에는 밴드들 상호간의 통계적 특성인 공분산(Covariance)과 상관관계(Correlation)등의 분석을 통하여 자료의 특성을 파악할 수 있다. 공분산은 먼저 아래의 식과 같이 두 밴드간의 보정된 결과의 합(corrected sum of product)을 다음과 같이 구하고,

$$SP_{kl} = \sum_{i=1}^n (DN_{ik} \times DN_{il}) - \frac{\sum_{i=1}^n DN_{ik} \cdot \sum_{i=1}^n DN_{il}}{n}$$

이 값을 $(n-1)$ 로 나누면 공분산이 식이 구해진다.

$$COV_{kl} = \frac{SP_{kl}}{n-1}$$

그리고 두 위성 영상 자료 밴드간의 상관관계(correlation)는 다음 식과 같이 공분산을 두 밴드의 표준편차의 곱으로 나누어서 구할 수 있다.

$$r_{kl} = \frac{COV_{kl}}{S_k S_l}$$

<표 5-5> 1993년 10월 15일 얻어진 Landsat-5 TM 위성의 통계적 특성

	band 1	band 2	band 3	band 4	band 5	band 6	band 7
Univariate Statistics							
Mean	66.2	26.4	30.4	43.6	50.4	7.0	20.6
S.D.	8.77	6.41	13.1	18.04	29.23	2.25	14.45
Minimum	49	14	11	1	1	1	1
Maximum	231	103	138	128	189	22	118
Range	182	89	127	127	188	21	117
Covariance Matrix							
1	76.83						
2	52.94	41.06					
3	101.02	81.26	171.54				
4	51.12	61.94	146.07	325.27			
5	161.93	147.87	332.20	442.10	854.65		
6	8.87	5.26	8.00	1.98	13.31	5.06	
7	96.24	80.53	174.53	185.29	405.92	9.09	208.81
Correlation Matrix							
1	1.000						
2	0.943	1.000					
3	0.880	0.968	1.000				
4	0.323	0.536	0.618	1.000			
5	0.632	0.789	0.868	0.839	1.000		
6	0.450	0.365	0.272	0.049	0.202	1.000	
7	0.760	0.870	0.922	0.711	0.961	0.280	1.000

SPOT 영상자료는 충남 서산시 고북면 일대는 303-276 궤적의 1996년 1월 12일에 획득된 자료를 사용하였고 (그림 5-15), Landsat TM 영상자료는 북부지역 및 남부지역으로 나뉘어져 해미면 북부지역은 116/34궤적의 1994년 9월, 남부

지역은 116/35 궤적의 1993년 10월에 획득한 자료를 사용하였다. 사용된 영상 자료의 특성은 <표 5-6>과 같다.



(그림 5-15) 시범지구 충남 서산시 고북면 주변의 SPOT 위성영상

본 연구에서는 위성궤도에 따른 영상의 왜곡을 보정하기 위하여 기하보정을 실시하였다. 기하보정 방법은 1:50,000 지형도를 이용하여, 지도에서 얻어진 지리적인 좌표와 영상내의 각 화소의 위치를 일치시키는 영상-지도(image to map) 보정방법을 사용하고, 이와 같은 기하보정을 통하여 영상을 TM 좌표로 변환하였다. 또한 빈도 분포표를 이용하여 영상의 증강을 실시하였다. 보정된 영상을 이용하여 토지이용도, 선구조 분포도, 선구조 밀도도, 선구조 방향분석

도를 작성하고자 한다. 높은 상관관계는 밴드들 간의 정보가 많이 유사하다는 것, 즉 다양한 정보를 취할 수 없다는 것을 의미한다.

<표 5-6> 위성영상 자료의 특성

특성	SPOT - XS	Landsat TM
고도(Km)	832	705
밴드수	3	7
해상도(m)	20 × 20	30 × 30 (1~5, 7), 120 × 120 (6)
동일지역 관측주기(일)	26	16
경사각	16.5°	98.2°
Coverage 면적(Km)	60 × 60	185 × 185

본 연구에서 사용된 자료의 통계적 특성을 살펴보면, 우선 밴드1은 레일리(Rayleigh)와 미아(Mie) 대기 산란 특성에 의해 범위가 가장 넓게 나타나는 것이 보통인데, 서산 지역도 밴드5를 제외하곤 밴드1의 범위가 가장 넓은 분포를 보인다. 근적외선 밴드인 4, 5 와 반사열 적외선 밴드인 7의 경우, 물에서 방사속(radiant flux)의 흡수가 잘 되므로 바다의 영향을 받아 최소값이 낮게 나타난다. 또한 밴드 6인 열적외선 영역의 파장대에서 표준편차가 가장 낮고 범위가 21로 매우 안정적인 분포를 보인다. 전체적으로 보면 각 밴드들의 최대값이 낮고 범위가 크지 않으므로 노이즈의 영향은 적지만 많은 정보를 포함하지는 않는 것으로 생각된다. 또한 밴드들 상호간의 관계에서 보면 가시광선 영역에 해당하는 밴드1, 2와 3은 높은 상관관계를 보임을 알 수 있다.

4) 자료의 보정

취득된 위성자료는 기하보정 및 좌표일치를 해주어야 한다. 이는 원격탐사 자료가 구조적으로 내포하고 있는 기하학적 왜곡을 보정하는 동시에 지리 좌표계를 부여함으로써 다른 GIS 자료들과 일치시키기 위하여 실시한다. 최초로 획

특한 영상 자료는 여러 가지 원인에 의한 기하학적 왜곡을 포함하게 된다. 여기에는 센서가 탑재된 위성체 자체의 궤도, 탑재기의 자세나 속도 등 탑재기에 의한 요인과 지구의 자전, 지구표면의 곡률과 고도차이 등이 있다. 이러한 여러 가지 원인 중 그 원인과 이에 따른 기하학적 왜곡 양상을 정량적으로 분석할 수 있는 부분을 구조적 기하왜곡이라 하며, 이는 간단한 수학적 과정을 통하여 보정할 수 있다. 이러한 왜곡에 대한 보정은 대개 위성을 운용하거나 자료를 배포하는 기관에서 처리되어 진다. 그러나 그 원인과 왜곡 정도를 정량적으로 분석할 수 없는 종류의 기하학적 왜곡(residual distortion)에 대해서는 대개의 경우 기준점(Ground Control Point) 기하보정이라는 처리 과정에 의하여 보정이 이루어진다. 기준점으로는 대개 원격탐사 영상자료와 참조하고 있는 기준도(지형도) 양쪽에서 모두 그 위치를 정확히 식별할 수 있는 도로의 교차점이나 댐 등과 같은 지형지물이 선택된다. 본 과업에서는 1:50,000 지형도를 참조하여 전체 영상에 대해 약 50여개의 기준점을 이용하여 기하보정을 실시하였다. 기하보정 결과를 30×30m의 해상도를 갖도록 최근린 내삽법을 이용하여 재배열하고 횡단메르카토르 도법에 의해 투영하였다.

5) 자료의 구축

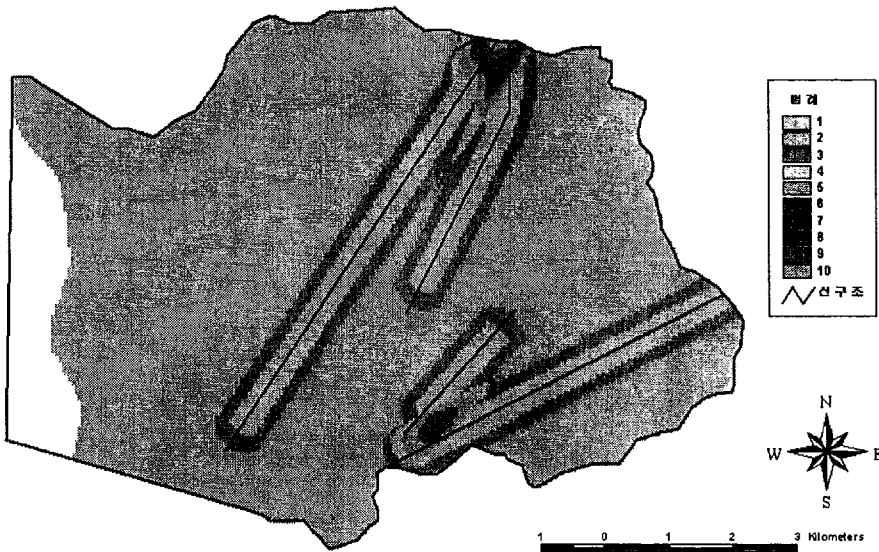
토지이용 상태에 대한 정보는 지형도 및 현장 조사를 통하여 얻어질 수 있으나, 국내에서의 지형도의 새로운 제작은 일반적으로 수년 내지 수십년 마다 실시되고 있어 급속히 진행되고 있는 토지이용 변화를 충분히 반영하기는 쉽지 않다.

넓은 지역을 주기적으로 실시 할 수 있고 최소한의 현장조사 및 기타 수집 가능한 기존 자료와 인공위성을 이용하여 상호보완적으로 사용하면 경제적으로 최대한의 효과를 가질 수 있다.

인공위성 자료를 이용한 감독분류를 실시하기 위해서는 Landsat TM 자료의 7개 밴드 중 감독분류를 적용하는데 가장 적절한 밴드를 먼저 선정하여야 한

다. 그리고 각 분류종류의 가장 대표가 되는 부분을 분류대상 영상내에서 선택하여 각 분류 종류에 대한 광학적 특성을 통계적으로 분석하는 단계를 거쳐서 분류한다. 최종적으로 인공위성 영상으로부터 토지이용 분류도를 얻게 된다.

본 연구에서는 위성궤도에 따른 영상의 왜곡을 보정하기 위하여 기하보정을 실시하였다. 기하보정 방법은 1:50,000 지형도를 이용하여, 지도에서 얻어진 지리적인 좌표와 영상내의 각 화소의 위치를 일치시키는 영상-지도(image to map) 보정방법을 사용하고, 이와 같은 기하보정을 통하여 영상을 TM 좌표로 변환하였다. 또한 빈도 분포표를 이용하여 영상 증강을 실시하였다. 보정된 영상을 이용하여 서산 및 무주지구 선구조 분포도를 작성하고 선구조 좌우 200M 지역을 파쇄대 지역으로 간주하여 도시한 그림은 다음과 같다 (그림 5-16) (그림5-17).



(그림 5-16) 서산지구 선구조 밀도도



(그림 5-17) 서산지구 선구조 밀도도

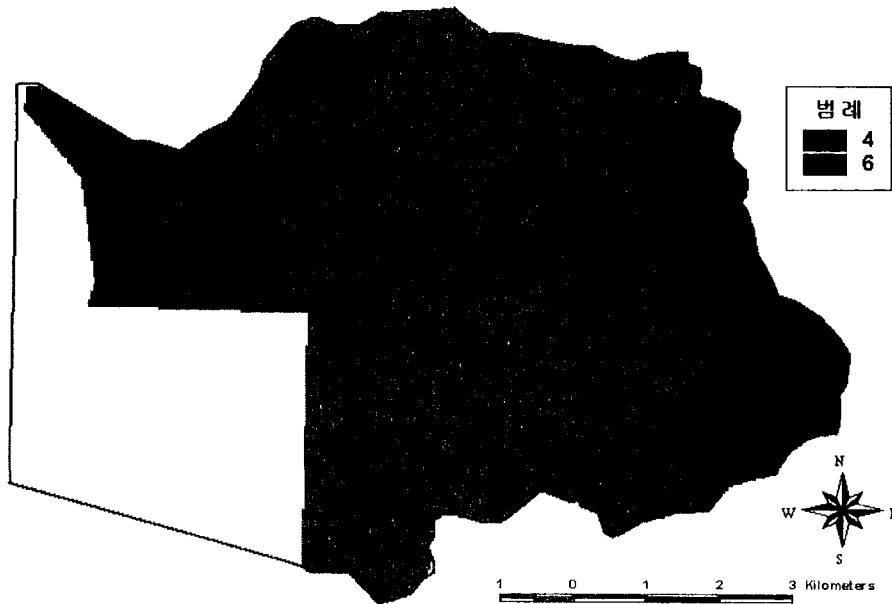
선구조 좌우 200M 를 잡은 것은 실제 현장 확인된 구조보다 넓게 잡은 것이나 실제 지질구조는 좁다하더라도 오염위험에 대처하기 위하여는 통상적인 지하수 영향거리 지역을 안전하게 보호한다는 차원에서 200M로 설정하였다.

다. 선구조 밀도도를 이용한 불포화대 매질 등급 산정

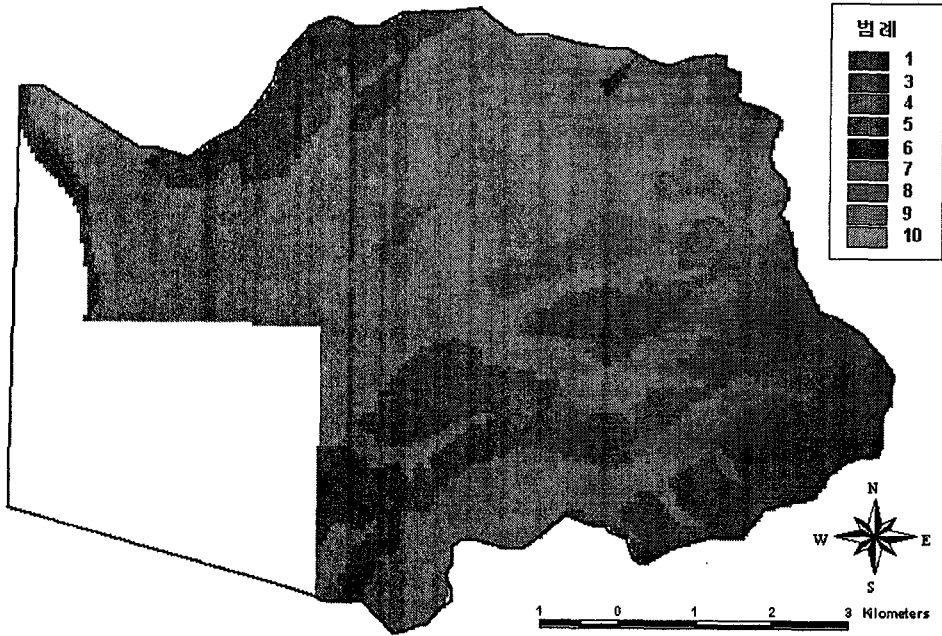
선구조 밀도도가 생성되면 각 셀 별로 최소값과 최고 밀도값을 10등분으로 하여 1부터 10까지의 등급을 주어 등급도를 작성한다. 대수층 매질등급을 지질도 지질구분에 의한 표준 등급표에 의한 등급값을 부여한다. ARC/INFO 상에서 두가지 등급도를 중첩시키면서 각셀별 값은 높은 등급값을 취하도록 하여 새로운 등급도를 작성한다. 이렇게 하면 선구조가 있는 부분은 선구조 등급을 취하게 되며 선구조가 없는 지역은 지질 등급을 취하게 된다. 따라서 기본적으로는 지질특성에 의한 대수층 매질 특성을 반영하면서 우리나라 대수층 특성인 암반

대수층 내의 지질구조선을 따라 높은 등급 값을 갖게되어 오염취약성도 작성 목적에 맞는 불포화대 매질 특성도를 얻게된다. 기본기법에 의한 선구조 밀도도와 의해 수정 보완된 서산지구 비포화대 매질도는 각각 (그림 5-18)(그림 5-19)과 같다.

기존 기법에서는 대부분 평지가 등급 4이고 산악지역이 등급 6으로 암석학적인 구분과 영향을 받고 있어 오염위험이 적은 지역으로서 분석되고 있으나 수정 보완된 불포화대 매질에서는 선구조를 통한 침출율이 고려되어 지질구조대 분포지역이 8- 10등급으로 큰 지역차를 잘 보여주고 있다. 기언급한 바와 같이 현장조사 결과 서산지구 하천은 간헐천으로 비가 멈춘 후 일정기일이 지나면 하천의 모든 물이 지하로 침출되는 지역으로서 매우 높은 오염취약성을 보여야 하며 이는 동지역 지하수 수질오염 현황에서 검증되고 있다.



(그림 5-18) 서산지구 당초기준에 의한 불포화대 매질 특성도



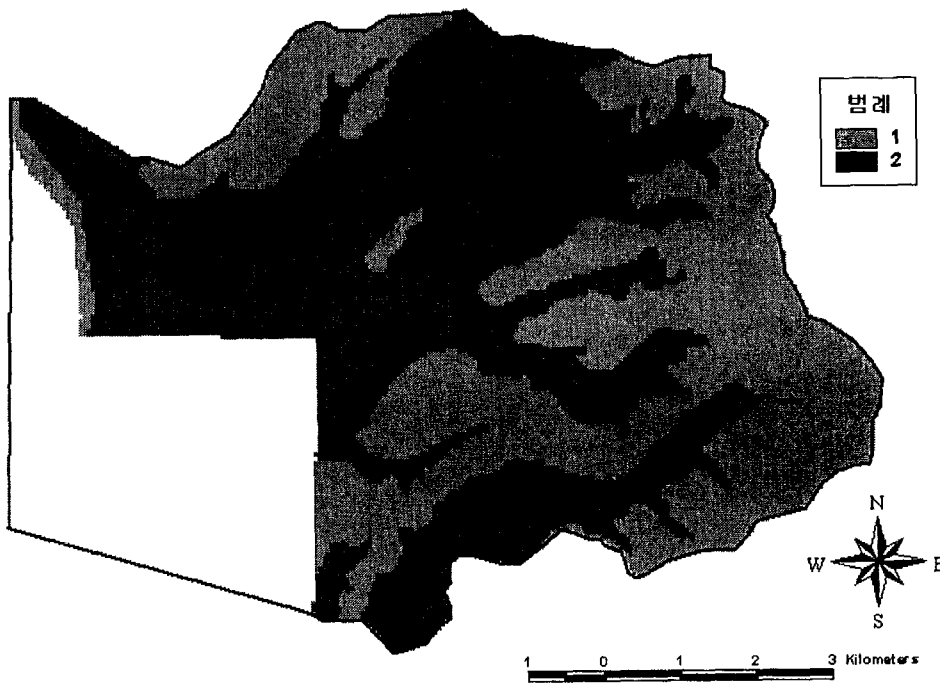
(그림 5-19) 서산지구 선구조 밀도를 고려한 불포화대 매질 특성도

6. 대수층 수리전도도

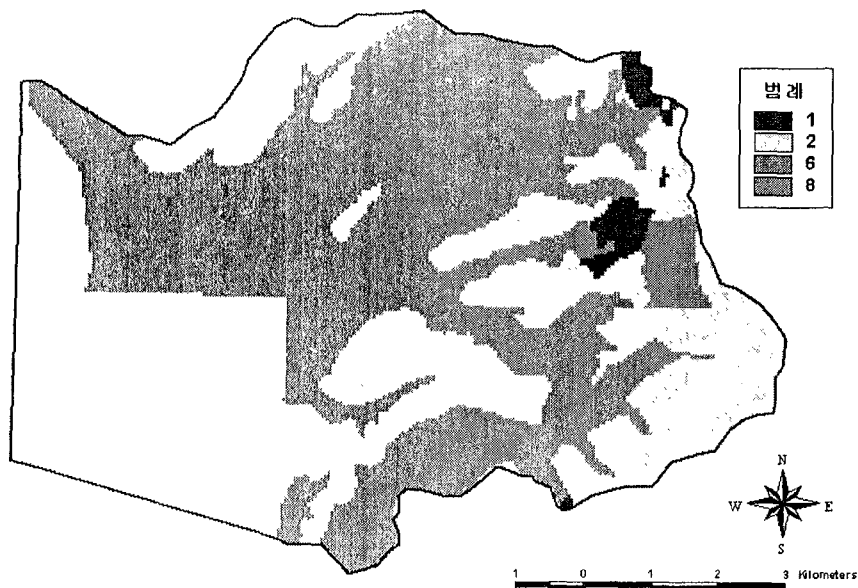
대수층 수리전도도는 기존조사자료가 상당히 미흡한 편이며 '90년대 초까지의 자료는 수위측정기 부족으로 인하여 신뢰성도 결여된 상태이다. 따라서 대표 지층 분포지역에 위치한 기설관정에서 가능하다면 순간수위변화시험 (Slug test)를 실시하고 수리전도도를 산출하는 것이 바람직하다.

또한 중산간 이상 산악지역에는 전혀 관정이 없는 지역이 대부분으로 당초 DRASTIC 에서는 지하수 관련 참고서에 수록된 지층별, 암석별 평균 수리전도도 대표 값 범위에서 현장상황과 유사한 조건의 수리전도도 값을 추출하고 지하수 전문가의 자문을 받도록 권하고 있으나 암반 대수층이 대부분인 우리나라에서는 타당성이 떨어지므로 산악지역이 함양지역임을 고려하고 동수구배를 고려할 때 조사지역 동일지층 최대 표고에 위치한 관정의 수리전도도 값의 2배를 그 이상 표고 산악지역에 부여할 것을 제안한다.

즉 각지질 분포별 관정 위치중 제일 높은 표고지점에 위치한 관정에서의 수리전도도의 2배값을 정밀 토양도상에서 Mt - 산악지역으로 구분된 지역 분포한 동일 지질에 적용하였다. 실제 이렇게 하여도 시범지구에서 수리전도도값이 워낙 낮은 값으로 등급 값의 증가된 지역은 거의 없었다. (그림 5-20)와 (그림 5-21)은 서산지구에 대한 수리전도도 등급을 기존 산출법과 금회 보완 제시방법으로 각각 산출 도시한 것이다. 두 등급도에서는 산악지역의 등급이 당초 1에서 2로 변하였을 뿐 다른 변화가 없음을 알 수 있다.



(그림 5-20) 서산지구 기존기법에 의한 수리전도도 등급도



(그림 5-21) 서산지구 수정기법에 의한 수리전도도 등급도

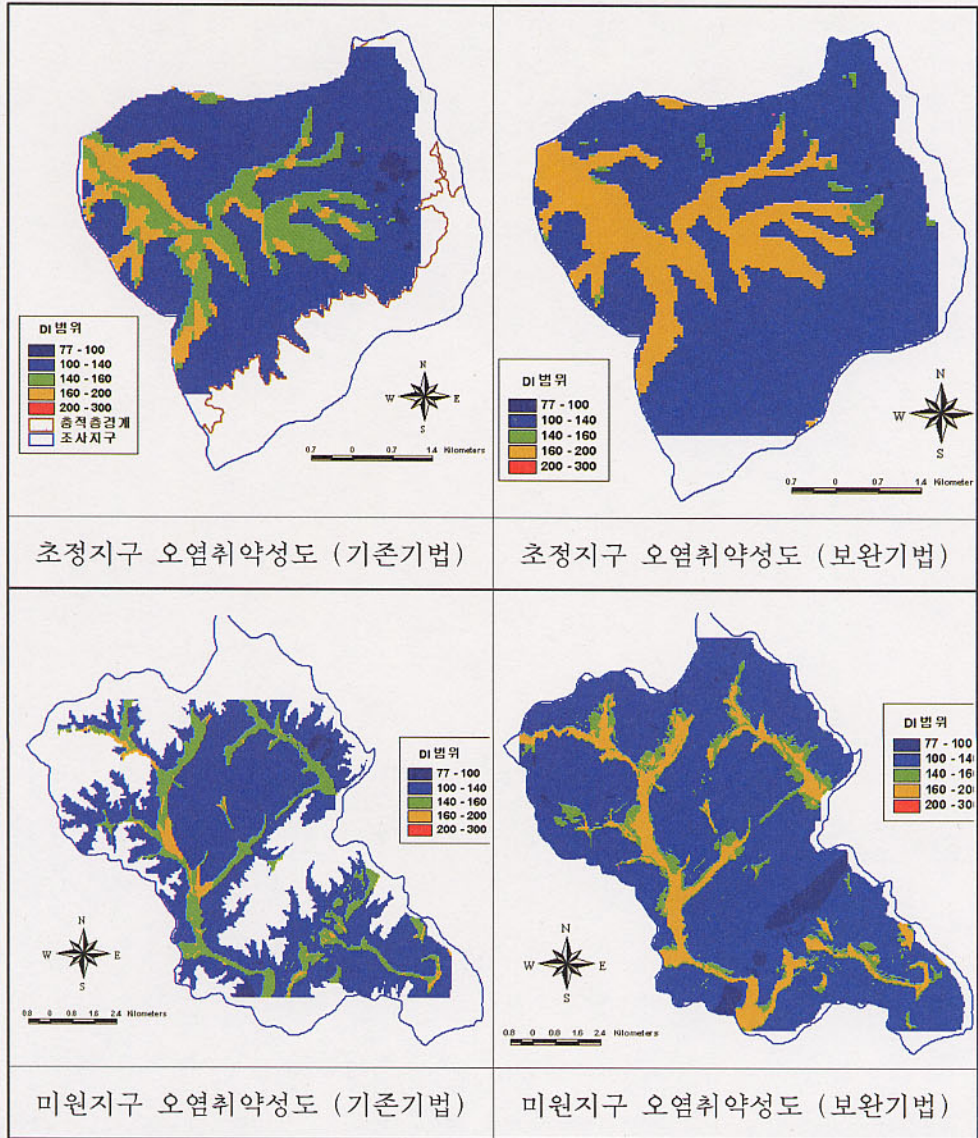
7. 오염취약성도

기존 오염취약성도를 우리나라에 적용할 경우 문제점 여부를 4개 시범지구를 통하여 정밀 검토하고 우리나라 대수층 부존 특성을 고려할 때 부적절한 기준에 대하여 수정 보완하는 작성기법을 제시하였다. 또한 산악지역 관정자료 부족지역에 대한 대체 자료 설정기준도 제시하였다.

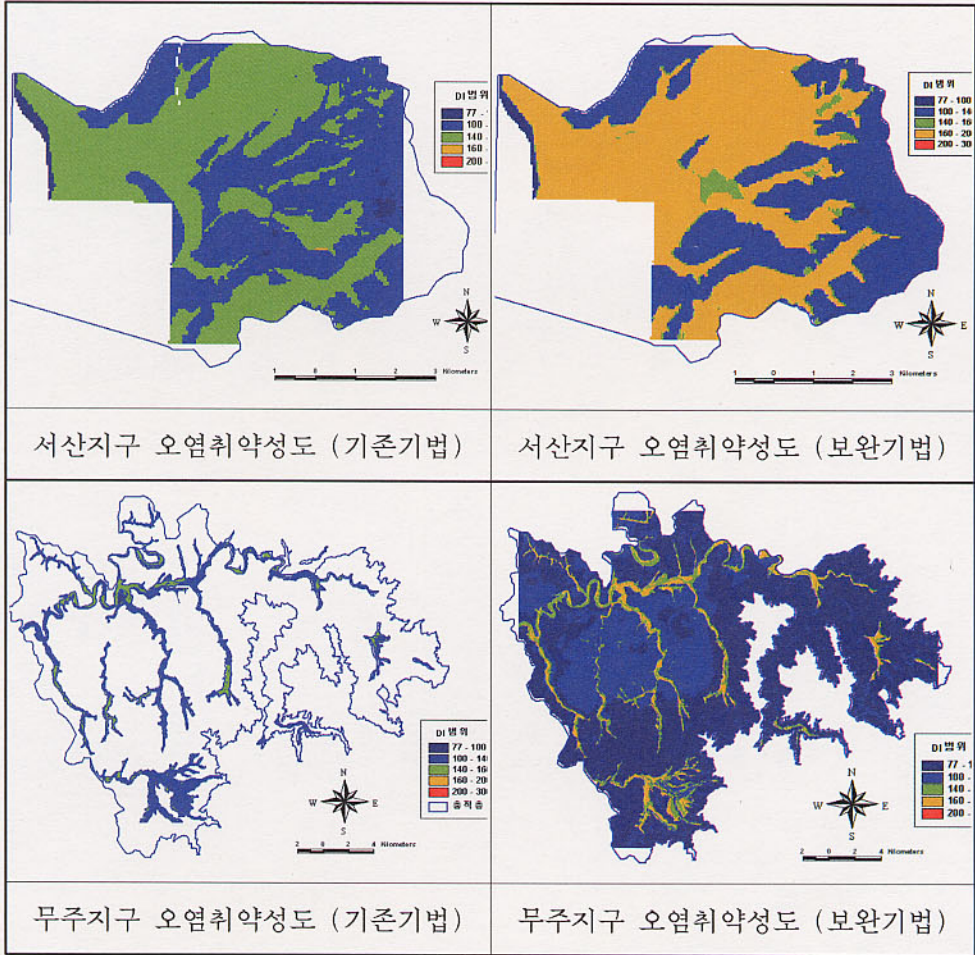
근본적으로 DRASTIC 오염취약성도 작성기법이 될 수 있는 한 기존자료를 활용하여 조사지역내 지역간 지하수 오염취약성을 검토하는 기법으로 개발되었다고 하나 이는 선진국처럼 지하수 수문자료 관리체계가 충분한 경우에 한한다고 볼 수 있다. 또한 우리나라는 대부분 산악지형이 많고 지하수 부존형태가 암반 대수층으로 지하수 유동체계가 충적층과는 크게 다르다고 할 수 있다. 이러한 관점에서 기존 작성기법에서 표준 참고자료로 제시한 등급표에 의거 우리나라 토양도와 지질도 상의 분류기준을 그대로 적용하여 취약성도를 작성하는 것은 상당한 문제가 있는 것으로 분석되었으며 일부 취약지역과 오염저항이 큰 지역

이 상반되게 작도되는 인자 성분도 있었다.

4개 시범지구에 대한 기존기법과 수정기법에 의하여 작성된 오염취약성도는 다음과 같다(그림5-22).



(그림 5-22) 4개 시범지구 지하수 오염취약성도



(그림 5-22) 4개 시범지구 지하수 오염취약성도(계속)

4개시범지구에서 기존기법과 보완기법에 의한 지하수 오염취약성도는 시범지구의 형태에 따라 차이는 있었지만 크게 개선된 바를 알 수 있다. 우선 눈에 띄는 바로서 산악지대의 자료없는 지구가 비교적 신뢰성 있는 자료로 대체되어 분석이 되었으며 지질도 분류기준에 의한 단순 영향요소도 많이 감소되었음을 알 수 있다.

지역별로는 초정 미원지구에서 평지부분 오염취약성이 당초기준보다 강하게 나타나났으며 서산지구는 상당한 범위의 지구가 취약성이 간하게 나타나났으며 무주지구는 안성면지구가 오염에 취약한 것으로 분석되었다.

여 백

제 6 장 지하수 오염취약성도 작성기준

여 백

제 6 장 지하수 오염취약성도 작성기준

제 1 절 개 요

지하수 오염취약성도 작성목적은 지하수 오염에 영향을 미치는 주요인자들을 점수화 함으로서, 오염 확산예방 및 오염 대수층 관리 대책 수립 시 기초 판단자료로 활용하여 오염에 취약한 지역을 관리하는데 있다. 본 장에서는 기 검토한 바와 같이 선진국 사례와 국제적으로 인정받고 있는 DRASTIC기법을 정밀 분석하여 우리나라 대수층 분포특성에 맞는 적합한 기법을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 기 언급한 바와 같이 오염취약성도 작성 기법에 대한 통일된 기준정립을 위하여, 외국의 사례와 국내 시범지구 조사를 통한 문제점을 도출하여 이에 대한 대체방안을 제시하였으며, 다음과 같은 새로운 오염취약성도 작성기준을 제시코자 하였다.

제 2 절 지하수 오염취약성도 작성 목적

1. 작성목적

지역경제발전에 필수적으로 따르는 개발관련 오염원을 가장 오염확산에 쉽게 대처할 수 있도록 유도하고, 청정지하수 지역을 보전 이용 관리할 수 있는 정책판단자료 제공을 위하여 시·군 단위의 지하수 오염취약성도를 작성한다.

2. 활용범위

지하수 오염취약성도에서는 시·군 관내 지역의 오염에 대한 지하수 취약지구와 강한 지역을 나타내어 자치단체 별 쓰레기 매립장 및 공단 등 각종 경제

개발과 연관된 신규 지하수 오염유발 시설물을 오염에 강한 지역에 유도하고
오염취약지구는 별도의 지하수 보전을 위한 관리 정책을 추진하도록 한다.

가. 오염에 강한 지역

- 각종 오염유발 시설물의 신규 부지로 선정
예) 농공단지, 쓰레기 매립장, 축산단지 등 오염유발시설 유도
공동묘지 골프장 등 각종 오염유발시설물 위치 선정

나. 오염취약지구

- 신규 오염시설물 설치 제한
- 소규모 오폐수 정화시설 지원사업 우선 추진
- 지하수 오염조사 및 상, 하수도 설치 우선 추진
- 지하수 수질오염 보전대책을 위한 감시정 (관측정) 위치선정
- : 잠재오염원 밀집지역 하류부, 오염취약성 경계부
- 오수관, 폐수관 매립 시 재질의 선정 기준 자료
- : 취약성 낮은 지역과 높은 지역의 보조 처리대책 경제적으로 설계, 잠재오염원 분포지역 오염성분별 각종 지하 매립시설물 재질 설계자료

1) 오염에 취약한 지구로서 이미 상당부분 오염이 진행된 지역

- 오염원을 추적하여 조사하고 오염확산 방지 조치 시행
- 오염지역 정화처리 대책 우선 시행 지구로 관리

2) 현재 오염이 없으나 오염에 취약한 지역은 지하수 수질보전구역으로 설정 관리.

- 상수원 용도의 지하수 개발 적지
- 지하수 보전구역으로 지정관리

예) 오염취약지역 내 토지이용에 대하여는 지하수자원에 대한 잠재오염원

으로 규정되는 어떠한 행위와 잠재오염시설의 설치를 제한한다.

- 지하수 오염취약지구 내 행위제한(안)

- : 독성폐기물 처분, 취급시설 설치 금지
- : 석유 및 유류, 화학제품 저장탱크 설치 금지
- : 고농도 오염물질 배출업소 (공단, 축산단지)설치 금지
- : 오염물질 유출 사고시 긴급 재해대책 가동

다. 3~5년 마다 주기적으로 잠재오염원 및 지하수 이용상태 변화를 수정하고 기존도면과의 비교로 지하수 오염현황 변화를 파악하여 향후 추세 파악 및 오염대책 수립

3. 활용 예상자

- 각 시·군 환경과, 상하수도과, 건설과, 지하수과, 위생과 등 잠재오염원 시설물 인허가 및 위치선정 관련 공무원
- 도청 및 중앙정부 관련 공무원
- 지하수 관련 기술자 등

제 3 절 우리나라 지하수 오염취약성도 작성 기준

1. 기본단위

- 기본 작성 단위 : 시군단위 작성
- 기본 축척 : 1: 50,000
- 기타 활용목적에 따라 1:10,000 또는 500,000, 1:1,000,000
- 지하수 오염예측도는 시군 행정단위별로 GIS 프로그램으로 작성하여 D/B화하며 3~5년 마다 예산 범위 내에서 변경사항을 조사 보완

2. 취약성 구분 단위

건설교통부 수문지질도 제작 및 관리지침 및 국제 수리지질학회 기준에 따르면 한 지역의 오염취약성도는 단계별로 취약성을 구분하여 표시하도록 권장

- 당초부터 Polygon 형태로 작성하기에는 작성기법 상에 문제가 있고, 격자상으로 작성 시 결과도면이 점 모자이크 형태로 작성되어 취약성도 작성 목적에 부합하지 않으므로
- 당초는 격자형태로 작성 (예 pixel 크기를 습득자료의 분포밀도를 고려하여 30 x 30 m로 설정)한 후
- 지역별 특성이 나타날 수 있도록 Kriging 과정을 거쳐 5개 등급의 polygon 형태로 작성한다.
- 또는 격자형 Drastic Index 분포도를 작성한 후 급격한 이상점수를 제외하고 큰 index 값을 우선적으로 고려 수작업으로 Polygon화하여 작성

3. 최소한의 현장조사

기존 자료가 부족하거나 신뢰성이 떨어지는 항목에 대한 현장조사는 필수적이다.

현장조사 대상항목 : 지하수위 일제조사, 지질구조조사 (공극율, 파쇄대, 단층 등 지질구조), 토양 침출율, 토양구성 물질 특성, 수리전도도.

4. 우리나라 지하수 오염취약성도 작성 기준

본 연구를 통하여 우리나라 대수층 특성에 적합하게 수정 제시되는 지하수 오염취약성도 작성기준은 기본 DRASTIC의 기준인자 및 인자별 가중치는 변화시키지 않고, 선구조 밀도도와 토지이용에 따른 영향을 관련 인자에 포함시켰으며 <표 6-1>, 지하수 오염취약성도를 작성하는 경우 각 인자에 해당하는 지수별 도면 작성 기준을 제시하였다 <표 6-2>.

<표 6-1> 우리나라 지하수 오염취약성도 작성기준 (일반지역)

기준 인자	가 중 치			비고
	가중치	개선 제안 (우리나라 기준)		
지하수위 (D)	5	5	수위일제조사 실시 산악지역 산출기준 제시	
지하수 함양율 (R)	4	4	토지이용중 논 지역만 고려	
대수층 매질 (A)	3	3	지표지질조사로 공극율, 파쇄대 조사	
지표토양 매질(S)	2	2	침출율 실측	
지형 경사 (T)	1	1		
불포화대 영향 (I)	5	5	선구조 밀도 개념 포함	
수리전도도 (C)	3	3	자료부족시 Slug test 등 실측, 산악지역 동수구배 고려 → 가중치 2 이상 부여	
계	23	23		

※ 기존 DRASTIC : 최소 23 ~ 최대 230

<표 6-2> 우리나라 오염취약성도 지수별 도면 작성기준 제시(안)

기존 DRASTIC	색도	인쇄 색도	우리나라 오염취약성도	색도	인쇄 색도
< 79	violet	pantone purple C	< 99	indigo	pantone reflex blue
80 ~ 99	indigo	pantone reflex blue			
100 ~ 119	blue	pantone process blue C	100 ~ 139	blue	pantone process blue C
120 ~ 139	dark green	pantone 247 C			
140 ~ 159	light green	pantone 375 C	140 ~ 159	light green	pantone 375 C
160 ~ 179	yellow	pantone yellow C	160 ~ 199	orange	pantone 151 C
180 ~ 199	orange	pantone 151 C			
> 200	red	pantone 485 C	> 200	red	pantone 485 C

또한 자료가 부족한 산악지대 지하수위 산출기법을 제시함으로써 그동안 분석이 미흡하였던 지역 문제를 해소하였고 분석 신뢰도 향상을 위한 최소한의 현장 실측조사 항목을 제시하였다.

5. 우리나라 오염취약성도 작성 항목별 세부 기준

가. 지하수위 (D)

지하수위 심도별 등급은 다음의 기준에 따라 설정하였다.

1) 당초 DRASTIC 기준에서 제시한 지하수위 관련 기본 주요 개념은 최대한 수용한다.

- 피압대수층에서는 지하수위를 상부 불투수층 하단 심도를 적용한다.
- 지질구조대가 발달한 산악지역은 등급 10 (0~1.5m)을 부여한다.
- 구조대가 미약한 치밀질 괴상 암반 분포지역에서는 해당지역 최고 고도상에 위치한 관정 수위를 적용하거나 본 연구에서 검토 제시한 고도별 지하수위 산출법을 적용한다.

2) 자료가 없는 산악지역 지하수위 산출법

지하수 부존특성을 고려할 때 산악지역은 대부분이 지하수의 함양지역으로서 균열이 발달한 노두 분포 및 토양의 두께가 상대적으로 얇아 오염에 취약하다고 볼 수 있다. 일부 시·군에서 축산단지, 쓰레기 매립장, 음식점, 콘도, 숙박업소 등을 산악지역 깊은 계곡부에 인허가하고 있는 상황으로 산악지역에 대한 지하수 오염취약성 분석은 필수적이다.

이 밖에도 오염물질 거동과 관련하여 산악지역에서는 다음과 같은 특징이 있다.

- 산악지역은 대체로 함양지역이다.
- 산악지역은 대체로 토양 심도가 얇고 노두가 발달하고 있다.
- 우리나라 암석은 구조대 발달 정도가 다양하다.

- 심도는 낮지만 나무와 낙엽 등으로 강수를 장기 체류시키며 함양을 증대시킨다.

$$\text{산악지역 지하수위} = \text{해발표고} \times 0.9895 - 5.486 \text{ (m)}$$

3) 기존자료로서 활용가능한 자료는 관측망 자료, 또는 지하수 조사 보고서에서 일제수위 조사자료는 활용이 가능하다.

4) 관정개발 년도가 크게 차이나는 관정 개발 당시 수위자료는 적용이 곤란하며 수위 일제조사가 필요하다. 이 경우 암반 및 층적관정별로 별도의 수위 조사분석이 필요하다

<표 6-3> 지하수위 심도별 등급

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
지하수위 (Depth to Water)	5	0 - 1.52m	10	50
		1.5 - 4.57m	9	45
		4.57 - 9.14m	7	35
		9.14 - 15.24m	5	25
		15.24 - 22.86m	3	15
		22.86 - 30.48m	2	10
		30.48m 이상	1	5

나. 지하수 함양량 (R)

지하수 함양량별 등급은 다음의 기준에 따라 설정하였다.

1) 당초 DRASTIC 기준에서 제시한 함양을 관련 주요 개념

- 관개용수 (irrigation), 인위적인 충전량 (artificial recharge), 하수도 (waste water) 등에 의한 함양량 증가 고려.
- 피압대수층 분포지역과 샘물 용출지역에서의 함양량 감소 요인을 고려

한다.

- 산악지역과 같은 함양지역에서의 함양량 증가 요인 고려
- 논의 관개용수는 연간 최대 약 10 cm 정도까지 고려

함양량이란 지표에서 대수층까지 함양된 연간 평균 물 함양량을 뜻하며 피압대수층, 함양지역, 관개용수, 인위적인 충전량, 하수도 등의 고려와 더욱 정밀하게는 충전량 발생 분포, 밀도, 지속기간 등을 대한 함양량 보정이 필요하다. 또한 함양량은 토양의 함수율, 지형 경사도, 토지이용도 등에 의하여 크게 좌우된다. 따라서 이러한 영향요소까지도 고려할 수 있는 정밀 수문분석 기법이나 모델링 기법으로 산출된 자료를 이용하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 오염취약성도 작성 목적을 고려하여 많은 정밀조사를 억제하고 일반적인 경우는 강수량자료를 사용하는 것으로 결정하였다. 다만 상기 고려사항에 대하여는 실측자료가 없는 만큼 작성자가 현장 지표지질조사 결과에 따라 조정하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

<표 6-4> 지하수 함양을 별 등급

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
지하수 함양율 (Net Recharge)	4	0 - 5.08 Cm	1	4
		5.08 - 10.16 Cm	3	12
		10.16 - 17.78 Cm	6	24
		17.78 - 25.40 Cm	8	32
		25.4 Cm 이상	9	36

다. 대수층 구성물질 (A)

대수층 구성물질에 의한 등급 기준은 다음과 같이 설정하였다.

- 당초 DRASTIC 기준에서 제시한 대수층 구성물질 관련 주요 기본 개념
- 지하수 유동에 영향을 주는 1차 공극 (암반 생성 시부터 갖고있는 공극)

과 2차 공극을 (암석 생성 후 지각 운동 등에 의하여 생성된 공극)이 결정된다.

- 각 등급을 나누는 기준은 파쇄대, 절리면의 분포 정도(degree), 분급 그리고 세립물질의 양 등이다
- 공극 또는 암반균열부에서 오염물질이 통과할 때를 가정하고 반응성, 균열대 발달정도, 균열대의 크기와 길이 구성 입자의 상태, 흡착 및 분산특성까지를 고려하는 것이 바람직하다.
- 대수층 매질은 토양 및 불포화대 하부층을 뜻하는 말로 지질도<표6-5> 참조시 충적층(Alluvium)으로 표시된 지역은 대수층 매질을 모래층으로하지 말고 주변 암석명을 참조해야 한다.

<표 6-5> 대수층 매질 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구 분	등급	지수
대수층 매질 (Aquifer Media)	3	괴상 세일	1 - 3	3 - 9
		변성/화강암	2 - 5	6 - 15
		풍화된 변성/화강암	3 - 5	9 - 15
		빙퇴석류	4 - 6	12- 18
		층상사암, 석회암 세일복합체	5 - 9	15- 27
		괴상 사암	4 - 9	12- 27
		모래 자갈(집괴암)	4 - 9	12- 27
		현무암	2 - 10	6 - 30
		Karst 석회암지대	9 - 10	27- 30

지질도의 암종 구분을 활용할 수 있으나 단순하게 암성에 따라 등급을 지정하는 것이 아니고 각 암석의 공극 발달 정도에 따라 등급 범위가 크게 다르므로 현장 지표지질조사가 필수적이라 할 수 있다. 즉 수직절리가 발달한 현무암은 최대 10등급을 주어야 하며, 비록 암종이 다르더라도 이와 유사한 지하수 유동체계 특성을 갖는 다른 종류의 암석이 있다면 그 또한 10등급으로 분류하여야 한다.

라. 지표토양 구성물질 (S)

지표토양 구성물질 등급은 다음의 기준에 따라 설정하였다.

1) 당초 DRASTIC 기준에서 제시한 지표토양 구성물질 관련 주요 기본 개념

- 토양매체에서 고려하는 관점은 암반이 풍화된 지표부를 뜻하며 미국 내 평균 두께는 약 1.83 m 정도를 고려 대상으로 한다.
- ① 점토의 유형 ② 점토의 팽창/수축 정도 ③ 토양의 입자 등에 따라서 많은 영향을 받는다
- 토양층 별로 제시된 침출율 즉, 오염물질이 토양을 통하여 대수층 내 지하수까지 침출되는 정도를 상대적인 비교 값으로 결정하여야 한다.
- 표피층 (토양심도 25 Cm 이하)는 10 등급으로 처리한다. (오염위험성이 가장 높다)

<표 6-6> 지표토양 구성매질 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
지표토양 구성매질 (Soil Media)	2	표피층 두께 25 Cm 미만	10	20
		자갈층	10	20
		모래층	9	18
		토탄층	8	16
		수축성, 응집성 점토층	7	14
		사질양토	6	12
		양토	5	10
		점토질 양토	4	8
		이질 양토	3	6
		Muck	2	4
		저수축, 저응집성 점토	1	2

2) 현장조사의 필요성 : 본 연구 시범조사에서 처럼 등급 분석을 위한 토양 통별 침출율 조사가 필요하다.

- Guelph Permeameter, Ring Permeameter로 실측
- 함양지역, 용출지역 고려 필요

마. 지형 경사 (T)

지형경사 등급은 다음의 기준에 따라 설정하였다.

우리나라지형 특성은 산악지형으로 지형경사 차이가 지역별로 심하여 다른 6개 인자에 비하여 동 지형경사의 구분은 확연히 드러나는 편이다. 또한 전국의 수치지도가 기 작성되어 있어 기존자료만으로 활용이 가능하다. 따라서 당 초안을 그대로 사용하더라도 문제는 없을 것으로 판단된다.

<표 6-7> 지형 경사 등급

분석 대상 인자	가중치	구분	등급	지수
지형 경사 (Topography)	1	0 - 2	10	10
		2 - 6	9	9
		6 - 12	5	5
		12 - 18	3	3
		18 이상	1	1

바. 불포화대 영향 (I)

불포화대 영향에 의한 등급은 다음의 기준에 따라 설정하였다.

- 1) 당초 DRASTIC 기준에서 제시한 불포화대 영향 관련 주요 기본 개념
 - 토양층 분포심도 이하부터 지하수위 상부까지로 분포한 매질에서의 자연 정화작용의 정도를 고려하고자 한다. 즉 오염물질 거동에 영향을 미치는 생물에 의한 분해작용, 부영양화 작용, 물리적인 여과작용, 화학적 반응, 증발작용과 확산작용이 모두 불포화대에서 일어나는 현상들을 등급으로 고려하고자 한다.
 - 모든 피압대수층의 경우에는 등급을 "1"로 산정한다.
 - 암석의 암특성에 따른 단순 등급이 아니며 공극, 파쇄대, 균열부에 의한 침출을 정도에 따라 분류해야 한다.
 - 불포화대 매질이란 토양 하부층을 뜻하는 말로 지질도 참조시 충적층

(Alluvium)으로 표시된 지역은 토양매질에서 고려하고 모래층 하부의 암석명을 참조해야 한다.

2) 대수층 매질 특성 분류와 마찬가지로 암석자체 특성이 아닌 파쇄대 균열 부 발달 정도와 같은 암석의 구조적인 특성에 따른 침출을 정도를 고려하고자 하는 것이기 때문에 지표지질조사에 의한 분류가 필수적이다.

3) 선구조 밀도 우선 고려

본 연구에서는 불포화대 영향과 선구조도 밀도를 상호 보완시켜 적용할 것을 제안한다. 선구조도 밀도를 산출하고 선구조가 없는 지역의 기본 등급은 지질도에 의한 당초 불포화대 영향을 그대로 적용하기로 한다. 즉 최소 등급은 불포화대 영향을 따르고 높은 침출율을 보이는 지질구조대 즉 선구조 밀도가 높은 지역은 선구조 밀도 등급을 적용하기로 한다.

선구조 분포밀도 값 = 빈도를 고려하여 10 등분하여 각각 해당 등급을 부여
지질도 암질특성으로 구분된 등급 이하로 산출된 선구조 분포 밀도는 암종별 특성 등급으로 대체하여 최소값으로 설정한다.

<표 6-8> 불포화대 영향에 따른 등급

분석 대상 인자	가중치	구 분	등급	지수
불포화대 영향 (Impact of the Vadose Zone Media)	5	피압대수층	1	5
		점토 Silt/Clay	3	15
		이암	3	15
		석회암	6	30
		사암	6	30
		층상 석회암, 사암, 점토암, 이암	6	30
		점토질이 다량 혼합된 모래, 자갈층	6	30
		변성암/화강암	4	20
		모래 및 자갈	8	40
		현무암	9	45
		Karst 지대, 석회암	10	50

사. 대수층 수리전도도 (C)

대수층 수리전도도 등급은 다음의 기준에 따라 설정하였다.

1) 당초 DRASTIC 기준에서 제시한 대수층 수리전도도 관련 주요 기본 개념

- 수리전도도는 대수층 매질이 공극을 통하여 물을 유동시킬 수 있는 정도, 즉 규정한 일정 동수구배가 적용될 경우 지하수가 흐르는 속도이다.
- 수리전도도 값은 대수층 시험자료를 분석하여 계산할 수있다. 기존 지하수조사 보고서, 관련 연구 논문 등에서 조사지역의 수리전도도를 수집하여 활용토록 한다.
- 만일 기존자료가 없고 조사계획도 없는 경우는 지하수 관련 참고서에 수록된 지층별, 암석별 평균 수리전도도 대표 값 범위에서 현장상황과 유사한 조건의 수리전도도 값을 추출하고 지하수 전문가의 자문을 받도록 하여야 한다.

2) 자료가 부족한 지역 자료 처리 방안

- 대수층 수리전도도는 기존조사자료가 상당히 미흡한 편이며 90년대 초까지의 자료는 수위측정기 부족으로 인하여 신뢰성도 결여된 상태이다. 따라서 대표 지층 분포지역에 위치한 기설관정에서 가능하다면 순간수위변화시험을 실시하고 수리전도도를 실측하는 것이 바람직하다.

<표 6-9> 수리전도도 등급 기준

분석 대상 인자	가중치	구 분	등급	지수
수리전도도 (Hydraulic Conductivity)	3	$4.72 \times 10^{-7} - 4.72 \times 10^{-6}$	1	3
		$4.72 \times 10^{-6} - 1.42 \times 10^{-4}$	2	6
		$1.42 \times 10^{-4} - 3.3 \times 10^{-4}$	4	12
		$3.3 \times 10^{-4} - 4.72 \times 10^{-4}$	6	18
		$4.72 \times 10^{-4} - 9.44 \times 10^{-4}$	8	24
		9.44 x 10 ⁻⁴ 이상	10	30

- 중산간 이상 산악지역에는 전혀 관정이 없는 지역이 대부분이며 암

반 대수층이라는 특성을 고려하고, 산악지역이 함양지역인 경우에 한하여 또한 지형경사 6~12% 이상인 지역(경사 등급 5등급)의 동수구배를 고려할 때 조사지역 동일지층 최대 표고에 위치한 관정의 수리전도도 값의 2배를 산악지역에 부여한다

6. 제주 지하수의 오염취약성도

본 연구에서는 제주지역을 시범지구로 조사하지 않았으나, 기존 보고서 자료 분석을 토대로 별도의 분석기법을 다음과 같이 제안하였다.

- 제주도 지하수는 부존형태와 유동특성, 함양율, 침출율에 영향을 미치는 오염물질의 유동경로도 습골이라는 특수한 구조에 크게 좌우된다.

- 기저 지하수 수위는 해수면에서 약간 올라 있는 정도이며 지층은 수직질리가 발달한 현무암층이 쇄설층과 수 십 여회 반복 퇴적된 상태이며, 상시 하천은 없는 건천만이 있다. 지표 토양특성에 상관없이 대부분 지역에서 1일 약 70 mm 이하의 강수가 오더라도 하천수가 흐르지 않고 습골을 통해 전량 대수층으로 함양되는 강수의 직접 대수층 함양형태를 보이며 따라서 오염물질도 거의 전지역에 분포하는 습골을 통해 직접 대수층으로 유입되기 때문에 제주 전지역이 항목별 DRASTIC 기준 여부에 상관없이 최대 취약성을 보일 정도로 높다고 판단되기 때문에 중산간 이상지역을 전체를 지하수 보호구역으로 설정하여야 할 것이다.

- 호우기간 중 중산간 지대에서 함양된 강수는 강수량에 따라 차이는 있지만 대개 2~3일 이내에 해안변에서 용출량 증가로 나타나며, '90년 대 초 폭우시는 최대 일주일까지 용출 증가 현상도 관찰되었다. 또한 기저지하수면 상부로 강수가 유입되더라도 빠른 지하수 유속으로 해안가에서 용출된다. 따라서 해안가 용출지역은 지하수위가 낮고 오염물질이 지하수로 유입 위험성도 거의 없다고 볼 수 있다.

- 제주도 지하수는 별도의 오염취약성을 분석할 필요 없이도 함양지역과 용

출지역으로 구분 관리 할 수 있을 것이며, 특별한 목적으로 정밀 분석이 필요한 경우라면 숲골과 강수의 직접적인 함양형태를 크게 비중을 두는 새로운 기법으로 분석함이 타당할 것이다.

여 백

제 7 장 지하수 오염현황도

여 백

제 7 장 지하수 오염현황도

제 1 절 개 요

지하수 수질분석은 지하수 관측망 운영에 의한 정기 지하수 수질분석 이외에도, 지하수 개발 및 각종 지하수 조사사업에 의하여 개인 또는 공공기관에서 개별적으로 의뢰하는 지하수 수질검사가 있다. 수질검사 기관으로는 각 도 보건환경연구원, 시·군 수도사업소, 농업기반공사 등 공인된 기관들이 있으나, 이러한 기관들에서 시행된 검사결과는 의뢰자에게 통보될 뿐 통합적인 국가 수질자료 관리체제가 아직은 미흡한 형편이다. 또한 각 기관별 자료가 D/B 화에 의한 통합 관리가 되고 못하여 효율적으로 활용되지 못하고 있는 실정이다.

지하수 수질기준은 각 용도별로 지하수 수질기준 및 분석항목 수가 다르고, 채취 기간별로 수질성적도 변화되는 경우가 많아 체계적인 국가 지하수 수질분석 자료 관리시스템의 필요성에 대한 전문가들의 주장이 커지고 있다.

그러나 체계적인 국가 지하수 수질자료 관리 시스템을 개발하는 것은 본 연구와는 직접적으로 관련이 없어 별도의 개별과제로 수행해야 할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 기존 지하수 음용수 수질기준으로 도면상으로 표시하되 항목수와 허용기준 초과정도 등을 고려함으로써 누구나 오염지역과 오염정도를 쉽게 알아볼 수 있는 도면 작성기법을 제시하고자 한다.

본 연구에서 제시되는 지하수 오염현황도 작성기법은 이용자 관점에서 지역별로 지하수 오염정도를 쉽게 알 수 있도록 하여 수질관련 정책담당자가 쉽게 이용할 수 있고 추가자료가 있을 때마다 쉽게 보완 가능한 GIS 도면화 D/B 작성 및 관리기법을 제시하였다. 본 기법은 한가지 좋은 예시로 앞으로도 많은 전문가들에 의해 보완되고 또한 향후 예상되는 지하수법의 개정 과정 등을 통하여 지속적으로 보완해 나가면 미래에는 최적 관리기법을 도출할 수 있을 것이다.

제 2 절 기존의 지하수 오염현황도

우리나라에서 기존 활용되고 있는 지하수 전문가를 위한 오염관련 도면들은 도면상에 지하수 8대 주요 양, 음이온 성분을 파이퍼 다이어그램으로 도시하는 기법, 오염지시 인자인 EC, pH, 전도도 분포도, 또는 특정 수질항목 분포도 등을 꼽을 수 있다. 이온 파이퍼 다이어그램은 지질과 관련되어 일반적인 부존 지하수의 수질특성을 나타내는 것이며, 장기관측 시 이온변화가 감지 될 경우 오염을 추정할 수 있기도 하다. 하지만 이처럼 지하수 특성을 알기 위한 이온분석은 연구목적으로 일부 시행될 뿐 대부분 지하수 수질측정은 먹는물 기준으로 분석되고 있다. 즉 활용 가능한 기존 수질자료는 먹는물 수질기준의 분석자료이며 등 자료는 수질성적서 또는 도표자료로 보관되고 있다. 본 연구에서는 이를 좀더 효율적으로 활용할 수 있는 장안을 제시하고자 한다.

제 3 절 지하수 오염현황도

1. 작성목적

본 연구에서는 지하수 오염현황도를 기존자료가 풍부한 음용수 수질기준 분석자료를 활용하여 지역별 지하수 오염정도를 쉽게 파악할 수 있는 도면 작성 기법을 제시하고자 하며 이는 기존의 이온 파이퍼 그림 작성기법을 대체하고자 함이 아니며 별개의 도면으로 활용자 측면 즉 수질정책 담당자들이 활용하기 쉽도록 개발한 기법이다.

지하수 오염현황도는 전북 무주군을 시범지구로 설정하였는데 이는 1999년 농업기반공사에서 자체사업으로 무주군 환경진료조사를 실시한 바 있어 등 자료를 활용할 수 있기 때문이었다.

2. 작성방법

지하수 오염현황도는 지하수 수질 오염현황만을 도면상에 표시하는 것을 기

본으로 한다. 하지만 만일 자료취득이 가능하다면 지표수 수질과 토양 오염현황도 함께 도시하면 종합적인 수질오염 현황도를 작성할 수 있으며 본 연구에서는 그러한 도시기법을 제시하고자 한다. 이는 물 순환계 관점에서 볼 때 지표수와 지하수 토양은 상호 연계되어 있기 때문이며, 그러한 관련자료를 조사 과정을 통하여 또는 기존자료로서 취득 가능하다면 이를 모두 도면에 표시하여 종합적인 수질오염현황도를 작성하는 기준을 제시하고자 한다.

수질오염현황도는 시간이 지남에 따라 변화하므로 GIS D/B 로 구축하고 기본적으로는 년도별, 3개월 또는 6개월 주기로 관리하고 특정 수질관련 변화가 있을 시는 별도 조사 관리함이 바람직하다.

가. 지하수 수질오염현황

기 언급한 바와 같이 본 연구에서는 지하수 전문가 사용을 위한 지층과 관련된 지하수 이온 특성파악을 목적으로 하지 않고 이용자 측면에서 지하수 수질오염현황을 파악코자 계획하였다. 환경부지침에 의한 정기 지하수 수질측정망 분석자료는 물론 조사지역 내 개인 혹은 공공기관에서 개별목적으로 실시한 먹는물 수질기준 분석결과자료가 있다면 이를 활용한다.

<표 7-1> 지하수 수질오염 현황 기준 지수 산출

구 분	환경진료 지하수 진료 진단지수		
	기 준	세부 항목별 기준	오염지수
지하수 수질오염 현황	수질 항목당	일반항목 기준이하 검출	10
		일반항목 기준초과 항목	50
		특정유해물질 항목	100

오염지수 산출기법은 <표 7-1>에서와 같이 항목별 기준초과 상태를 표준 지수로 산출토록 하고 이를 도면상에 도시하고자 계획하였다. 특정유해물질 항목은 초과 농도에 2배의 가중치를 설정하여 지역별 오염현황과 위협성을 쉽게 파악할 수 있도록 다음과 같이 설정하였다.

1) 환경부 지하수 수질측정망 조사항목

- 특정유해물질(10) : 카드뮴(Cd), 비소(As), 시안(CN), 수은(Hg), 유기인, 페놀, 납(Pb), 6가크롬(Cr⁶⁺), 트리클로로에틸렌(TCE), 테트라클로로에틸렌(PCE)
- 일반오염물질(5) : 수소이온농도(pH), 화학적산소요구량(COD), 대장균군수, 질산성질소, 염소이온(Cl⁻)
 - ※ 오염우심지역은 대장균군수 대신 전기전도도 측정
- 조사횟수 : 매년 2회 (상반기, 하반기)

환경부 지하수 수질측정망 항목에서 제시된 특정오염물질 이외 먹는물 수질 기준 항목은 모두 일반 오염물질에 포함시킨다.

나. 하천 수질오염현황

수질환경보전법에 의한 수질환경기준에 따르면 우리나라는 수역별, 항목별로 수질환경기준이 설정되어 있는데 수역별로는 하천, 호소로 구분하고 항목별로는 생활환경기준인 pH, BOD, COD, SS, DO, 대장균군수, 총질소, 총인 등 8개 항목과 사람의 건강보호기준인 Cd, As, CN, Hg, 유기인, Pb, 6가크롬, PCB, 음이온계면활성제 등 9개 항목으로 구분하고 있다. 또한 등급별로는 하천·호소에 5개 등급(I~V)으로 구분하여 각각 기준을 차등 설정하여 관리하고 있다.

본 연구에서는 지표수 수질오염에 대하여 기존 활용되고 있는 환경부 하천 수질환경기준에 의한 하천 오염지도를 활용키로 하며 별도의 조사를 시행하기 보다는 되도록 기존자료를 활용하기로 하였다. 즉 수질오염환경 하천수질기준에서 BOD, COD, SS, DO, 대장균군수, 5개 항목에 의한 하천별 생활환경 기준에 의한 5등급 범위를 판정하고 이를 도면상에 등급으로 표시하고자 한다.

〈표 7-2〉 하천수질환경기준

구분	등급	이용목적별 적용대상	기 준				
			pH	BOD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	DO (mg/ℓ)	대장균군수 (MPN/100mℓ)
생활환경	I	상수원수 1급 자연환경보전	6.5-8.5	1이하	25이하	7.5이상	50이하
	II	상수원수 2급 수산용수 1급 수계용수	6.5-8.5	3이하	25이하	5이상	1,000이하
	III	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6.5-8.5	6이하	25이하	5이상	5,000이하
	IV	공업용수 2급 농업용수	6.0-8.5	8이하	100이하	2이상	-
	V	공업용수 3급 생활환경보전	6.0-8.5	10이하	쓰레기등 이 떠있지 아니할 것	2이상	-
사람의 건강보호	전 수 역	- 카드뮴(Cd) : 0.01mg/ℓ 이하, - 비소(As) : 0.05mg/ℓ 이하, - 시안(CN), 수은(Hg), 유기인 : 검출되어서는 안됨 - 폴리크로리네이티드비페닐(PCB) : 검출되어서는 안됨 - 납(Pb) : 0.1mg/ℓ 이하, - 6가크롬(Cr+6) : 0.05mg/ℓ 이하 - 음이온계면활성제(ABS) : 0.5mg/ℓ 이하					

주 : 수산용수 1급 : 빈부수성수역의 수산생물용
 수산용수 2급 : 중부수성수역의 수산생물용
 자연환경보전 : 자연경관 등의 환경보전
 상수원수 1급 : 여과 등에 의한 간이정수처리후 사용
 상수원수 2급 : 침전여과 등에 의한 일반적 정수처리후 사용
 상수원수 3급 : 전처리 등을 거친 고도의 정수처리후 사용
 공업용수 1급 : 침전 등에 의한 통상의 정수처리후 사용
 공업용수 2급 : 약품처리 등 고도의 정수처리후 사용
 공업용수 3급 : 특수한 정수처리후 사용
 생활환경보전 : 국민의 일상생활에 불쾌감을 주지 아니할 정도

※ 자료출처 : 환경부

만일 건강보호기준 9개 항목이 하천수 수질기준을 초과할 경우는 하천·호소 생활환경기준 5개 등급(I~V)을 각각 지수 100부터 500까지로 설정키로 한다. 상기 생활환경기준 검출 5개 항목 별로 등급이 다를 경우는 각 항목별 등급에서 최고 등급을 선택하는 것을 원칙으로 한다. 일반적으로 조사예산에 따라 하천수는 BOD 단일항목, 호소수는 COD 단일항목 자료만으로 분류하는 경우가 많으며, 만일 단일자료만 있는 경우는 단일자료 활용임을 기재해주고 여러항목 자료인 경우는 최대치를 사용한다. 그 밖에 건강보호기준 한 항목 기준 초과 당 지수 100 씩을 더해주며, 다시 기준농도 매 1배씩 증가 검출 시마다 지수 50 씩을 더하여 초과농도의 강도까지 도면에 표현코자 한다.

다. 호소수질오염현황

호소 수질오염현황도 하천과 동일한 방법으로 도면을 작성하고자 한다.

호소도 하천과 마찬가지로 수질환경보전법에 의한 수질환경기준에 따르면 우리나라는 수역별, 항목별로 수질환경기준이 설정되어 있는데 수역별로는 하천, 호소로 구분하고 항목별로는 생활환경기준인 pH, BOD, COD, SS, DO, 대장균군수, 총질소, 총인 등 8개 항목에 의한 호소수질 5개 등급(I~V)으로 구분하여 호수위치에 등급을 표시한다. 하천수와 동일하게 각 등급별 지수는 100에서 500까지로 설정하고 생활환경기준 검출 8개 항목 별로 등급이 다를 경우는 각 항목별 등급에서 최고 등급을 선택하는 것을 원칙으로 한다. 사람의 건강보호기준인 9개 항목에서 호소 수질기준을 초과할 경우는 한개 항목 초과당 지수 100 씩을 더해주며 다시 기준농도 1배씩 증가 검출 시마다 지수 50 씩을 더하여 초과농도의 강도를 도면상에 표시해 주고자 하며 하천수 오염현황도에 포함시켜 도면으로 작성코자한다.

<표 7-3> 호소수질환경기준

구분	등급	이용목적별 적용대상	기 준						
			pH	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	DO (mg/ℓ)	대장균군수 (MPN/100ml)	총 인 (mg/ℓ)	총질소 (mg/ℓ)
생활 환경	I	상수원수 1급 자연환경보전	6.5- 8.5	1이하	1이하	7.5 이상	50 이하	0.010 이하	0.200 이하
	II	상수원수 2급 수산용수 1급 수계용수	6.5- 8.5	3이하	5이하	5 이하	1,000이하	0.030 이하	0.400 이하
	III	상수원수 3급 수산용수 2급 공업용수 1급	6.5- 8.5	6이하	15이하	5이상	5,000이하	0.050 이하	0.600 이하
	IV	공업용수 2급 농업용수	6.0- 8.5	8이하	15이상	2이상	-	0.100 이하	1.0 이하
	V	공업용수 3급 생활환경보전	6.0- 8.5	10이하	쓰레기 등이 떠있지 아니할 것	2이상	-	0.150 이하	1.5 이하
사람의 건강보 호	전 수 역	- 카드뮴(Cd) : 0.01mg/ℓ 이하 - 비소(As) : 0.05mg/ℓ 이하 - 시안(CN), 수은(Hg), 유기인 : 검출되어서는 안됨 - 폴리크로리네이티드비페닐(PCB) : 검출되어서는 안됨 - 납(Pb) : 0.1mg/ℓ 이하 - 6가크롬(Cr+6) : 0.05mg/ℓ 이하 - 읍이온계면활성제(SBS) : 0.5mg/ℓ 이하							

총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7미만일 경우에는 총인의 기준은 적용하지 아니하며 그 비율이 16이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 아니한다.

용수구분은 하천수에서와 같다.

※ 자료출처 : 환경부

라. 토양오염 현황

환경부에서는 1996.1.6일부터 토양환경보전법이 시행됨에 따라 토양환경보전법 제5조(토양오염도 측정 등)의 규정에 의거 전국 토양에 대한 오염실태 및 추이 등을 종합적으로 파악하여 토양오염의 사전 예방, 오염토양의 정화·

복원 등 토양환경 보전정책의 기초자료로 활용하기 위하여 토지용도를 중심으로 설치된 전국망과 오염원을 중심으로 한 지역망으로 이원화하여 토양측정망을 운영하고 있다 <표 7-4>.

본 토양환경보전법에 의하면 조사항목은 전국망 및 지역망 공히 토양산도(pH), 중금속 6종(카드뮴, 구리, 비소, 납, 수은, 크롬), 일반항목 5개(유류, 유기인, PCB, 시안, 페놀)등 총 12개 항목에 대하여 조사하되, 토지용도 및 오염원의 종류에 따라 조사항목을 구분하여 실시하고 있다.

본 연구에서는 지하수오염예측도와 관련하여 지구별 토양오염현황을 환경부에서 시행중인 토양측정망 운영자료를 이용하여 토양오염도를 작성하는 기준을 제시하고자 한다.

<표 7-4> '99 토양측정망 운영현황

구분	전국망	지역망
설치지점	토지용도별 중심(12개)	토양오염원 중심(16개)
측정주기	매년 1회	매년 1회
조사항목	12개(중금속 6, 일반 5, pH)	12개(중금속 6, 일반 5, PH)
운영실적	계획	1,500지점
	실적	1,499지점
주관	환경부(환경관리청)	시·도지사

※ 자료출처 : 환경부

토양환경보전법에서는 토양 관측망 운영결과에 따라 우려기준 가, 나 지구와 대책기준 가, 나지구로 구분 관리하고 있는바 본 지하수오염예측도에서 토양오염현황도는 그러한 4가지 구분 기준을 도면에 표시하고자 한다.

1) 토양환경보전법의 토양오염물질 기준

토양환경보전법에 의하면 토양오염의 기준항목은 11개 항목에 대하여 가, 나지역으로 토양의 용도를 구분하고 각각에 대하여 오염정도에 따라 토양오염

우려기준과 토양오염 대책기준으로 구분하였다 <표 7-5>.

오염의 정도가 사람의 건강과 동·식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있어 토지의 이용중지, 시설의 설치금지 등 규제조치가 필요한 정도의 오염상태를 토양오염대책기준으로 설정하고, 대책기준의 약 40%정도로 더 이상의 오염이 심화되는 것을 예방하기 위한 오염수준을 토양오염우려기준으로 구분하여 설정하였다.

<표 7-5> 토양오염 우려기준 및 토양오염 대책기준 (단위 : mg/kg)

오염물질	토양오염 우려기준		토양오염 대책기준	
	가지역	나지역	가지역	나지역
카드뮴	1.5	12	4	30
구리	50	200	125	500
비소	6	20	15	50
수은	4	16	10	40
납	100	400	300	1,000
6 가 크롬	4	12	10	30
유기인화합물	10	30	-	-
폴리클로리네이티드비페닐	-	12	-	30
시안	2	120	5	300
페놀	4	20	10	50
유류 (동, 식물성 제외)				
벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌 (BTEX)	-	80	-	200
석유계총탄화수소(TPH)	-	2,000	-	5,000

- 비고 : 1. 가지역 : 지적법 제5조제1항의 규정에 의한 전·답·과수원·목장
 용지·임야·학교용지·하천·수도용지·공원·체육용지(수
 목·잔디 식생지에 한한다)·유원지·종교용지 및 사적지
2. 나지역 : 지적법 제5조제1항의 규정에 의한 공장용지·도로·철도
 용지 및 잡종지
3. 다음 각목의 1에 해당하는 경우에는 지목 구분에 관계없이 나지역
 토양오염우려(대책)기준을 적용한다.
- 가. 토양오염유발시설이 설치된 경우
- 나. 가지역에서 폴리클로리네이티드비페닐 또는 유류에 의한 토양오
 염사고가 발생한 경우
- 다. 가지역을 제외한 지역에서 토양오염사고가 발생한 경우

※ 자료출처 : 환경부

제 4 절 현장조사

현장조사는 서산과 무주지역에서 수질조사를 직접 시행하거나 자료수집을 하였으며, 지하수를 제외한 지표수, 토양자료 등 기존자료 취득이 곤란한 항목에 대하여는 본 연구에서는 작성기법만을 제시하고 실제 도면작성은 하지 않았다. 본 연구목적이 지하수 오염예측도 작성기법 개발이므로 연구비는 최대한 지하수 분야에 치중하였다.

1. 서산지구 지하수 수질오염 현황

'98. 6. 2~'98. 6. 5에 걸쳐 고북면 서산시 일대에서 층적층지하수 15점을 채취하여 그 중 7점은 충남보건환경연구원, 나머지 8점은 농어촌연구원에서 먹는물기준으로 수질검사를 한 결과 15점 모두 불합격 판정받았다 <표 7-6>. 대부분 일반세균이나 질산성질소에서 기준치를 초과하였고 일부 시료에서는 대장균이 검출되었으며 Al, Mn, Fe, Zn 등의 무기물 함량이 기준치를 초과한 관정도 있었다. 금회 조사자료는 농업용 관정자료가 대부분이었으나 전체적으로 음용 부적판정이 난 것은 서산지구 표토의 높은 침출율과 곳곳에 산재한 축산농가의 오폐수 무단 방류와 무관하지 않은 것 같다. 수차례 조사기간 중 서산지구의 하천은 대부분 건천으로 무강우시 상류부의 생활하수가 하천 하류부까지 흐르지 못하고 전량 하천바닥으로 스며 들어가고 있었다. 이처럼 지하수 오염위험성이 큰 지역에서는 하천 바닥을 콘크리이트로 처리하거나 모든 농가와 축산단지 등 가능한 오염원 발생 지점에서 원천적으로 정화처리하여 방류수 수질기준이하로 방류하여야 할 것이다.

<표 7-6> 서산지구 15개 관정의 지하수 수질오염 현황 진단결과

관정	먹는물 기준 이하 검출항목	먹는물 기준 초과항목	오염지수
WS-1	일반세균, 질산성질소, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 중발잔류물	망간	
WS-2	일반세균, 동, 아연, 염소이온, 황산이온, 중발잔류물	질산성질소	
WS-3	질산성질소, 동, 철, 염소이온, 황산이온, 중발잔류물	일반세균	
WS-4	아연, 염소이온, 망간, 황산이온, 중발잔류물	일반세균, 질산성질소	
WS-5	불소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 알루미늄, 중발잔류물	대장균군	
WS-6	불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 망간, 중발잔류물	일반세균, 대장균군, 철, 알루미늄	
WS-7	일반세균, 대장균군, 불소, 암모니아성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 망간, 황산이온, 알루미늄, 중발잔류물	질산성질소	
WS-8	대장균군, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 중발잔류물, 아연, 염소이온, 철, 황산이온	일반세균, 알루미늄	
WS-9	대장균군, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 망간, 황산이온, 중발잔류물	동, 아연, 염소이온, 철,	
WS-10	일반세균, 대장균군, 불소, 암모니아성질소, 아연, 염소이온, 황산이온, 중발잔류물	질산성질소, 알루미늄	
WS-11	일반세균, 대장균군, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 알루미늄, 중발잔류물		
WS-12	일반세균, 대장균군, 불소, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 알루미늄, 중발잔류물	질산성질소	
WS-13	일반세균, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 중발잔류물		
WS-14	일반세균, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 중발잔류물	질산성질소	
WS-15	일반세균, 질산성질소, 염소, 중발잔류물	대장균군, 아연	

2. 무주지구 지하수 수질오염 현황

가. 지하수 수질조사

‘97~’98년간 농업기반공사에서 무주지구 내 38개 관정에서 채취 분석한 수질오염현황자료에서 먹는물 수질기준을 초과한 항목은 다음과 같다<표 7-7><표 7-8>. 본 연구에서 제시하는 기준에 따라 지수를 산출하면 지하수가 오염되어 “심히우려“되는 것으로 분류되는 곳이 11개 공으로 약 29%에 달하고 있는 것으로 조사되었다. 정확한 무주군 전체 지하수 수질 오염 현황 파악을 위하여는 지하수 수질 일제조사가 필요하지만, 무주군 전체 관정의 시료채취 및 분석에는 막대한 인력과 비용이 소요되므로 지하수법에 의거한 수질분석 예산만큼 매년 일정량씩 실시하고 그 자료를 축적하는 것이 바람직하다.

<표 7-7> 무주지구 38개 관정의 지하수수질오염현황 진단결과

관정 소재지	먹는물기준 이하 검출항목	먹는물기준 초과 항목	진단 지수
무주읍 대차리 마암 1	염소, 질산성질소		20
무주읍 대차리 마암 2	염소, 질산성질소		20
무주읍 대차리 마암 3	염소	질산성질소	60
무주읍 대차리 서면 1	질산성질소, 염소		20
무주읍 장백리 1	질산성질소, 염소		20
무주읍 왕정리	질산성질소, 염소		20
무주읍 내도면 후도	불소, 황산이온		20
무주읍 내도면 후도	불소, 아연, 황산	탁 도	80
무풍면 현내리 산110 번지 1	황산	일반세균, 불소, pH	160
무풍면 현내리 산110 번지 2	아연, 염소, 철	일반세균, 불소	130
무풍면 두평리	염소	질산성 질소	60
안성면 공정리 내당 1	염소	질산성 질소	60
안성면 공정리 내당 2	염소, 질산성 질소		20
안성면 도촌리	염소, 질산성질소		20
안성면 진도리 하오동	염소, 질산성질소		20

<표 7-7> 무주지구 38개 관정의 지하수수질오염현황 진단결과(계속)

관정 소재지	먹는물기준 이하 검출항목	먹는물기준 초과	진단지수
안성면 죽장리 1	염소, 질산성질소		20
안성면 죽장리 2	염소, 질산성질소		20
안성면 공진리 마암	질산성 질소		10
무풍면 제부 1	염소, 질산성질소		20
무풍면 제부 2	염소		10
무풍면 금평 1	염소, 질산성질소		20
무풍면 금평 2	염소, 질산성질소		20
무풍면 덕지리	염소, 질산성질소	질산성 질소	70
설천면 장덕리 장평 1	불소, 염소, 황산		30
설천면 장덕리 장평 2	염소, 망간, 황산	불소	80
설천면 장덕리 장평 3	아연, 염소, 황산	세균, 질산성질소	130
설천면 장덕리 장평 4	질산성질소, 아연, 망간, 염소, 황산	불소	100
적상면 사천리 성대		철분, 탁도, 부유물	150
적상면 방이리 고방 1	염소, 질산성질소		20
적상면 방이리 고방 2	염소, 질산성질소		20
적상면 방이리 고방 3	염소, 질산성질소		20
적상면 여원리 여원 1	염소		10
적상면 여원리 여원 2	염소, 질산성질소		20
적상면 삼가리 어원	염소, 질산성질소		20
부남면 장안리 교동		질산성 질소	50
부남면 고향리	염소		10
부남면 고향리	염소, 질산성질소		20
부남면 대티지구	불소, 질산성질소, 황산		30
무주읍 내도면 후도	불소, 아연, 황산	탁도	80
계		38 공	

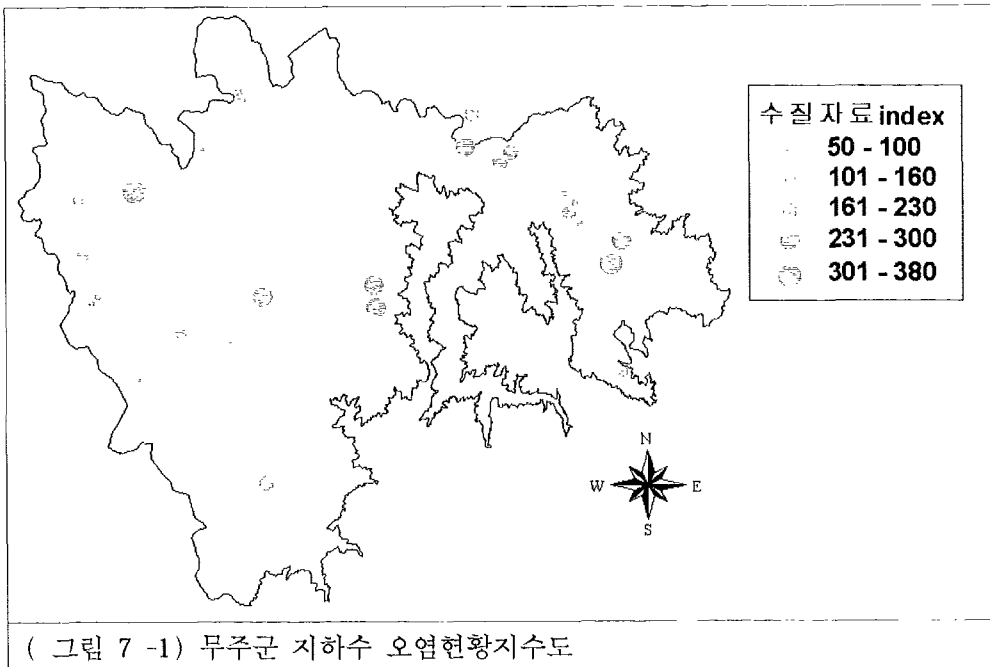
<표 7-8> 지하수 오염지수별 내역

구 분	지하수 오염지수	공 수	비 고
안 전	20미만	24 공	
적 정	40까지	2 공	
오염취약	50까지	1 공	
심히우려	80까지	6 공	
조치요망	100이상	5 공	

기존자료 활용면에서, 관련법에 의하여 지하수를 공공목적으로 이용하고 있는 음식점이나 숙박업소 및 공공 시설물에서도 다수의 정기 수질검사를 실시하고 있으나 업소 행정제제 문제와 결부되어 기존자료 취득도 용이하지가 않으며 업소측 반대로 직접 수질시료 채취도 어려운 문제점이 있다.

나. 무주군 지하수 오염현황도

이러한 기준으로 지하수 무주지역 오염현황도를 작성하면 다음과 같다.



- 일부 지하수수질분석 결과를 토대로 지하수 오염현황도로 작성하였다. 작성 시의 전제조건은 전 관정에 대한 전수조사를 시행하여 작성하여야 하나 본 연구에서는 오염현황도 작성기법은 연구대상이 아니고 오염예측도에 대한 검증자료로 활용코자 하였으며 오염현황도는 작성안제시로 좀더 심도 있는 연구로 체계화시켜할 것으로 판단된다..
- 암반관정 210공중 '97년과 '98년 농업기반공사에서 35개공의 농업용 또는 생활용 관정에 대한 수질분석을 실시한 결과 조사공의 약 50%에서 질산성질소가 검출되고 있었다. 이 중 “심히 우려“되는 것으로 분류되는 곳이 11개 공으로 약 29%에 달하고 있는 것으로 밝혀졌다. 동 결과는 일부관정에 대한 것이지만 상당한 관정이 오염위협을 받고 있는 것으로 조속히 무주군내 지하수 수질 일제조사가 요망되며 오염원을 추적 규명하고 대책을 수립하여 더 이상의 지하수 오염현상을 막고 보전계획을 수립해야 할 것으로 판단된다.
- 무주군에서는 지표수원이 풍부한 편이면서도 산재한 주거구조 때문에 상수도 시설비의 과다소요가 예상되고, 풍부한 계곡수에 의한 간이상수도 시설이 주로 이용되고 있으며 지하수는 일부만이 활용하고 있다. 따라서 지하수 오염현상에 대하여 관계당국과 주민이 크게 우려치 않고 있으나 지하수 오염현황으로 볼 때 장기적인 수자원 공급계획과 보전대책이 시급한 편이라 할 수 있다. 주거시설이 없는 지역의 계곡수가 청정하고 수량도 풍부하여 수자원 환경보호에 대한 주민의 의식이 약한 편이다.
- 지하수 오염현황도에서 나타난 바와 같이 조사된 관정의 30 % 이상이 오염현상을 보이고 있어 지하수 보전과 주민의 건강 보호 차원에서 지하수 수질오염현황 정밀조사가 필요하다.
- 지하수 주 오염원으로는 주민들의 생활오폐수와 산재한 음식점, 숙박시설, 축산단지들이며 오염정화시설 보급이 매우 미흡한 편으로 지하수와 남대천 수질오염을 가속화시키고 있다.

- 수질보호를 위하여 농어촌 소규모 오폐수 정화시설 중 효율이 높고 시설, 운영비가 저렴한 모델을 선정하여 축산농가와 숙박시설, 음식점을 우선적으로 적극 보급 권장하여야 한다.
- 수질보전대책을 위한 지표수상수원 보호구역 및 지하수 보전구역 설정이 시급하며 이를 위한 정밀조사가 필요하다.
- 무주군의 상수도 보급률은 42.7%이며 1인당 급수량은 351리터('97 무주군 통계 연보)이다. 상수도 시설이 미비한 지역에는 생활용 관정이 보급되고 있으나 시설된 지역에서는 관정사용 전기료가 비싸다는 인식으로 사용치 않는 관정이 많았다. 또한 계곡부의 주거지역을 제외한 산악지역은 산세가 험준한 관계로 청정한 숲이 우거져 있어 계곡수를 집수하여 생활용수로 사용하는 지역이 많았다.
- 전기료를 부담해야하는 관정은 극심한 한해시에만 사용하는 예비용으로 관리되고 평시에는 방치되는 곳이 많았다. 관정을 개발하고 1년 이상 방치할 경우 관정내 물이 정체되고 수중모터펌프도 철재부분(압상파이프 연결볼트 등)은 녹이 슬고 물때가 쌓여 고장원인이 되고 관정 내에서 상하로 오염이 확산되어 주변 대수층까지 오염시키는 오염통로가 되므로 최소 2-3개월에 1회씩 가동점검을 해주어야 하며 1년에 1회씩 공내 세척작업이 필요하다.
- 맑은 계곡수가 풍부한 관계로 주민과 군의 입장에서는 지하수 오염현상을 시급한 상황으로 판단치 않을 수 있으나 실제 관정조사 결과 지하수 오염은 상당수준까지 진행되었으며 지하수 오염대책수립이 시급한 상황이다.
- 적상면 사천리 사무소내의 오염으로 방치된 관정은 TV 검층결과 철분과 부유 이물질, 탁도로 심하게 오염되어 있었으며 조속한 원상복구 처리가 요망되는 관정이다. 원상복구 이전에 오염물질을 정밀분석하고 오염원을 규명하고 대책을 수립한 후 원상복구토록 해야 할 것이다. 방치기간이 장기화 될수록 주변까지 오염을 확산시킬 위험이 매우 크다. 동 관정은 '99년 초 재조사시에는 원상복구처리가 되어 있었다. 하지만 원상복구 이전에 오염원이 무엇인지 오염범위가 어느 정도인지를 확인 조사한 연후에 원상복구처리가

되어야 하며 단순하게 시멘트 처리된다면 이는 보이는 지표부분만을 깨끗하게 가린 것으로 지하에서는 계속 오염이 확산 진행될 것이다.

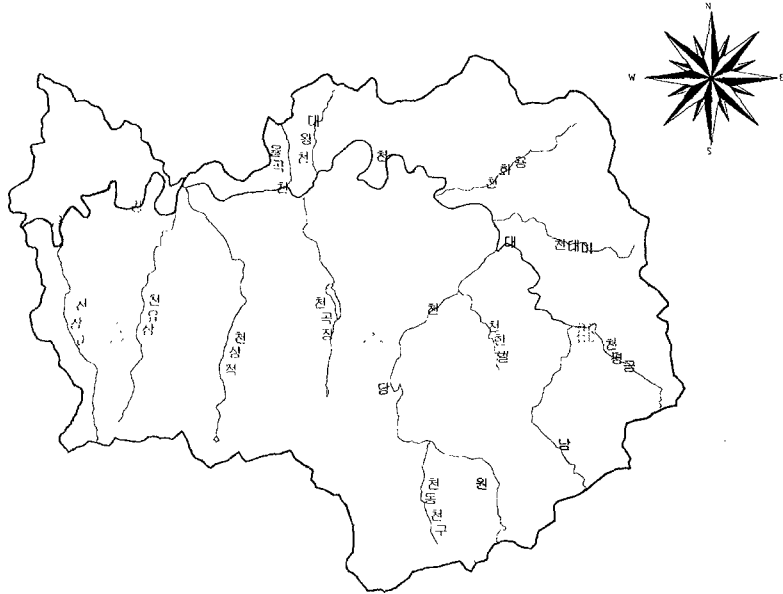
3. 무주군 지표수 오염도

무주군 지표수 및 토양조사 자료는 농업기반공사에서 '99년 시행한 무주군 환경진료보고서 내용 중 자료를 발췌하여 본 오염예측도 작성에 활용하였다.

가. 무주군 지표수 수질조사

1) 하천 분포

○ 하천은 법정하천으로 지방하천인 금강천과 남대천 2개 하천에 40.4km이며, 준용하천은 30개소에 총 연장이 203.4km 에 달한다 (그림 7-2)<표 7-8>.



(그림 7-2) 주요 하천 수계도

<표 7-9> 소하천 현황

읍 면	개 소	연장(km)	읍 면	개 소	연장(km)
무주읍	53	58.84	무풍면	41	68.33
설천면	79	114.47	적상면	90	96.35
안성면	41	66.90	부남면	39	50.84
계	343	455.73	-	-	-

자료 : 무주군 내부자료

남대천의 유로상황은 대체로 수지상(樹支狀)으로 되어 있으며, 유역형상은 원형으로 되어 있고 유역 평균폭은 8.76km로서 비교적 넓고, 임상은 양호하며, 유역형상계수가 커서 강우시 유출량이 많고 출수현상은 집중적으로 나타날 수 있다. 남대천 유역의 행정구역은 전라북도 무주군 무주읍, 설천면, 적상면, 무풍면, 충청북도 영동군 용화면으로 2도, 5개 읍면으로, 본류구간의 하폭은 70~230 m 및 하상구배는 1/200~1/650로 되어 있고 하상물질은 모래 및 자갈로 구성하고 있다.

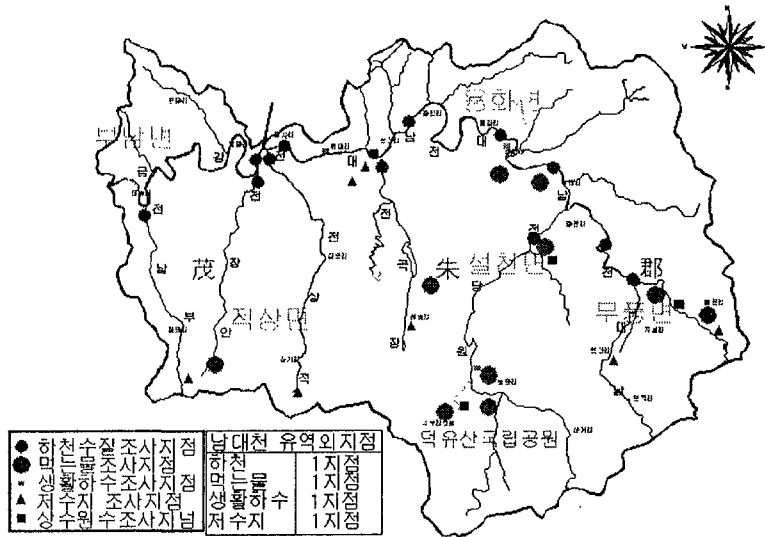
2) 하천 수질 조사

가) 조사기간

- 1차조사 : 1998. 7. 6 ~ 1998. 7. 20
- 2차조사 : 1998. 9. 7 ~ 1998. 9. 15
- 3차조사 : 1998. 11. 20 ~ 1998. 12. 2

나) 조사위치

남대천 수계 및 유역을 중심으로 하천 및 유입지천, 무주군 관내 저수지, 상수원수, 생활하수, 먹는 물 등으로 구분하여 1~3회에 걸쳐 수질조사와 유량 측정을 하였다 (그림 7-3)<표 7-10>.



(그림 7-3) 수질조사 위치도

<표 7-10> 수질조사 대상

구 분	1차조사	2차조사	3차조사	계
하천조사	13	8	10	31
저수지	8	-	-	8
상수원수	4	-	4	8
생활하수	4	3	3	10
먹는 물	11	-	-	11
계	40	11	17	68

다) 조사항목 및 분석방법

수질조사 항목은 조사분석 목적에 따라 하천수, 호소수 및 상수원수는 수질 환경기준 항목, 생활하수는 배출허용기준 항목, 먹는 물은 먹는 물 관리법에 규정된 항목을 분석하였다.

(1) 하천수질

조사위치	조사지점	수온 ℃	pH	전기전도도 EC (μ mhos/cm)	용존산소 DO (mg/ℓ)	생물학적 산소요구량 BOD (mg/ℓ)
원당천상류	MS1	21.6	7.4	79.2	8.3	1.1
원당천하류	MS2	22.4	7.7	74	8.4	0.3
남대천상류	MS3	19.7	7.7	107	8.8	0.8
남대천중상류	SM4	21.3	7.7	129	8.8	0.8
남대천중류	SM5	23.2	7.5	100	8.0	1.0
남대천본류	SM6	24.4	7.6	108	7.7	0.7
남대천하류	SM7	24.5	7.6	98	7.9	0.7
장곡천하류	SM8	22.9	7.4	106	7.8	0.5
적상천하류	SM9	22.2	7.6	184	8.3	1.2
삼유천하류	SM10	23.4	8.1	101	8.6	0.9
금강본류	SM11	24.5	7.8	107	8.2	0.8
안장천하류	SM12	23.0	7.5	90	8.1	0.6
구명천하류	SM13	20.9	7.8	112	8.3	1.6

(2) 저수지 수질

조사위치	조사지점	수온 ℃	pH	전기전도도 EC (μ mhos/cm)	용존산소 DO (mg/ℓ)	생물학적 산소요구량 BOD (mg/ℓ)
금명제	MR1	24.5	10.1	795	11.9	15.3
무풍제	MR2	23.6	8.5	109	9.3	1.6
괴목제	MR3	24.2	9.2	110	9.7	1.7
모수제	MR4	26.9	9.3	53	9.8	2.6
압수제	MR5	26.3	8.3	43	8.5	1.2
상가제	MR6	26.7	7.9	55	8.2	1.6
턱산제	MR7	22.6	7.8	37	8.2	0.9
장안제	MR8	24.5	10.1	64	10.1	1.7

무주군 적상면에 위치한 양수발전소는 상부댐(850m), 하부댐(250m)을 건설하여 괴목천 물을 저수하였다가 적성산 정상 가까운 분지에 막은 상부댐으로 끌어올려 589m 낙차폭을 이용하여 발전하는 시스템으로 시설용량은 60kW/h 이다.

(3) 상수원수

조사위치	조사지점	수온 ℃	pH	전기전도도 EC (μmhos/cm)
무풍 정수장	MDS1	18.1	7.1	39
구천동정수장	MDS2	18.5	7.2	42
리조트정수장	MDS3	18.1	8.0	95
설천 정수장	MDS4	20.8	7.4	43
무주 취수장	MDS5	25.7	7.7	101

3) 수질조사 결과 및 BOD 기준평가

상기 하천 수질검사 결과를 BOD기준으로 수질등급을 하면 다음과 같다.

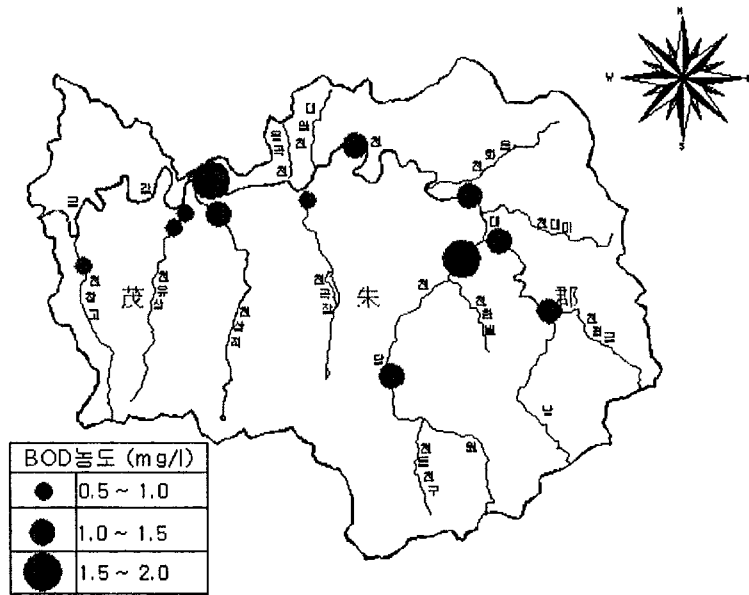
원당천 수질은 상류와 하류 각 1지점씩 2지점에서 대하여 3회에 걸쳐 조사를 실시하였으며, 수질성적의 상하류간의 분포는 하류가 약간 낮은 결과를 나타내는데 이는 상류에는 덕유산 국립공원 및 설천집단시설 지구가 위치하여 다량의 오염물질을 배출하기 때문이며, BOD기준으로 수질등급을 보면 환경기준에 의한 수질등급은 I~II등급에 해당하나 종합지수방법에 의하면 전 구간이 I등급이다 <표 7-11><표 7-12>(그림 7-4).

<표 7-11> 원당천, 남대천 수질등급

구 분	1차				2차				3차		
	유량 (m ³ /일)	BOD (mg/ℓ)	수질평가		유량 (m ³ /일)	BOD (mg/ℓ)	수질평가		BOD (mg/ℓ)	수질평가	
			환경 기준	종합 지수			환경 기준	종합 지수		환경 기준	종합 지수
원당 SM1 (깊은골)	151,649	1.1	II	I	94,703	1.0	I	I	0.8	I	I
원당 SM2 (하두교)	127,845	0.3	I	I	76,793	0.1	I	I	1.5	II	I
남대 SM3 (무창교)	23,244	0.8	I	I	11,388	1.4	II	I	1.0	I	I
남대 SM4 (장평교)	101,976	0.8	I	I	82,183	1.2	II	I	0.3	I	I

<표 7-12> 남대천 유입지천 수질등급

유입하천	위 치	BOD(mg/ ℓ)	수질등급	비고
장곡천	유속교밑	0.5	I	
적상천	원룡교밑	1.2	II	
상유천	용포교1	0.9	I	
	용포교2	0.8	I	
고창천	유평교	0.6	I	



(그림 7-4) 남대천 수질(BOD) 오염 map

4) 저수지 수질

○ 농업용수 저수지의 수질조사는 금평제 등 7개 저수지에서 1회조사 실시 하였으며, 수질은 금평제를 제외하면 모두 기준이내이나, COD기준 II~III등급, T-N기준 II~III등급, T-P기준 I 등급에 해당된다 <표 7-13>.

〈표 7-13〉 저수지 수질등급

구 분	COD		T-N		T-P		종합등급
	COD (mg/ℓ)	수질 등급	T-N (mg/ℓ)	수질 등급	T-P (mg/ℓ)	수질 등급	
금명제	10.7	등급외	1.624	V	0.167	등급외	V
괴목제	2.4	II	0.224	II	<0.001	I	II
모시제	5.1	III	0.560	III	<0.001	I	III
압수제	3.4	II	0.112	II	<0.001	I	II
상가제	2.9	II	0.168	II	<0.001	I	II
덕산제	3.2	II	0.056	II	<0.001	I	II
장안제	3.5	II	0.280	II	0.008	I	II

※금명제는 덕산제 보충수원이며, 현재 사용하지 않고 있음

농업기반공사가 관행으로 실시하는 PI지수법에 의한 농업용 저수지의 수질을 종합평가해 보면 “우수”등급 3, “양호”등급 3, “나쁨”등급 1개소로 나타남

5) 상수원수 및 먹는 물 수질

상수원수 수질조사는 5개소, 2회를 시행하였으며, 대부분이 수원은 지표수인 하천수, 계곡수로서 간이 정수 또는 일반적인 정수 처리후 사용할 수 있는 상수원수 I ~ II등급에 해당하는 수질이다 <표 7-14>.

〈표 7-14〉 상수원수 수질

지 점	수 원	조사시기	COD(mg/ℓ)	상수원수 등급
무풍간이상수도 원수	하천수	1차	1.4	II
		3차	0.7	I
구천정수장 원수	계곡수	1차	1.5	II
		3차	1.5	II
설천정수장 원수	하천수	1차	1.7	II
		3차	0.5	I
무주정수장 원수	하천수	1차	2.7	II
		3차	0.8	I
리조트정수장 원수	계곡수	1차	1.6	II
		3차	0.7	I

먹는 물 수질수준을 파악하기 위하여 총 11세대의 수도물을 채취하여 먹는 물 관리법에 규정된 43항목에 대하여 수질검사를 실시한 결과 5개소가 미생물에 의한 오염으로 먹는 물로서 부적합한 것으로 나타났으나 이는 정수시설 및 기술력 부족으로 판단된다. 특히 지하수를 취수하는 장안리 간이 상수도의 경우는 질산성 질소가 기준치를 상회하고 있으나, 이용하는 주민들은 이에 대한 정보가 전혀 없는 실정이다. 따라서 무주군 먹는 물 오염도를 파악하기 위해서는 조사대상 범위, 취수원등을 충분히 고려하여 종합적인 정밀조사가 이루어야 한다 <표 7-15>.

<표 7-15> 먹는물 수질검사결과

구 분	검사결과	부적합사유
적합	6	-
부적합	5	- 위생적 처리상태 : 일반세균 3, 대장균군 2 - 지하수오염 : 질산성질소 1
계	11	

4. 무주군 토양오염도

가. 토양조사

1) 토양 분포 특성

무주군 전체에 대한 토양조사는 '79년과 '87년 2회에 걸쳐 시행되었으며 농촌진흥청에서 '79년에 농지 10,116ha에 대한 조사결과는 40개 토양상과 26개 토양통으로 분류하였고 그 후 '87년에 삼림토양을 포함하여 63,826ha의 조사에 서는 75개 토양상과 35개 토양통으로 분류하였다.

조사면적 총63,826ha중 경사 15%이상인 53,734ha가 임지로 분류되어 있어 침식에 매우 불리한 조건에 있으며 15% 미만의 경사를 가진 비교적 양호한 농

지의 경우는 모래함량이 높고 투수성이 양호하여 오염물질의 흡착이나 과잉의 비료성분을 오랜 기간 저장하여 서서히 분해시킬 수 있는 능력이 부족하여 용탈에 의한 지하수질에 나쁜 영향을 줄 수 있는 성질을 가지고 있다.

농경지 토양의 대표적인 토양통은 수암, 안릉, 월곡, 지곡통이며 임지는 덕산, 영동, 외산, 송산통이 많은 면적을 이룬다.

<표 7-16> 표면적이 높은 대표 토양 통 (단위 : ha)

농 지		산 지	
수암통	1,780	덕산통	13,895
안릉통	1,608	영동통	8,444
월곡통	1,727	외산통	6,747
지곡통	1,563	송산통	7,456
계	6,678	계	36,542

(1977. 농촌진흥청 무주군 정밀 토양도)

토양의 이화학적 성질과 비옥도 등은 생략하고 여기서는 지하수오염과 관련이 큰 부분만 검토하였다.

토양이 중금속으로 오염될 가능성이 많은 농공단지 주변의 농경지와 도로변 농경지에 대한 중금속 함량을 측정한 결과 아연함량은 천연부존량인 3.90 ppm 보다는 높게 나타나는 지역이 있지만 토양환경보전법에서 기준이 정해져 있지 아니하여 작물생육상태를 관찰해 보아도 잎의 황백화나 적갈색 반점의 징후를 발견할 수 있다.

납 함량은 안성면의 농공단지와 설천면 국도 농경지에서 천연부존량의 2배 가까운 농도가 검출되어 지속적인 조사가 이루어져야 하며, 이는 농공단지에서 금속표면처리, 합금 유약 등의 공정에서 발생할 수 있으므로 농공단지 가동시 잔류한 금속으로 판단되며 도로변 납함량은 유연휘발유의 영향으로 판단된다.

<표 7-17> 채취 토양시료의 화학적 성질

시 료	토양 종	깊이 (cm)	산도	유기물 (%)	전질소 (%)	유효 인산 (ppm)	염기 치환용량 (cmol/kg)	염기 포화도 (%)
안성면 이목리 논	월곡	0-20	5.9	5.45	0.32	42.9	12.10	51.5
		20-40	6.0	5.20	0.31	24.1	11.90	57.4
		40-60	6.1	6.72	0.23	12.2	12.71	52.4
안성면 상산리 논 (경지정리 지구)	각화	0-20	5.8	1.36	0.04	8.9	14.20	60.5
		20-40	6.1	1.62	0.08	5.3	12.60	65.2
		40-60	6.0	1.16	0.08	4.5	12.90	61.3
안성면 덕곡리 사과밭	안룡	0-20	6.5	2.37	0.14	153.3	10.3	73.6
		20-40	6.0	3.03	0.13	95.8	12.1	58.8
안성면 장기리 비닐하우스	월곡	0-20	6.5	3.94	0.21	312.3	12.8	98.7
		20-40	6.0	2.12	0.13	81.4	13.0	75.7
		40-60	5.8	1.77	0.09	44.7	10.0	76.4
무풍면 덕지리 배추밭	은곡	0-20	6.2	2.78	0.14	173.8	10.7	70.2
		20-40	6.2	1.57	0.04	13.8	8.9	65.5
		40-60	6.1	1.01	0.04	10.7	8.2	68.4
무풍면 덕지리 옥수수밭	안룡	0-20	5.5	3.99	0.29	342.1	12.3	71.7
		20-40	5.6	3.49	0.33	323.0	13.5	71.2
무풍면 지성리 논	매곡	0-20	5.9	2.93	0.16	30.6	7.2	66.4
		20-40	6.5	2.83	0.17	23.1	7.7	94.4
무풍면 지성리 포도밭	회곡	0-20	6.3	3.18	0.20	53.5	10.9	85.3
		20-40	6.0	2.58	0.07	24.5	10.9	72.8
		40-60	5.5	4.90	0.38	16.8	12.6	60.0
설천 장덕 고추밭	우곡	0-20	5.6	4.34	0.28	323.2	9.8	87.0
설천면 청량리 논	강서	0-20	5.5	5.61	0.42	104.9	9.3	51.2
		20-40	5.9	4.95	0.42	48.3	9.5	57.3
		40-60	6.0	2.02	0.20	9.5	6.6	65.3
설천면 청량리 논	석천	0-20	5.4	5.05	0.311	24.5	5.7	69.1
		20-40	5.6	4.55	0.28	23.6	5.1	71.8
		40-60	5.7	3.38	0.20	17.9	4.3	80.8

카드뮴 함량은 조사지점에서 0.03~0.14 ppm 범위로 나타나 천연부존량 0.13 ppm 보다 낮은 상태다. 크롬 함량은 천연부존량 0.36 ppm과 거의 비슷한 상태이므로 외부로부터 오염된 흔적은 없다고 판단된다.

<표 7-18> 주요 오염원지점 토양중 중금속 함량

(단위 : mg/kg)

시료지점	작목	아연	납	카드뮴	크롬	구리
안성면 농공단지부근 농경지	인삼	2.85	6.97	0.06	0.42	5.02
	논	4.74	7.94	0.03	0.62	7.06
	수박	4.57	9.34	0.09	0.53	6.49
	논	4.31	9.90	0.02	0.30	5.59
설천면 30번국도변 농경지	고추	15.6	8.90	0.14	0.41	5.23
	논	4.56	8.46	0.06	0.44	7.67
	논	6.58	7.00	0.03	0.25	4.22
무풍면 1089번지방도변 농경지	배추	8.67	1.95	0.07	0.57	2.39
	옥수수	15.9	2.23	0.14	1.09	3.51
	논	2.32	4.36	0.03	0.40	3.07
	포도	3.88	3.04	0.05	0.32	4.14
천연부존량		3.90	4.62	0.13	0.36	4.52
토양환경 보전법	우려기준	-	100	1.5	4	50
	대책기준	-	300	4	10	125

구리 함량은 안성농공단지 주변이 5.02~7.06 ppm으로 천연부존량 4.52 ppm보다 약간 높게 나타났으므로 작물생육과정에서 뿌리발육이 나쁘고 잎의 황백화경향이 발생하면 정밀조사를 실시해야 한다.

전반적으로 무주군내 토양은 토양환경보전법에서 정한 우려기준보다 훨씬 못 미치므로 작물의 생육이나 성장에 영향을 줄 수준은 아니며 지하수 등 2차 오염의 영향도 없을 것으로 판단되며 토양오염도는 작성치 않았다.

5. 수자원 오염현황도

금회 본연구에서는 작성기법만 제시하고 실제 작성 제시하지는 않았지만, 하천 BOD 부하량, 저수지 BOD 분포도, 지하수 오염분포도, 토양오염분포도를 각각 GIS 도면으로 작성하고 이를 중첩하여 지방자치단체별로 수자원 오염현황도로 관리한다면 수질보호정책 판단자료로서 효율성이 클 것으로 판단된다. 다만 금회 연구에서 세부지침까지 발전시키지 않았으며 이에 대한 추가 연구로 단일 작성안 수립이 필요하다.

여 백

제 8 장 잠재오염원 분포현황도

여 백

제 8 장 잠재오염원 분포현황도

제 1 절 잠재오염원 분포현황도

국내에서 발간된 대부분의 잠재오염원 분포현황도는 GIS 기법을 이용하여 오염원을 형태별로 구분하여 그 위치를 도면에 표시하고 있으며, D/B 내역에는 주소, 소유자, 오염내역 등 오염원에 대한 자세한 정보가 포함되어 있다. 특히 지표수 분야에서는 지하수 분야와 같은 오염원 내역에 오염원별 발생 부하량을 추가하고, 소하천별 BOD, SS, T-P, T-N 등 발생 부하량 크기를 표현하여 오염원의 수질오염 가능성 크기까지를 파악할 수 있는 도면으로 되어 있다.

본 연구에서는 이러한 지하수 및 지표수 잠재오염원 분포현황도의 장점과 지하수 오염취약성도에서의 Rating system을 도입하여 새로운 잠재오염원 분포현황도 작성기법을 제시하고자 한다.

1. 작성목적

잠재오염원 분포현황도는 지하수 잠재오염원 종류별로 각 각의 위치에 오염 발생 부하량, 오염원 처리형태 및 관리상태를 표준 등급화하여 실제 지표수 및 지하수에 오염 위협정도를 도면에 나타냄으로서, 도면상에서 지역별로 오염물질 처리를 감시하거나 처리의 우선 지역을 선정할 수 있도록 도면을 작성하는데 있다. 또한 기존의 지하수 잠재오염원도 작성기법을 이용하여, 잠재오염원의 위치 및 형태를 GIS를 이용 작성한 도면을 오염원 분포도라 하고, 이러한 도면으로부터 오염원별 규모, 오피수 처리형태 및 관리 상태를 등급화한 잠재오염원 분포도를 작성하여 실제 오염위험 정도를 나타내고자 하였다.

2. 작성방법

가. 조사대상 오염원

국내에서 활용중인 지하수 오염원 형태별 분류는 <표 8-1>과 같이 미국 OTA의 분류 기준에 따라 지하수 잠재오염원을 구분하고 있다. 그러나 미국 OTA 기준에 의한 오염원은 우리나라의 현실과 차이가 있어, 본 연구에서는 우리나라 도시지역과 농어촌 지역을 기준으로 지하수 및 지표수 수질오염의 빈도, 규모, 오염 영향이 큰 점오염원 등을 선택하여 사용코자 하였다. 이러한 기법은 향후 오염원이 증가하거나 새로운 형태의 오염원이 발생하는 경우는 필요시마다 수정·보완하여 사용할 수 있다. 농약, 비료, 산성비와 같은 비점오염원은 본 연구에서는 취급하지 않으므로 별도의 연구가 필요할 것이다.

본 연구에서 일괄가지로 대분류한 오염원은 미국 OTA 지하수 잠재오염원 분류기준에서 볼 때 1, 2, 4, 6군에 속한다.

- ① 일반농가
- ② 일반 오폐수 방류시설(숙박업소, 음식점 학교, 공공 시설등 집단주거 시설 포함)
- ③ 특정 오폐수 방류시설 (공장, 병원, 정비업소 포함)
- ④ 축산농가
- ⑤ 특정 점오염원 (주유소, 광산)
- ⑥ 토양침윤식 합병정화조 등 지하 대수층으로 직접 방류하는 시설
- ⑦ 생활 폐기물 매립장, 공동묘지등 침출수 방류시설

<표 8-1> 지하수환경에 악영향을 미치는 각종 잠재 오염원들 (6군33종)

종 류	개개시설물/ 활동에 따른			시설물질/ 활동종합		오염 원중 요도
	목적	공간 적 형태	시간 적 형태	오염물 질의 변화성	개수 양	
1 군: 오염물을 지하방류할 목적으로 시공된 시설물 지하침투(정화, 오수조, 지하침투식 정화조, 분뇨처리수의 침하조) 주입정(유해폐기물, 고농도 염수의 처분, 정화처리수, 인공함양, 살수채광, 현장채광) 지상살포(관개용수의 재살포, 슬러지의 비료용 지상살포, 유해 및 비유해 폐기물)	W	P ^h	Y	대	다	x
	W/NW	P	Y	중	다	x
	W	D, P	S	중	중	x
2 군: 저장, 처리, 처분시설로부터 누출된 오염물질 폐기물매립지(산업유해 및 비유해폐기물, 쓰레기)의 침출수 폐기물 야적 루기 주거지에서 쓰레기 무단 방치 지표저류 시설(유해 및 비유해 폐기물) 광산 폐석 (Waste tailing) 과 잡석 비포장 고체 폐기물 일시 야적장(Waste pile) 및 하치장 비폐기물의 비축 저장소(non-waste stock piles) 공동묘지 죽은 가축의 매장지 지상저장탱크(유류, 독성화학물질, 비독성) 지하저장탱크(유류, 독성화학물질, 비독성) 컨테이너 (유류, 독성화학물질) 소각장과 발파지 방사능폐기물 처분장	W		S	대 대 대 중 중 소 중 소 소 중 중 소 소	다 중 ? 다 ? ? ? ? ? 다 중 ? ? 소	x
	W	P ^h	S			x
	W	P ^h	S			x
	W	P ^h	S			x
	W	P ^h	S			x
	W	P ^h	S			x
	W	P ^h	S			x
	NW	P ^h	S			x
	W	P ^h	S			x
	W	P ^h	S			x
	W/NW	P ^h	R			x
	W/NW	P	R			x
	W/NW	P	R			x
	W	P	S			x
W	P	Y, S, R	x			
3 군: 운송 배관시설로부터 누출된 오염물질 배관(유해폐기물, 비유해폐기물, 송유관, 하수관)에서 누출 운송시설(차량, 기차, 선박)의 탱크 및 상하차시 (유해폐기물, 비유해폐기물) 누출	W/NW	P ^h	R	소	중	x
	W/NW	P ^h	R	중	중	x
4 군: 기타 활동으로 배출 및 살포된 오염물질 관개용수의 재순환 농약살포 비료 살포(농경지에서 사용한 유길 치 화학비료) 가축사육장(animal feeding operating)의 가축분뇨 및 폐수 제설, 제빙제 살포 도시지역의 강수 유출 광산개발에 따른 광산 폐수 대기오염물질의 지하침투 폐수 및 오수에 의해 오염된 지표수	NW			소 중	중 중	x x
	NW					
	NW					
	W	P ^h	R			
	NW	P ^h	R			
	W					
	W					
	W					
	W					
	NW					

<표 8-1> 지하수환경에 악영향을 미치는 각종 잠재 오염원들 (6군33종)(계속)

종 류	개개시설물/ 활동에 따른		시설물질/ 활동종합		오염 원중 요도
	목적	공간 적 형태	시간 적 형태	오염물 질의 변화성	
5 군: 대수층으로 오염물 유입경로를 제공하는 시설 채수정(유정, 가스정, 온천, 지열수 관정, 부적질 시공 관정) 폐기 방치된 우물(관측정, 시추공 및 공사용 대구경 착정공) 공사용 지하굴착					
6 군: 인간활동 또는 자연계에서 발생된 오염물질 지표수와 지하수의 상호 유동관계 자연적인 침출 대수층내로 해수침입과 염수의 역상승현상 (upconing)					
주: W : 폐기물 NW : 비폐기물 P : 점오염원 D : 비점오염원 F : 전면 오염원 Y : 연간 S : 계절적 R : 불규칙적					

자료 : 미국 OTA (1984년)

나. 오염원 조사방법

본 연구에서는 잠재오염원 분포도에 위치를 표시하고, D/B자료에 속성 등을 관리하고 있는 방식과 달리, 실제 오염물질 방류시스템을 확인하는 현장조사를 실시한 후 각 오염원의 실제 가동상태에 따라 등급지수를 부여하는 Rating 방식을 적용코자 하였다. 이는 오염물질의 발생 부하량과 정화처리시설의 유무보다는 실제 발생된 오염물질의 관리상태가 실제 오염상태를 반영하기 때문이다.

본 연구에서는 이러한 오염물질의 관리 상태별로 등급을 설정하여 실제 오염 위험성을 크기를 표현하고자 하며, 현장조사 시 매 오염원마다 사진을 찍어 비교함으로써 오염상태 변화에 따른 객관적인 판단 근거로 삼고자 하였다.

수질환경보전법 제 8조와 동 법 시행규칙 제 8조에 의하면, 폐수배출 허용 기준을 28개 항목으로 설정하고 있고, 지역별로는 4단계 (청정, 가, 나, 특례 지역)로 구분하여 적용하고 있으며, 또한 BOD, COD, SS의 경우는 폐수배출량

2,000m³/일 이상과 미만으로 구분함으로써 지역별, 규모별로 차등 적용하고 있다. 또한 동 법 제 52조의 규정과 하수도법 제 2조 제 5호의 규정에 의하면 폐수배출 허용기준이 개별배출시설에 적용되는 규제기준이라고 볼 때 방류수수질 기준이란 하수·폐수 및 분뇨처리시설과 같은 종말처리시설에 적용되는 기준으로 BOD, COD, SS 및 T-N, T-P등 5개 항목을 적용하는 것으로 되어있다.

이처럼 수질환경보전법에서 지역별로 배출허용기준이 다르고 종말처리시설에는 방류수 수질기준을 적용하지만, 본 연구에서는 오염원별 가중치 기준과 발생 오염물질 관리상태 별 등급 기준을 설정한 후 이 두가지 기준값을 곱하여 오염지수를 산출하고 이에 따라 잠재오염원 분포현황도를 작성하고자 하였다. 또한 오염지수별로 5가지 크기의 원모양으로 표시하고, 만약 각 각의 원이 서로 겹치는 경우는 합쳐지도록 하여 해당지역의 총 오염지수를 표시하여 지역별 오염우려의 심각성을 판독할 수 있도록 하였다.

다. 오염지수 산출

$$\text{오염지수} = \text{가중치 (오염부하)} \times \text{등급 (관리상태)}$$

본 잠재오염원 분포현황도 작성기법에서는 Rating기법을 이용하여 오염원별 발생부하를 표현해주는 가중치와 발생된 오염물질에 대한 관리상태를 수질오염 위험성 정도를 나타내는 등급으로 나타내어 오염지수를 산출토록 하였다.

오염원별 가중치는 지표수 수질분야에서 사용중인 발생 부하량을 기초로 개략적인 비율로 설정하였다. 관리상태별 등급 기준은 합병정화조와 같은 오폐수 처리시설이 완벽하게 가동되는 경우를 최소 등급으로 설정하였고, 재래식 혐기성 정화조 및 일반 생활하수처럼 처리시설이 없이 하수도로 방류하는 경우를 최대 등급으로 설정하여 위험 정도를 판독할 수 있도록 하였다. 이렇게 산출된 오염지수는 오염원 종류뿐 아니라 오염원의 발생크기와 실제 오염위험성을 나타내주고 있으며 이를 도면상에 표시하도록 하였다.

예를 들어 돼지 50 수를 사육하는 축산농가에서 분뇨 등에 의한 발생 부하량이 1,000 이라 할 때, 분뇨집하장에 천정시설이 되어 있고 오폐수 처리시설을 철저하게 가동하여 방류수 기준 이내의 처리수를 방류하는 경우는 등급을 '0'으로 설정함으로, 비록 발생량이 매우 크다 하더라도 수질 관리측면에서는 상대적으로 작게 고려될 수 있도록 하였다. 반면에 분뇨를 야적한 경우 비가 오는 경우 분뇨가 주변 지표수와 지하수로 곧바로 유입되는 경우는 '10'등급으로 설정함으로서, 발생량이 비록 적더라도 실제 해당위치 하류지역에 큰 오염 위험을 갖고 있다면 그 위험정도를 나타내도록 하여 실제 수질오염에 대처하기 위한 수질개선정책 판단자료로 활용하고자 한다.

조사결과는 최종 오염지수로 산출하게 되는데 산출방법은 오염부하 발생량을 비교하는 가중치와 발생오염원 관리상태를 나타내는 등급을 곱하여 오염지수를 산출한다.

제 2 절 오염원별 발생부하량 및 가중치

지표의 오염원은 지표수나 지하수에 동일하게 수질오염을 일으킨다. 오염원의 농도와 수량에 관한 오염 부하량 기준은 폐기물 및 지표수 수질분야에서 체계적으로 정립되어 있으므로 이를 그대로 적용코자 하였다. 우리나라에서 수질오염원에 관한 어원과 규제기준 등은 수질환경보전법에 명문화되어 있으므로 여기서는 참조사항으로 관련 법규를 검토하였다.

1. 수질환경보전법에 의한 수질규제기준

수질규제기준은 환경기준을 달성하기 위한 규제수단의 하나이며 그 대표적인 것으로는 배출허용기준과 방류수 수질기준이 있다.(※ 출처 : 환경부)

가. 배출허용기준

배출허용기준은 개별배출업소에 적용하는 규제기준으로서 환경기준과 하천의 자정능력을 감안하여 설정하고 있다. 우리나라는 수질환경보전법 제 8조 및 동 법 시행규칙 제 8조에서 28개항목에 대하여 폐수배출허용기준을 설정하고 있고, 지역별로 4단계(청정, 가, 나, 특례지역)로 구분하여 적용하고 있으며, 또한 BOD, COD, SS의 경우 폐수배출량 2,000㎥/일 이상과 미만으로 구분 설정함으로써 폐수배출허용기준을 지역별, 규모별로 차등 적용하고 있다.

현재 동법에 의하여 청정지역과 가, 나 지역으로 적용 고시된 지역과 기준별 배출허용기준은 다음과 같다 <표 8-2><표 8-3>.

<표 8-2> 배출허용기준 적용지역

구 분	계	청 정	가	나
면적(km ²)	99,262	44,969	41,434	12,859
구성비(%)	100	45.3	41.7	13.0

<표 8-3> 배출허용기준(단위 : mg/l)

구 분	1일 배출량 2,000㎥이상			1일 배출량 2,000㎥이하		
	BOD	COD	SS	BOD	COD	SS
청정지역	30이하	40이하	30이하	40이하	50이하	40이하
가 지역	60이하	70이하	60이하	80이하	90이하	80이하
나 지역	80이하	90이하	80이하	120이하	130이하	120이하
특례지역	30이하	40이하	30이하	30이하	40이하	30이하

BOD : 생물학적산소요구량, COD : 화학적산소요구량, SS : 부유물질량

※ 자료출처 : 환경부, 수질환경보전법

나. 방류수 수질기준

폐수 배출허용기준이 개별배출시설에 적용되는 규제기준이라고 볼 때 방류수수질기준이란 하수·폐수 및 분뇨처리시설과 같은 종말처리시설에 적용되는 기준으로 BOD, COD, SS 및 T-N, T-P등 5개 항목을 적용한다 <표 8-4>.

<표 8-4> 방류수 수질기준

(단위 : mg/l)

구 분	생물학적 산소요구량 (BOD)	화학적 산소요구량 (COD)	부유물질량 (SS)	기타
하수종말처리장	20이하	40이하	20이하	
폐수종말처리장 (농공단지 오. 폐수종말처리 시설을 포함한다)	30이하	40이하	30이하	총질소: 60이하 총인 : 8이하

※ 자료출처 : 환경부, 수질환경보전법

2. 오염원별 발생 부하량 가중치 설정

잠재오염원 분포현황도 작성의 목적은 오염원별로 상대적인 가중치로 지하수 오염위험 정도를 표현하기 위한 오염지수를 설정한 후 분포도면상에 오염위험 강도를 표현함으로써 수질보호 정책 판단자료로 활용하고자 한다. 즉 가정하수의 BOD 원단위가 약 50이고 축산 농가의 한우 분뇨 BOD 원단위가 140이라면 본 지하수잠재오염원 분포현황도에서는 가정하수와 한우의 오염지수를 약 1 : 3 정도의 개략적 비율로 설정하여 도면에 표시하고자 하였다. 만일 잠재오염원 분포현황도에서는 정확한 오염 원단위를 산출하여 표시하고자 한다면 방대한 량의 수질분석 등 조사량과 전문가와 예산이 투입되어 장기간에 걸쳐서 조사를 실시해야만 한다.

따라서 잠재오염원 분포현황도는 오염원의 형태와 관리상태를 신속하고 경제적인 방법으로 조사하여 어느지역에서 어느정도의 농도의 오염부하량이 실제 유출되고 있는가를 파악하고자 작성하는 것이다. 이러한 차원에서 기존 조사자료로부터 오염발생 부하량 원단위를 기초자료로 활용하여 각 오염원별 상대적인 비율을 설정하였다. 가중치를 설정하는 데에는 기존자료 배출허용기준 5개 항목중 BOD, T-N, T-P 3개 항목 원단위 값으로만 비교하여 설정하였다 <표 8-5>.

<표 8-5> 지하수오염예측도 잠재오염원별 오염부하 가중치

구 분		지하수 오염부하 기준	
		기준 단위량	오염기준 지수
일반 농가 가옥		10가구(50인)	10
일반 오폐수 방류 시설	학교, 관공서, 교도소, 수련원 음식점, 숙박업소 등	방류수 10톤/일 (방류수 20톤/ 일 경우 x 2)	20
특정 오폐수 방류업체	세차, 정비업소, 병원, 공장		40
축산농가	소, 돼지	10 두	50
	오리	100 수	
	닭	1000 수	
주유소, 유류저장, 광산, 공동묘지		개소당	200
쓰레기매립장		개소당	300
토양침윤식 오폐수처리시설		개소당	300

오염부하 원단위란 그 자체가 지역별로 차이가 있고 같은 오염원이라도 현재 상황에 따라 원단위 값이 다를 수 있으므로, 지역 특성상 동 연구에서 제시한 발생 부하량 원단위 기준과 상이하게 차이가 있는 지역에서는 발생부하 기준을 달리하여야 할 것이다. 하지만 본 연구에서 제시되는 오염지수 산출 기준, 잠재오염원 분포현황도 작성기법과 적용에 관한 기법은 그대로 활용할 수 있을 것이다. 여기서의 기준도 많은 자료 축적과 환경기준이 새로이 바뀔 때는 당연히 수정 보완되어야 한다.

오염원별 오염부하량 가중치 산정을 위한 오염부하 원단위 기준은 '96년 12월 (주)쌍방울건설에서 시행한 "무주 남대천의 수질 개선대책연구" 보고서와 농업기반공사 수질환경팀이 '98년 무주지역에서 조사한 발생 부하량 원단위 자료를 기초로 하였으며 기타 기존보고서들을 참조하여 오염원별 가중치를 설정하였다.

- 농가 가구당 원단위 : 농업기반공사에서 '96~'97 기간 동안 시행한 “농어촌지역 상수보존 및 오폐수처리에 관한 연구” 결과 3개 시범지구에서 조사한 우리나라 농촌 가정하수의 원단위 오염부하량을 참조
- 인구, 축산단지의 가축 : '96년 12월 (주)쌍방울건설에서 시행한 “무주남대천의 수질 개선대책연구” 보고서의 원단위 기준을 참조.

농업기반공사에서 '96~'97 기간 동안 시행한 “농어촌지역 상수보존 및 오폐수처리에 관한 연구” 결과 3개 시범지구에서 조사한 우리나라 농촌 가정하수의 원단위 오염부하량은 다음과 같다 <표 8-6>.

<표 8-6> 개별 농가 가정하수의 원단위 오염부하량 (약 3인 가족기준)

지역명	BOD	TN	TP	계	비고
도 고	32.9	5.59	.66	39.15	
천 북	30.6	4.91	.76	36.27	
북 일	24.2	3.13	.53	27.86	
평 균	29.2	4.5	.65	34.4	

(주)쌍방울건설의 “무주남대천의 수질 개선대책연구” 보고서상의 원단위 기준은 환경처의 “수질보전 장기 종합계획 보고서”(1991), 한국환경과학연구협의회의 “영양염류 원단위 산정에 관한 연구”(1991), 한국수자원공사에서 발표한 “다목적댐 저수지 수질조사 보고서”(1990) 및 국립환경연구원의 “전국 주요하천 기초조사”(1993)등의 자료를 기초로 산출한 것으로 되어 있다 <표 8-7>.

이와 같은 원단위 기준을 토대로 각종 오염원형태별로 가중치 즉, 상대적인 부하량 비율을 설정하였다.

<표 8-7> 오염원별 오염부하량 원단위

원단위		항 목	BOD	TN	TP	계
인구 (g/인·일)	시 가 화		62.0	7.75	1.63	71.38
	비시가화		51.0	7.75	1.63	60.38
	관광객	숙박객	28.5	1.16	2.04	31.70
		일기객	8.4	1.16	2.04	11.60
가축 (g/두·일)	한우		640.0	128.0	72.00	840.00
	젖소		170.0	162.5	187.0	519.50
	돼지		125.0	20.4	16.8	162.20
산 업 폐 수 (g/m ³)		청정지역:50 가지역:100				100.00

※ 자료출처 : (주)쌍방울건설의 “무주 남대천의 수질 개선대책연구” 보고서

3. 오염물질 관리상태 등급 설정

본 연구에서 오염관리상태를 등급화 하고자 하는 목적은 오염원 부하량의 규모와 상관없이 처리시설 운영상태 또는 분뇨 야적상태 등에 의하여 실제 수질오염 위험성이 크게 달라지며 이를 일정기준으로 평가 및 표현하고자 하였다. 각 오염원의 관리상태에 따라 등급을 적정하게 설정하기 위하여는 각 오염원별 관리상태별로 유출 부하량을 실측하여 통계적으로 처리함이 타당하지만, 현실적으로 예산 및 기간의 문제가 있어 본 연구에서는 기존자료를 토대로 영향을 크게 미치는 요소만을 고려하여 설정하였다. 예를 들어 일본 농무성에서 축사 정화처리 형태별로 실제 측정한 오수의 배출부하 원단위 자료를 보면 다음과 같다 <표 8-8>.

<표 8-8>과 같이 우사의 정화처리 방식이 간이와 고급으로 구분한 경우 오염부하 3개 항목발생의 원단위는 약 2배의 차이를 보이고 있으며, 돈사 고급배수처리의 경우 발생부하 원단위는 37, 돈사 수세식 배수인 경우는 285로서 약 7배의 등급차를 보이고 있다.

<표 8-8> 축사의 정화처리 방법별 유출부하 원단위 (g/두·일)

원단위 \ 항목		SS	COD	BOD	TN	TP	BOD, TN, TP 합계
소	우사 간이 정화처리 방식		137	155	109	14	278
	우사 고급 정화처리방식		13.7	15.5	87	8.4	110.9
	우사 배수	38	139	135	53	1.2	186.8
돼지	돈사 배수 고급처리	13	9	9	25	3	37
	돈사 치기 간이처리		45	53	25	8	86
	돈사 치기 고급처리		4.5	5.3	20	4.8	30.1
	돈사 수세식 배수		163	228	54	3.1	285.1
	돈사 비수세식 배수		26	49	24	1	74
	돈사 배수	9	8	10	7.4	.59	76.4

이는 본 연구에서 제시한 오염예측도 작성기법 작성 목적이 정량적 오염부하량 산출보다는 실제의 수질오염 위험성을 등급별로 나타내는 것이므로 각 오염원별 관리상태 전체 등급은 10 등급을 원칙으로 하여 관리상태별로 구분하였다.

가. 농가 가옥 관리등급

생활오수를 방류하고 있는 농가는 1가구 5인 가족 (실제 농가 평균은 2~3인)을 단위농가로 10가구를 단위 기준으로 가중치 10을 주었으며, 등급은 오폐수 정화조 시설 형태별로 3 등급으로 구분하였다 <표 8-9>.

오염원 분포현황 작성에서 일반농가의 경우는 농가의 밀집정도가 중요하며 오염지수는 합병정화조 설치를 가장 오염이 낮은 것으로 설정하였고, 재래식 혐기성 정화조 설치 이후 하천 방류 시는 최대 오염위험으로 또한 탱크형으로 주기적인 수거식은 중간값으로 등급을 설정하였다. 폐수배관을 별도 설치하여 종말처리장으로 유입되는 경우는 배관에서의 누수여부가 있으나 오염원에서 아예 제외하였다.

<표 8-9> 일반농가 관리상태 등급

구 분	가중치	세부 조사 기준	등급
일반주거시설 10 가구 (50인 기준) 당	10	합병 정화조 이후 방류	1
		협기성 부패조 이후 방류	10
		정화조 없는 탱크형	5

나. 일반 및 특정 오폐수 방류시설

일반 및 특정 오폐수 방류 시설에 대하여는 방류수량 1일 10톤을 기준으로 단위 가중치는 20과 40을 각각 설정하였으며, 만일 현장조사 과정에서 방류수량 확인이 어려운 경우는 주거인원 또는 근무인원수를 파악하여 인구 100인당 일반 오수 방류시설은 가중치 20으로 특정오폐수 방류시설은 가중치 40을 할당한다. 방류수량 증가에 따라 가중치는 증가되며, 이 역시 농가의 경우처럼 해당 시설물에서의 오폐수 전량이 오수관로 시설을 통하여 하수종말처리장으로 유입 처리하는 경우는 오염원 자체를 조사대상에서 제외한다 <표 8-10>.

<표 8-10> 오폐수 방류시설 오염부하 등급 설정

구 분	가중치	조사 항목	관리상태	등급
일반오폐수 방류업체 방류수 10톤/일 기준 (방류수 20톤인 경우 x2)	20	개별 정화처리시설 설치 및 운영	합병정화조	1
			재래식 탱크	5
			협기성부패조	10
		방류수 수질	수질기준 이내	1
			수질기준 2-5배	5
			수질기준 5배 이상	10
특정오폐수 방류업체 방류수 10톤/일 기준 (방류수 20톤인 경우 x2)	40	개별 정화처리시설 설치 및 운영	합병정화조	1
			재래식 탱크	5
			협기성부패조	10
		방류수 수질	수질기준 이내	1
			수질기준 2-5배	5
			수질기준 5배 이상	10

일반 오폐수 방류시설 : 학교, 관공서, 교도소, 수련원, 음식점, 숙박업소 등
특정 오폐수 방류시설 : 세차장, 정비업소, 병원, 공장 등 유사시설

방류수 수질기준은 기 언급된 바와 같이 BOD, T-N, T-P 기준이며, 현장조사 시 모든 오염원 배출수를 조사하는 것은 현실적으로 어려움이 따르므로 오염원 형태별 수 개소씩 시범지구를 선정 수질분석을 실시하며, 이때 시료 채취과정에서 현장측정이 가능한 DO, EC, pH 값을 실내분석하여 상대적으로 비교하여 현장 측정값으로 비례 적용한다.

오염원이 유역 상류부에 있는 경우와 하류부에 있는 경우도 지하수 오염 위험성에서는 크게 영향을 미치므로 조사항목으로 채택코자 하였으나 이는 최종 오염지수가 도면상에 표시되므로 제외기로 하였다. 또한 방류수 수질기준과 정화조 형태에 따른 2개 조사항목의 등급을 평균하여 해당 오염원의 최종 등급으로 결정한다.

다. 축산농가

지하수 잠재오염원 중 가장 대표적인 것은 축산 분뇨와 쓰레기 매립장 침출수로, 그 중에서도 돼지 분뇨는 발생량도 많고 분뇨가 혼합되어 있어 처리가 용이치 않으며 현재에도 많은 분야에서 정화처리 기법을 연구 중에 있다.

또한 일부에서는 국내외의 다양한 처리기법 및 처리 시설이 설치되어 있으나, 과다한 운영비, 고장, 효율감소 등의 문제로 설치 후 적정 운영이 미흡한 상태이다. 사용자의 의식수준도 미흡하여 금회 조사시 확인된 바에 의하면 분뇨 집하장에서 호우 시 빗물에 따라 흘러나가는 처리장이 많았다. 이러한 경우는 직접적으로 지표수 오염은 물론 지하수까지도 오염의 위협이 심각한 상태이다. 따라서 정화처리 효율이 높고 설치 및 운영비가 저렴한 정화처리시설 개발과 국가적인 설치 지원 등에 의한 근본적인 대책이 있어야 한다.

소는 일반적으로 분뇨가 분리 수거되며 분은 일정기간 야적 후 대부분 퇴비 등으로 활용되고 있다. 분뇨 야적장의 경우는 천장시설이 매우 중요하지만 일

반적으로 축사 주변 논밭 등에 야적하는 경우가 많아 비가 올 때 주변 지표수와 지하수의 직접적인 오염원이 되고 있다.

이처럼 축산단지 오염원들은 대부분 비가 올 때 빗물에 섞여 하류부 토양과 지하수 하천을 오염시키며, 현지주민의 반대 등으로 인하여 축산농가는 거주 주민이 적은 중산간 계곡, 즉 유역 상류부로 이동하는 경향이 많으며 때문에 오염문제의 심각성을 더해주고 있다. 본 잠재오염원 분포현황도에서는 이러한 점을 고려하여 조사항목으로 설정하였다. 오리사육 시설도 100수 이상 집단 사육시는 심각한 오염원으로 대두되고 있으며 양계장은 계분이 건조한 상태로 야적시설만 덮게 처리하면 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다.

이러한 지하수에 오염위협이 큰 축산농가의 오염 위협 정도를 축산 규모에 따라 오염 가중치를 배가토록 하였으며 관리상태 등급은 아래 표에서와 같이 설정하였다 <표 8-11>.

<표 8-11> 축산농가 오염부하 등급 설정

구 분	가중치	조사 항목	관리상태	등급
축산농가 소 : 10두 돼지: 10두 오리:100수 닭 :1000수	50	강우시 분뇨 유출 확인시	유출 확인	10
		분뇨 집하장 바닥 불투수재 처리	불투수처리	1
			일부 또는 불량처리	5
			미처리	10
		축산시설 위치	하류부, 하천변	1
			계곡 중류 혹은 마을	5
계곡상류부	10			
분뇨집하장 우수 유입방지 (천장) 시설	유입방지 처리	1		
	천장 불량(일부 시설)	5		
	미처리	10		
분뇨 정화처리 시설 설치 및 운영상태	처리효율 양호	1		
	일부처리 또는 불량처리	5		
		처리시설 미흡	10	

축산단지 조사는 반드시 비 오는 날 현장확인을 시행해야 하며, 이 때 야적장으로부터 빗물이 흘러나오던가 오폐수가 방류될 시는 기타 조사항목 등급 여

부에 상관없이 최고 등급인 10을 적용토록 한다.

본 잠재오염원분포도에서는 소, 돼지, 오리, 닭을 명시하였으나 최근 개, 사슴, 멧돼지, 염소 등 가축 사육이 다양화되고 있으므로 이 경우 사육규모가 커서 오염유발시설로 간주해야 하는 경우는 유사 가축의 가중치를 부여하고 그 기준을 명시해주도록 한다. 각 조사항목별 등급은 여타 오염원에서와 같이 4개 항목 등급을 평균하여 결정한다.

라. 특정오염원

본 연구에서는 특정 오염원으로 농어촌지역에 흔히 산재하고 있는 주유소, 유류저장시설, 광산, 공동묘지, 쓰레기매립장, 토양침윤식 오폐수 처리시설을 선정하였으며 등급은 아래와 같이 설정하였다 <표 8-12>.

<표 8-12> 특정오염원 오염부하 등급 설정

구 분		가중치	조사 항목	관리상태	등급
개소당	주유소, 유류저장소, 공동묘지, 광산	200	오염감시정 등 수질감시 시설	설치 운영	1
				미설치	10
			시설물 위치	하류부, 하천변	1
				계곡 중류 혹은 마을 계곡상류부	5 10
개소당	쓰레기 매립장	300	매립장 시설	위생매립장	1
				비위생매립장	10
			침출수 여부	침출수 미확인	1
				침출수 확인	10
매립장 위치	하류부, 하천변	1			
	계곡 중류 혹은 마을 계곡상류부	5 10			
개소당	토양침윤식 마을오폐수 처리시설	300	오염감시정 등 관측시설	설치 운영	1
				미설치	10
			시설물 위치	하류부, 하천변	1
				계곡 중류 혹은 마을 계곡상류부	5 10

현장조사자는 매 조사 시 잠재오염원분포도의 목적을 의식하고 또한 활용자

의 입장에서 조사에 참여하여야 한다. 예를 들어 비위생 쓰레기 매립장, 공동묘지 같은 경우 설치 후 100년 이상이 경과하여 거의 오염원으로서 역할 여부가 의심스러울 경우에도 기계적으로 본 기법을 적용할 필요는 없다. 이러한 경우는 하류부 관정에서 수질시료를 채취하여 정밀 분석 후 오염 징후가 없다면 오염원에서 제외하여도 무방하다.

본 오염원 항목에서도 조사항목이 한가지 이상일 때는 각각의 등급을 평균하여 최종 등급으로 사용한다.

4. 오염지수 도면표시 및 판정기준

최종 잠재오염원지수는 5단계로 구분하고 심볼 크기를 달리하여 도면에 표시하고자 한다 <표 8-13>.

<표 8-13> 최종 잠재오염원 지수 등급

구 분	지하수 환경오염 판별				
	안전	적정	오염취약	감시필요	조치필요
오염지수	20 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80이상

예를들어 오염지수가 70으로 오염 감시가 필요한 것으로 판정되는 경우를 각 오염원별 보면 다음과 같다 <표 8-14>.

<표 8-14> 오염지수 70인 경우의 각 오염원

구 분	감시대상 판정 (오염지수 60-80)
일반 농가 가옥	농가 70가구 (또는 350인)가 모여있는 마을에서 오폐수를 무처리 또는 불량처리 후 하천 방류할 때
학교, 관공서, 교도소, 수련원 음식점, 숙박업소 등 일반 오폐수 방류 시설	학교, 관공서 교도소 수련원은 350인 이상이 오폐수 처리시설 없이 방류할 때 또는 오폐수 35톤/일을 무처리 또는 불량처리 후 방류할 때

구 분		감시대상 판정 (오염지수 60-80)
세차, 정비업소, 병원, 공장 등 특정 오폐수 방류시설		공장등에서 오폐수 18톤/일 이상을 무처리 또는 불량처리 후 방류할 때
축산농가	소	14 두 이상 키우는 농가에서 오폐수처리 시 설이 없거나 불량하게 처리하는 경우
	돼지	“
	오리	오리 140 수 “
	닭	닭 1400 수 “
주유소, 유류저장, 광산, 공동묘지		침출수 집수 처리 시설 또는 감시정 시설이 있으나 효율 65% 미만인 경우나 아예 시설이 없는 경우
쓰레기매립장		침출수 집수 처리 시설 또는 감시정 시설이 있으나 효율 80% 미만인 경우나 아예 시설이 없는 경우
토양침윤식 오폐수처리시설		오폐수정화시설의 정화효율 80% 미만인 경우

제 3 절 시범지구 잠재오염원 분포현황도

1. 시범지구

잠재오염원 분포현황도 작성은 조사지역 내의 모든 오염원을 대상으로 조사를 실시해야 하므로, 본 연구에서는 오염원에 대한 체계적인 조사가 행해진 전라북도 무주지구를 대상으로 분석하였다.

2. 조사내역

잠재오염원조사는 오염원별 조사를 실시하지 않고 군 내 모든 마을을 탐문하며 전체 오염원 조사를 실시하였고, 특히 쓰레기 매립장, 축산농가 등은 오폐수 시설 및 관리상태를 전수 조사하고 사진 촬영하였다. 다만 농가가옥은 개별조사하지 않고 위치 확인 후, 통계자료를 활용 설치된 정화시설의 평균 값을 이용하였다. 축산농가 자료는 무주군 농업기술센터의 통계자료를 이용하였고, 음식점 및 학교 등의 합병정화조 설치 내역 및 쓰레기 매립장 시설 규모와 내

역은 무주군 환경과의 자료를 기초로 현장조사 시 확인하였다.

가. 농가 가옥 조사

생활오수를 방류하고 있는 가옥은 밀집된 가옥 단위로 10가구를 기준으로 가중치 10을 부여하였고, 가구수에 따라 추가적인 가중치를 계상하였다. 각 등급은 앞장에서 기술한 바와 같이 무주군 통계연보 평균값을 적용하였다.

무주군내의 분뇨처리 대상지구는 6개 면으로, 전체 행정구역내 세대수는 10,121세대로 인구는 30,866명이다. 분뇨발생인구는 수거식을 사용하는 인구가 16,400명, 수세식을 사용하는 인구가 14,400명(46%)으로, 무주군에서 하수처리에 의하여 분뇨를 처리하는 지역은 없다 <표 8-15>.

<표 8-15> 무주군 농가 오수·분뇨발생원 및 수세화율 (인구 단위 : 천명)

지역 (시·군)	총 계			하수처리구역외지역					수세화율 (%)
	면적(k㎡)	가구수(호)	인구	면적(k㎡)	가구수(호)	인 구			
						소계	수세식	수거식	
무주군	631.59	10,121	30,8	631.59	10,121	30,8	14,4	16,4	46
무주읍	79.41	3,234	10,3	79.41	3,234	10,3	6,4	3,7	62
무풍면	91.21	1,055	3,	91.21	1,055	3,0	1,0	2,0	37
설천면	157.83	1,728	5,3	157.83	1,728	5,3	4,3	1,0	80
적상면	135.83	1,237	3,6	135.82	1,237	3,6	540	3,111	14
안성면	97.31	2,096	6,6	97.31	2,096	6,6	1,7	4,9	26
부남면	70.01	717	2,0	70.01	717	2,0	0,2	1,7	14

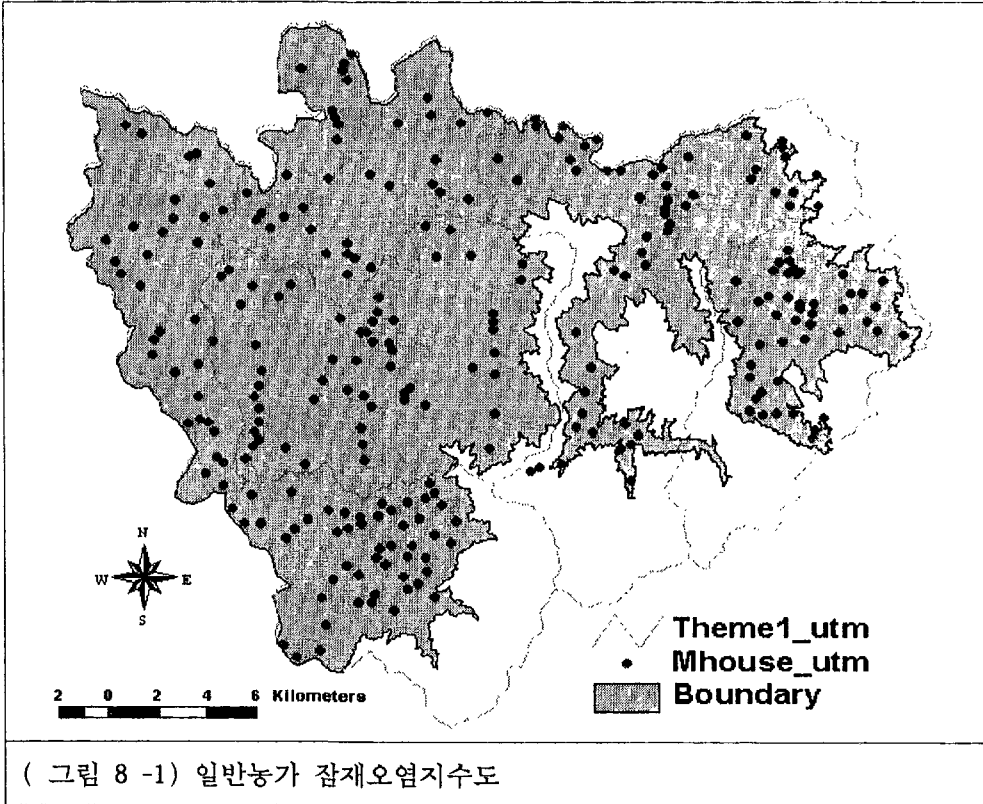
자료 : '97년도 오수·분뇨 및 축산폐수처리실적 보고, 1998, 무주군

<표 8-15>에서 무주읍과 안성면 관내 하수처리구역은 기 제외된 자료이므로 아래 식에 의하여 각 마을마다 가구수에 등급 5를 일률적으로 적용하여 농가 오폐수에 의한 오염지수를 산출하였다.

- 농가가옥 오염물질 관리상태 등급 산정 (10가구 기준)

$$(\text{협기성부폐조 } 10 \times 0.46 + \text{수거식 } 5 \times 0.53) / 2 = 4.6 \approx 5$$

무주군 내에서 발생하는 분뇨량은 1일 30.8m³로 일반 재래식 화장실 16.4m³/일, 정화조 오니 14.4m³/일이었다. 전체 발생량 30.8m³중에 23.6m³/일인 77%만이 수거·처리되고 있다.



나. 일반 및 특정 오폐수 방류시설

◦ 일반 오폐수 방류시설 : 학교, 관공서, 교도소, 수련원, 음식점, 숙박업소 등

◦ 특정 오폐수 방류시설 : 세차장, 정비업소, 병원, 공장 등 유사시설

일반 및 특정 오폐수 방류시설에 대하여는 무주군 환경과의 정화처리조 시

시설현황 자료를 이용하여, 직접 현장 확인을 통한 오염물질 관리상태 등급을 산정하는 방식으로 조사를 시행하였으며, 시설현황 자료에 기재되지 않은 시설물에 대하여는 현장 확인에 따라 추가로 조사하였다 <표 8-16>.

<표 8-16> 무주군 오수분뇨 처리시설 현황

구 분	오수정화시설			정 화 조			합병정화조
	계	하수처리 구역내	기타지역	계	하수처리 구역내	기타지역	
계	86	7	79	1,393	65	1,328	31
부주읍	23	0	23	555		555	7
무풍면	9	0	9	150		150	5
설천면	30	7	23	359	65	294	12
적상면	14	0	14	125		125	3
안성면	8	0	8	161		161	4
부남면	2	0	2	43		43	0

※ 자료 출처 : 무주군 환경과

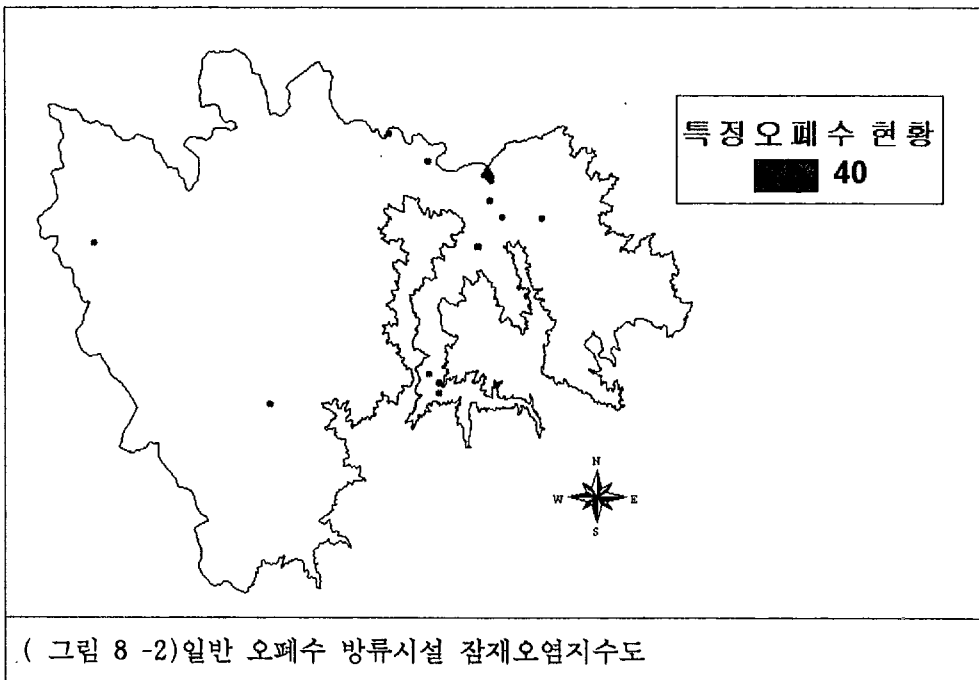
무주군 관내 86개소의 정화시설은 접촉폭기법이 대부분으로 미생물 혐기여상, 살수여상법 등의 처리기법이 이용되었으며, 31개소의 합병정화조는 대부분이 접촉산화 또는 장기폭기법 시설물이었다. 동 시설물들은 대부분이 숙박시설, 학교, 연립주택, 음식점에 설치된 시설물로서, 이렇게 설치된 정화처리 시설에 대하여는 정기적인 수질검사로 정화처리효과 검증 및 자료관리가 중요하다. 본 조사 시 시설현황 자료에 누락된 정화처리 시설은 부록에 수록하였다.

<표 8-17>에서와 같이 처리용량으로부터는 취득된 가중치 값과 현장조사에서 산출된 등급값을 곱하여 각 오염원별 오염지수를 산출하였고 이를 도면에 표시하였다. 또한 일반 오폐수와 특정 오폐수 시설은 단위 가중치 값만이 다를 뿐 기타 산출방식은 동일하다.

〈표 8-17〉 합병정화조 시설현황 조사내역 예

번호	위치 및 설치자	면적 (㎡)	용도	처리용량		시공업체	현장조사		등급
				(톤)	가중치		정화조	수질	
1	무주, 읍내, 881 신오장	49.91	음식점	15	30	후소환경	○	X	5
2	무주, 당산, 718 김승길	117.3	“	40	80	대진환경	○	X	5
3	무주, 읍내, 249-5김경만	27.65	“	10	20	태광산업	○	X	5
4	무주, 읍내, 1222 이희자	66	식품접객	20	40	승원	○	X	5
5	무주, 읍내, 1222 이희자	33	일반음식	10	20	후소환경	○	X	5
6	무주, 읍내, 299-2 변윤섭	264	“	80	160	대진환경	○	X	5
7	무주, 당산, 1642 쌍용건설	663	사무실	30	60	대진환경	○	X	5

※ 현장조사 등급 범례 - ○ : 1, △ : 5, X : 10



다. 축산농가

'97년과 '98년 말 현재 무주군 농업기술센터에 신고된 가축 사육 현황은 아래 표와 같다 <표 8-18><표 8-19>. 사육 현황으로는 중소규모의 가축이 단지화

되어 사육되고 있으며, 최근 소값 폭락으로 '98년 말 현재의 사육두수가 많이 감소한 것으로 판단된다.

<표 8-18> '97년 말 무주군 주요 가축 사육 농가

구 분	돼지		오리		소		젓 소		닭		사슴	
	농가	사육수	농가	사육수	농가	사육수	농가	사육수	농가	사육수	농가	사육수
계	87	8,410	38	10,783	2,627	11,854	14	374	323	27,274	20	195
무주읍	28	1,355	13	9,585	454	2,315	2	69	49	24,327	4	42
무풍면	7	1,992	8	83	296	1,065	5	121	59	449	5	26
설천면	11	56	3	1,037	331	872	-	-	68	895	4	14
적상면	19	2,797	2	23	483	2,544	2	41	31	492	4	62
안성면	15	2,052	7	46	887	4,458	5	143	60	686	3	51
부남면	7	158	5	9	176	600	-	-	56	425	-	-

※ 자료 출처 : '97년 무주군 통계연보

<표 8-19> '98년 말 무주군 주요 가축 사육 농가

구 분	돼지		소		젓 소		닭		산 양	
	농가수	사육수	농가수	사육수	농가수	사육수	농가수	사육수	농가수	사육수
계	62	12,005	2,099	9,856	14	608	257	121,038	458	2,723
무주읍	9	1,483	360	1,891	2	85	40	93,251	30	240
무풍면	10	1,955	257	1,051	5	189	28	376	86	727
설천면	7	47	257	775	-	-	51	550	57	385
적상면	11	4,144	386	1,973	2	77	51	1,023	74	668
안성면	20	4,136	688	3,670	5	257	58	25,514	137	401
부남면	5	240	151	496	-	-	29	324	74	302

※ 자료 출처 : '98년 무주군

금회조사에서 지하수는 물론 지표수 수질오염에 가장 위협이 되는 축산농은 돼지와 오리 사육농가로 밝혀졌는데, 젓소 등 나머지 동물들은 분뇨의 분리가

가능하므로 오염처리 대책 수립이 비교적 용이하지만, 돼지와 오리는 기 개발 및 도입된 분뇨처리 기술과 장비가 고가로서 아직은 실용화되지 못한 상태이다.

'97년도 현재를 기준으로 본 지구의 축산농가 중 12% 만이 축산폐수를 정화 처리하고 있었으며, 나머지 농가들은 대부분 퇴비화 또는 매립하고 있었다. 본 조사결과 축산분뇨의 퇴비화가 수자원의 오염과 상관관계가 있다고 밝히지는 못하였으나, 지표 하에 비위생적으로 매립하는 것은 향후 지하수의 잠재적 오염원으로 남을 것으로 판단된다.

실제적인 예로 무풍면 철목리의 소, 돼지사육 농가의 경우는 하천에 인접하면서도 분뇨 야적시설 바닥처리가 미흡하여 비가 올 경우 하천으로의 직접적인 방류로 심각한 오염이 예상되며, 적상면 사천리 사내리 축사의 경우도 분처리 시설 운영이 미흡하였다. 이러한 축산농가를 적절히 지원 및 감독하여 분뇨처리시설 보완을 유도하지 않으면 향후 남대천과 지하수의 오염은 막을 수가 없을 것이다.

지표수와 지하수오염원으로 가장 우려가 되는 무주군 내 돼지 사육 마리수는 '92년 최대 약 20,000수 가까이 까지 증가했다가, '96년 8,410수로 감소하여 수질오염 측면에서는 바람직한 현상이라 하겠다. 그러나 집단 사육시 심각한 폐수오염을 발생시킬 수 있는 오리 사육 마리수는 '92년 약 800수에서 '96년 현재 약 10,783수로 약 10배 이상 증가한 것으로 조사되었다. 금번 현장조사에서 확인한 설천면 소천리 계곡의 오리 사육농가는 계곡 상류부에 위치하여 폐수처리시설을 갖추지 않을 경우 계곡의 지하수는 물론 남대천까지 오염시킬 위험이 있어, 행정부서와 사육농가의 긴밀한 협조로 설치비와 운영비가 저렴한 오폐수 처리시설의 설치에 대한 정부차원의 지원과 행정당국의 관심이 강화되어야 할 것으로 판단된다.

무주군 통계자료에 의하면 '98년 축산 분뇨발생 총량은 다음과 같다 <표 8-20>.

<표 8-20> 가축사육두수 및 축산 분뇨발생량 (1998, 무주군 통계 연보)

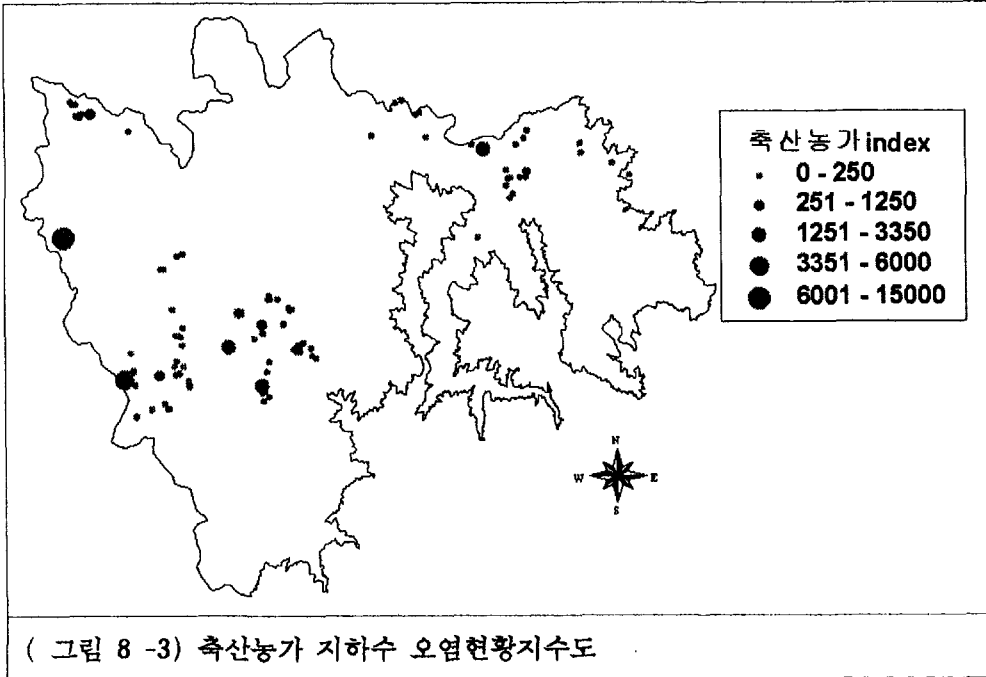
구 분		사육두수	년 간 분뇨 발생량(천M/T)	비료성분량 (M/T)
소	한우	11,854두	67,064	질소 : 322, 인산 : 179, 가리 : 429
	젖소	374두	4,504	
돼 지		8,410두	17,650	질소 : 123, 인산 : 106, 가리 : 70
닭		27,274수	995	질소 : 10, 인산 : 8, 가리 : 5
계			90,213	질소 : 455, 인산 : 293, 가리 : 504

<표 8-21>은 무주군 부남면에서의 현장조사자료로 매 오염원마다 사진촬영과 관리상태 등급을 설정하였으며 기타 특이사항도 기록하였다. 조사자료는 부록에 수록하였으며 이러한 축산단지 가중치와 등급을 곱하여 오염지수로 계산하였고, 이를 GIS도면상에 표시하였다.

<표 8-21> 무주 부남면 축산농가 조사표 (일부)

번호	위치	소유자	전화 번호	내역/ 사육두수	바닥	천정	분뇨 처리	유출 확인	특이사항	등급
1	상평			폐사	△	○	△		개사육했던 지역, 현재 운영 중지	4
2	상평			오리 20	X	△	X		상태 불량	7
3	상평			폐돈사	△	△	△		상태 불량	5
4	하평	길홍섭		소 7	○	○	X			4
5	"			폐사	△	△	△		철거중	5
6	"			개 10	△	△	X		상태 불량	7
7	"	송창명		소 10	X	○	X		집 안에서 사육	7
8	"	강기연		소 20	○	○	△		분뇨 모아서 따로 처리	3
9	"	박덕만		개 100	○	○	△		미확인	3
10	가정	백송태		소 10	X	○	X		집에서 사육	7
11	유평			평·개 3,000	X	X	X	저수지 물사용	고려평농장, 야산방목	10
12	식암			폐사	○	△	△		방치된 상태, 돈 30두 정도 규모	4
13	당곡입구	해오름농장		돼지 1,200	○	○	○	대형	분뇨처리장 공사 예정, 현재는 수거처리	1
14	이교동	최장욱		소 6	○	○	X			4
15	이교동	최장술		소 5	X	○	X			7

※ X : 10, △ : 5, ○ : 1



라. 쓰레기 매립장

무주군 관내 쓰레기 매립지는 각 면단위 별로 소규모 생활폐기물의 매립시설로 11개소 정도가 운영되었으며 대부분 사용이 종료되어 복토 후 밭으로 활용 또는 방치되고 있었고, 현재는 2개소가 운영중에 있다. 그러나 현재 운영 중인 매립장들도 침출수에 대한 처리대책이 없는 비위생 매립장이다 <표 8-22>.

매립이 종료된 지구 중 3개소를 답사해 본 결과 무풍면과 안성면의 위치는 하천변이었으며, 설천면의 위치는 계곡내 소하천 변이었다. 또한 바다척리가 되지 않은 채 매립된 상태로 침출수는 지하수와 지표수 오염원으로 작용할 우려가 크므로, 향후 본 지구에 대한 굴착 후 재처리가 요망된다. 특히 설천면과 무풍면의 위치는 반딧불의 서식지 상류부로서 남대천의 수질오염원이 되고있다.

〈표 8-22〉 무주군 매립종료 매립지 9개소 중 3개소 (무주군 환경과)

매립지 위치	면적(m ²)	매립고(m)	사용 기간	쓰레기 종류	현황
무풍면 현내리 하천	1,094	2	'88.1.1~'90.12.31	생활쓰레기	적환장
설천면 청량리 7-2번지 답	1,207	3	'89.4.1~'91.3.31	생활쓰레기	밭
안성면 장기리 1272번지 임야	2,738	3	'87.1.10~'99.12.31	생활쓰레기	적환장

현재 가동중인 매립장은 구천동과 대차리 2개소가 있으며, 무주리조트의 경우는 별도의 개인 매립장과 오폐수시설을 운영하고 있어 비교적 철저한 시공 및 운영중에 있었다. 무주군에서는 새로운 대규모 위생매립장 건설계획을 수립 '99년부터 건설 중에 있다.

1) 구천동 군 매립장

매립이 종료된 후 사후관리계획에 의하면 구천동 군매립장은 공원으로 개발 될 예정이다. 군 매립장은 생활폐기물 매립장으로서 주로 생활폐기물을 매립하였고, 현재 처리되지 않고 방류되는 침출수의 성상도 주변을 오염시킬 만큼 오염부하가 크지 않기 때문에 공원으로 개발은 적절하다고 판단된다. 현재는 군 매립장의 침출수 일부가 계곡으로 누수되고 있었다 (그림 8-4).

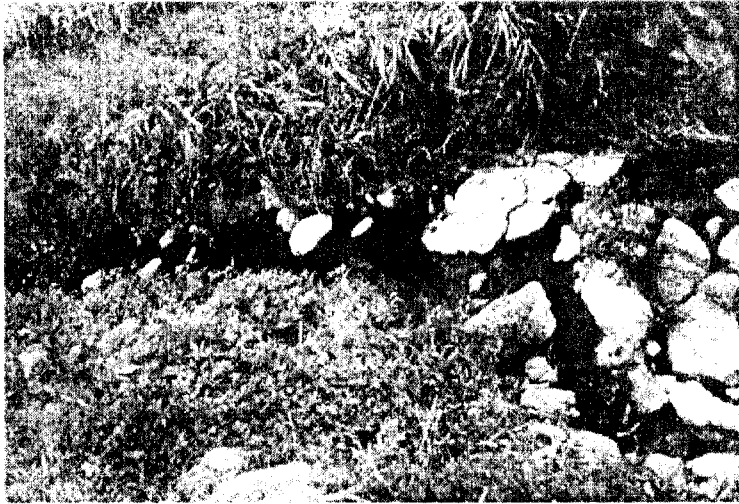


(그림 8-4) 계곡으로 누수되는 군 매립장 침출수

2) 대차리 매립장

무주군에서는 폐기물 종합처리장이 세워지면 매립된 폐기물을 굴착·선별하여 폐기물 종합처리장의 매립장으로 이동시킬 계획을 세우고 있다. 그러나, 굴착과 선별과정 (landfill mining)은 많은 예산이 사용된다. 따라서 대차리매립장을 굴착하지 않고 지하수 검사공을 뚫어 지하수가 오염되지 않았을 경우 사후관리 계획에 따라 그대로 마무리 하는 것이 적절하다고 판단된다.

대차리 매립장 부근의 하천과 매립장 주변에 위치한 군부대 앞의 하천에서 실험 분석 결과 침출수에 의한 오염이 나타났다. 따라서 매립장 침출수 처리가 필요하다고 판단된다 (그림 8-5).



(그림 8-5) 대차리 매립장 침출수에 의하여 오염된 하천

3) 무주리조트 매립장

무주리조트 매립장 침출수 분석은 1차 처리를 거친 침출수로 계곡수로 배출되지 않고 오수처리장으로 이송되어 최종 처리되고 있다. 무주리조트 매립장 주변을 흐르는 계곡수에 대한 수질분석 결과는 별다른 오염이 없는 것으로 보아 리조트매립장의

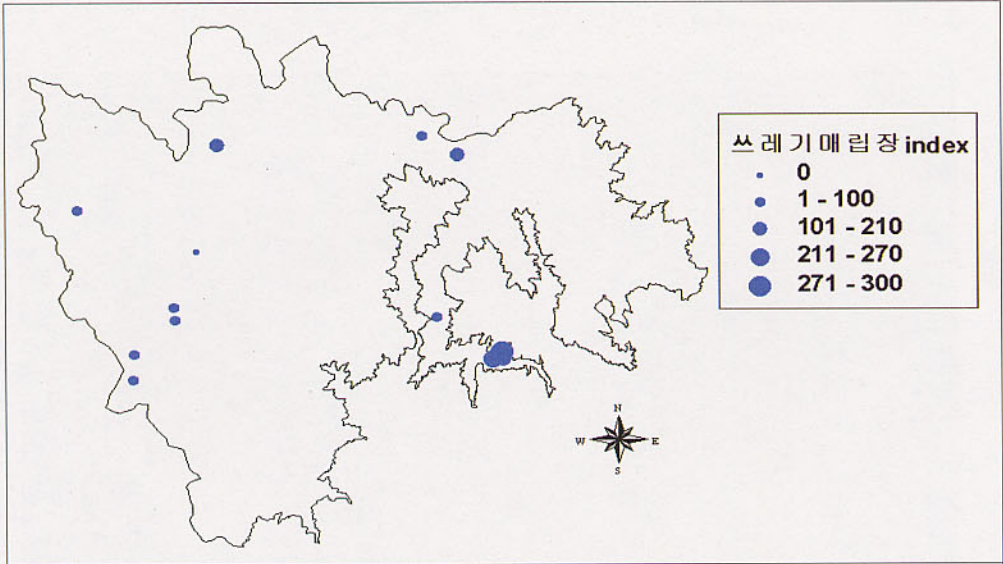
차수시설은 비교적 양호한 것으로 판단된다.



(그림 8-6) 무주리조트 매립장에서 매립 처분되는 슬러지

본 사업장 배출시 설계 폐기물은 무주리조트 오수처리장에서 나오는 슬러지로 발생량은 0.1톤/일이다. 발생한 슬러지는 무주리조트매립장에 전량 매립하고 있다 (그림 8-6).

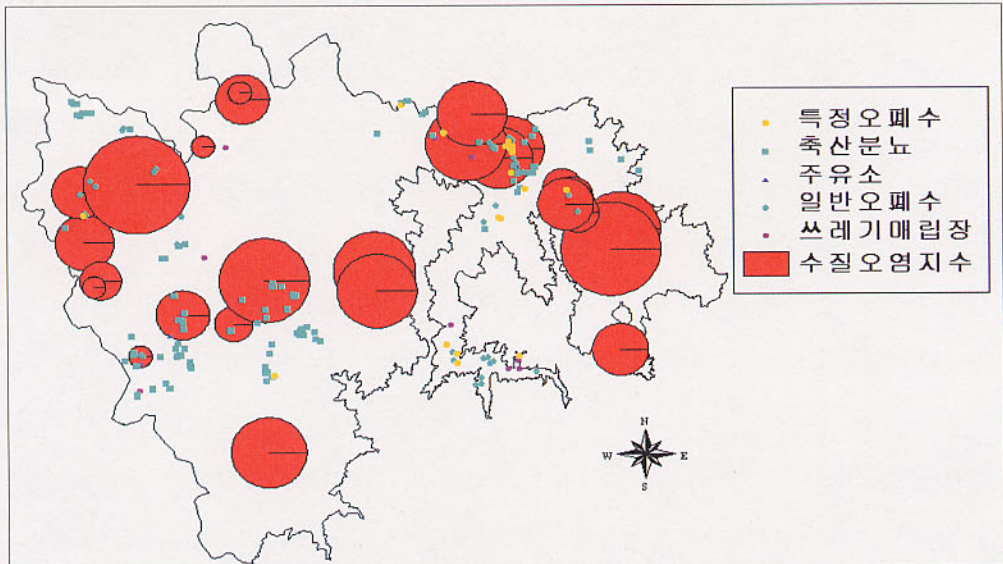
이상과 같은 쓰레기 매립장 문제를 극복하기 위하여 신규 매립장 위치로 선정된 방이리 지역은 현장조사 결과 지하수 수질 보전 및 지형, 지질 여건, 그리고 수리수문학적 등 모든 지하수 환경적인 측면에서 무주군 내에서 가장 불리한 위치에 선정된 사례이다. 이는 하천 하류부 중 매질의 공극이 상대적으로 치밀하여 쓰레기 매립장으로 적합한 지역은 대개가 주거지와 인접하여 주민의 극심한 반대로 인한 위치선정이 어려운 것이 현실이다. 따라서 이미 선정된 방이리 지구는 매립장의 철저한 바닥처리, 감시정 설치, 침출수 처리대책 시설 운영 등에 각별한 주의를 기울여야 한다. 또한 무주군의 장기적인 수자원보호를 위하여 금회 설치되는 매립장의 철저한 시공 및 지속적 관리가 필수적이다.



(그림 8 -7) 특정오염원 잠재오염지수도

3. 잠재오염원 분포현황도 작성

이상의 현장조사에서 조사 분석된 잠재오염원별 오염지수를 GIS도면상에 입력하여 다음과 같은 잠재오염원 분포현황도를 작성하였다

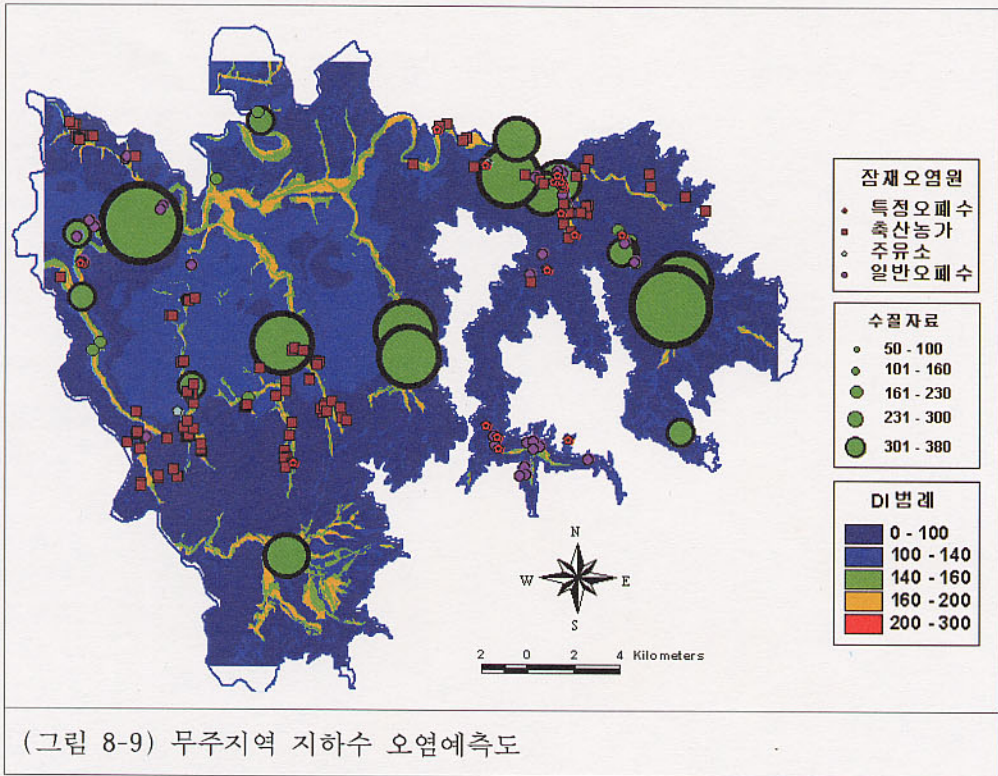


(그림 8 -8) 지하수 오염현황지수도

제 4 절 지하수 오염예측도

앞장까지 지하수 오염예측도 작성에 필요한 지하수 오염취약성과 잠재오염원 분포도 작성기법에 관하여 정밀 검토하였다.

본 절에서는 결론으로서 기 언급한 바와 같이 두가지 도면을 중첩시켜 지하수 오염예측도를 작성하였다 (그림 8-10).



무주군 전체지역의 지하수 오염취약성은 비교적 높지 않은 편이다. 군내 지역 간 상대적으로 볼 때는 적상면 시루봉 근처가 지질면에서 사층과 역암 분포지대로 투수율이 높아 여타지역보다 조금 취약성이 높은 것으로 분류되었다.

무주 시범조사지구에 대하여 본 연구의 최종 목표인 지하수오염예측도를 작성하였다(그림 8-9). 우측의 설천면지역에 무주구천동, 무주리조트 등 잠재오염원이 가장 많은 것으로 조사되었으나 지하수 오염취약성은 무주군 관내에서 비교적 높은 지역으로 크게 오염우려를 하지 않아도 된다고 판단된다. 다만 일부 측사 분뇨를 비가림 시설없이 야적하고 있어 폭우시 침출수가 하천으로 직접 유출되는 농가가 수 개소 확인되었다. 이러한 농가에 대하여는 계도와 분뇨처리시설을 위한 정부차원의 지원이 있어야 하겠다.

적상면 시루봉 산 가장자리로 잠재오염원이 많아 수질보호 차원에서 관심이 요구되며 특히 방이리 산 18번지 폐기물 종합처리장 조성사업은 시루봉 8부농선 깊은 계곡에 설치하는 만큼 철저한 시공이 요구된다고 하겠다.

제 9 장 결 론

여 백

제 9 장 결 론

본 연구의 목적은 지하수 부존 특성을 포함한 수리지질학적으로 대수층의 오염에 대한 상대적인 취약성을 정량적으로 제시하는 가칭 『지하수 오염예측도』의 작성기법에 대한 기준을 정립함으로써, 농어촌지역에 분포 또는 건설 예정인 각종 잠재오염원들의 입지선정 시 기준자료로 활용토록 하는 것이다.

본 연구에서 제시한 『지하수 오염예측도』는 지하수 관련 오염정책수립을 위한 기초자료의 개념으로 한정하여, 기존의 지하수 오염취약성과 잠재오염원 분포현황도를 중첩시킨 도면으로 명명할 것을 제안하였고, 각 도면 작성에 대한 기존의 기법을 분석하였다.

효과적인 지하수 오염취약성도 작성을 위하여 본 연구에서는 우리나라의 수리지질학적 특성을 대표할 수 있는 시범지구로 지하수 민감지역 (충북 초정지구), 구룡지대 (충북 미원지구), 해안지대 (충남 서산지구) 및 산악지대 (전북 무주지구)를 구분하여 각 각 현장조사를 실시하였고, 각 지구별로 DRASTIC 기법 및 연구결과 제시된 기법을 적용한 도면을 작성하여 상호 비교·검토하였다.

지하수 오염취약성도에 작성에 대하여 본 연구결과 제시한 기준은 DRASTIC 기법의 기준인자 및 인자별 가중치는 현행 기준을 유지하지만, 각 해당인자별로 선구조 밀도도, 산악지대의 고도별 지하수위 추정 기준 및 토지이용에 따른 영향 등을 포함시켜 해당인자별 지수 및 도면 작성 시 색도 별 기준을 새롭게 제시하였다.

연구과정에서 각 인자별 등급산정시 도출된 문제점에 대하여 제시된 보완기

법과 기존기법으로 4개 시범지구에 대하여 지하수 오염취약성을 작성한후 상호 비교를 통하여 작성기준에 대한 검증 실시하였다.

본 연구에서 적용한 지하수 오염현황도는 현실적으로 자료가 가장 풍부한 음용수 기준의 수질항목 중 일반항목 및 특정유해물질의 검출 여부를 지수로 설정하여 작성한 것으로 무주지구의 경우 지하수 수질검사 결과와 비교한 결과 상관성이 높음을 확인하였다.

잠재오염원 분포현황도는 지하수와 관련된 잠재오염원의 종류에 따라 해당 위치에 오염발생 부하량, 오염원 처리형태 및 관리상태를 표준 등급화하여 도면에 나타낼 수 있도록 하였고, 특히 오염지수 (오염부하별 가중치와 관리상태별 등급의 곱)라는 개념을 설정하여 기존 수질분야에서 사용하는 오염부하량과 더불어 현재의 관리상태를 중점적으로 반영하였다.

이상과 같이 지하수 오염예측도 작성은 정밀조사에 의거한 환경영향조사와는 구별되며, 작성된 도면은 개략적인 지하수 부존 특성에 따른 오염취약성의 강약을 평가하여 잠재적인 오염관련 시설물의 입지선정에 대한 타당성 검토자료로 활용될 수 있다.

부 록

여 백

<표> 서산 지하수 수질검사(WS-1 ~ WS5)

시 험 항 목	샘물원수기준	WS-1	WS-2	WS-3	WS-4	WS-5
일반세균	<100CFU/mL	9	7	530	470	65
대장균군	ND/250ml	0	0	0	0	양성
납(Pb)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
불소(F)	<2.0 mg/L	0	0	0	0	0.1
비소(As)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
세레늄(Se)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
수은(Hg)	<0.001 mg/L	0	0	0	0	0
시안(CN)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
6가크롬(Cr ⁶⁺)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
암모니아성질소(NH ₄ ^{-N})	<0.5 mg/L	0	0	0	0	0
질산성질소(NO ₃ ^{-N})	<10 mg/L	0.6	16.6	7.3	13.3	1.8
카드뮴(Cd)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
페놀	<0.005mg/L	0	0	0	0	0
총트리할로메탄(THMs)	<0.1 mg/L	0	0	0	0	0
다이아지논	<0.02 mg/L	0	0	0	0	0
파라티온	<0.06 mg/L	0	0	0	0	0
말라티온	<0.25 mg/L	0	0	0	0	0
페니트로티온	<0.04 mg/L	0	0	0	0	0
카바닐	<0.07 mg/L	0	0	0	0	0
1,1,1트리클로로에탄	<0.1 mg/L	0	0	0	0	0
테트라클로로에틸렌	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
트리클로로에틸렌	<0.03 mg/L	0	0	0	0	0
디클로로메탄	<0.02 mg/L	0	0	0	0	0
벤젠	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
톨루엔	<0.7 mg/L	0	0	0	0	0
에틸벤젠	<0.3 mg/L	0	0	0	0	0
크실렌	<0.5 mg/L	0	0	0	0	0
경도	<300 mg/L	82	206	118	132	39
과망간산칼륨(KMnO ₄)소비량	<10 mg/L	0.6	0.9	0	0.7	0.8
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합
동(Cu)	<1 mg/L	0	0.015	0.01	0	0.02
색도	<5 도	1	1	1	1	<1
세제(ABS)	ND mg/L	0	0	0	0	0
수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.5	6.5	7.6	6.8	6.7
아연(Zn)	<1 mg/L	0.088	0.02	0	0.024	0.005
염소이온(Cl ⁻)	<250 mg/L	30	96	27	66	20
중발잔류물(TS)	<500 mg/L	209	474	258	347	110
철(Fe)	<0.3 mg/L	0.13	0	0.18	0	0.02
망간(Mn)	<0.3 mg/L	0.39	0	0	0.012	0
탁도	<1 NTU	적합	적합	적합	적합	0
황산이온(SO ₄ ⁻²)	<200 mg/L	10	35	7	4	0
알루미늄(Al)	<0.2 mg/L	0	0	0	0	0.02
1,1디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	0	0	0	0	0
사염화탄소	0.002mg/L이하	0	0	0	0	0
판 정		부적합	부적합	부적합	부적합	부적합

* 0 = 불검출

<표> 서산 지하수 수질검사(WS-6 ~ WS10)

시 험 항 목	샘물원수기준	WS-6	WS-7	WS-8	WS-9	WS-10
일반세균	<100CFU/mL	>300	51	3100	5800	<30
대장균군	ND/250ml	양성	음성	음성	음성	음성
납(Pb)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
플소(F)	<2.0 mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
비소(As)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
세레늄(Se)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
수은(Hg)	<0.001 mg/L	0	0	0	0	0
시안(CN)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
6가크롬(Cr ⁶⁺)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
암모니아성질소(NH ₄ -N)	<0.5 mg/L	0.26	0.02	0.02	0.02	0.01
질산성질소(NO ₃ -N)	<10 mg/L	5.2	13.6	1.0	0.5	13.9
카드뮴(Cd)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
페놀	<0.005mg/L	0	0	0	0	0
총트리할로메탄(THMs)	<0.1 mg/L	0	0	0	0	0
다이아지논	<0.02 mg/L	0	0	0	0	0
파라티온	<0.06 mg/L	0	0	0	0	0
말라티온	<0.25 mg/L	0	0	0	0	0
페니트로티온	<0.04 mg/L	0	0	0	0	0
카바닐	<0.07 mg/L	0	0	0	0	0
1,1,1트리클로로에탄	<0.1 mg/L	0	0	0	0	0
테트라클로로에틸렌	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
트리클로로에틸렌	<0.03 mg/L	0	0	0	0	0
디클로로메탄	<0.02 mg/L	0	0	0	0	0
벤젠	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
톨루엔	<0.7 mg/L	0	0	0	0	0
에틸벤젠	<0.3 mg/L	0	0	0	0	0
크실렌	<0.5 mg/L	0	0	0	0	0
경도	<300 mg/L	63	135	22	12	46
과망간산칼륨(KMnO ₄)소비량	<10 mg/L	1.9	0.4	0.3	0.2	0.3
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합
동(Cu)	<1 mg/L	0.016	0.026	0.02	0.009	0
색도	<5 도	3	<1	<1	<1	<1
세제(ABS)	ND mg/L	0	0	0	0	0
수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.6	6.4	6.8	6.6	6.6
아연(Zn)	<1 mg/L	0.014	0.01	0.6	0.002	0.002
염소이온(Cl ⁻)	<250 mg/L	35	89	7	12	17
중발칸류물(TS)	<500 mg/L	149	324	59	49	108
철(Fe)	<0.3 mg/L	0.73	0.02	0.13	0.01	0
망간(Mn)	<0.3 mg/L	0.228	0.001	0	0.002	0
탁도	<1 NTU	0	0	0	0	0
황산이온(SO ₄ ⁻²)	<200 mg/L	0	17	1	5	19
알루미늄(Al)	<0.2 mg/L	0.42	0.03	0.3	0.2	0.3
1,1디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	0	0	0	0	0
사염화탄소	0.002mg/L이하	0	0	0	0	0
판 정		부적합	부적합	부적합	부적합	부적합

* 0 = 불검출

<표> 서산 지하수 수질검사(WS-11 ~ WS15)

시 험 항 목	샘물원수기준	WS-11	WS-12	WS-13	WS-14	WS-15
일반세균	<100CFU/mL	134	<30	240	36	520
대장균군	ND/250ml	음성	음성	0	0	검출
납(Pb)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
불소(F)	<2.0 mg/L	0.1	0.1	0	0	0
비소(As)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
세레늄(Se)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
수은(Hg)	<0.001 mg/L	0	0	0	0	0
시안(CN)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
6가크롬(Cr ⁶⁺)	<0.05 mg/L	0	0	0	0	0
암모니아성질소(NH ₄ -N)	<0.5 mg/L	0.01	0	0	0	0
질산성질소(NO ₃ -N)	<10 mg/L	7.3	13.2	0.3	15.9	1.4
카드뮴(Cd)	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
페놀	<0.005mg/L	0	0	0	0	0
총트리할로메탄(THMs)	<0.1 mg/L	0	0	0	0	0
다이아지논	<0.02 mg/L	0	0	0	0	0
파라티온	<0.06 mg/L	0	0	0	0	0
말라티온	<0.25 mg/L	0	0	0	0	0
페니트로티온	<0.04 mg/L	0	0	0	0	0
카바닐	<0.07 mg/L	0	0	0	0	0
1,1,1트리클로로에탄	<0.1 mg/L	0	0	0	0	0
테트라클로로에틸렌	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
트리클로로에틸렌	<0.03 mg/L	0	0	0	0	0
디클로로메탄	<0.02 mg/L	0	0	0	0	0
벤젠	<0.01 mg/L	0	0	0	0	0
톨루엔	<0.7 mg/L	0	0	0	0	0
에틸벤젠	<0.3 mg/L	0	0	0	0	0
크실렌	<0.5 mg/L	0	0	0	0	0
경도	<300 mg/L	116	41	126	122	300
과망간산칼륨(KMnO ₄)소비량	<10 mg/L	0.6	0.2	0.9	0	0
냄새	무취	적합	적합	적합	적합	적합
맛	무미	적합	적합	적합	적합	적합
동(Cu)	<1 mg/L	0.005	0	0.063	0	0
색도	<5 도	<1	<1	1	1	1
세제(ABS)	ND mg/L	0	0	0	0	0
수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.5	6.8	6.8	6.5	7.3
아연(Zn)	<1 mg/L	0.005	0.064	0.1	0.006	3.32
염소이온(Cl ⁻)	<250 mg/L	42	13	101	81	10
중발칸류물(TS)	<500 mg/L	261	97	398	413	119
철(Fe)	<0.3 mg/L	0.02	0.01	0.13	0.13	0
망간(Mn)	<0.3 mg/L	0	0	0	0	0
탁도	<1 NTU	0	0	적합	적합	적합
황산이온(SO ₄ ⁻²)	<200 mg/L	3	2	6	3	0
알루미늄(Al)	<0.2 mg/L	0.17	0.03	0	0	0
1,1디클로로에틸렌	0.03mg/L이하	0	0	0	0	0
사염화탄소	0.002mg/L이하	0	0	0	0	0
판 정		부적합	부적합	부적합	부적합	부적합

* 0 = 불검출

○ 서산 현장 수질조사 자료

시료번호	WS-1	WS-2	WS-3	WS-4	WS-5	WS-6	
채취일	98-06-02	98-06-02	98-06-02	98-06-02	98-06-03	98-06-03	
채취장소	신상리1구203	기포리2구946	초록리2구48	장요리교회, 축사앞	사기리221	정자리1-W관정	
현 장 측 정	관정심도(m)	30	22.5		15.9	12	
	수온(℃)	14.9	15.2	16.2	15.1	15.7	
	pH	6.02	6.04	7.46	6.58	6.06	6.03
	EC(μ S/cm)	257	760	319	425	203	278
주 요 양 / 음 이 온	Na ⁺ (mg/l)	15.104	50.205	8.281	19.031	14.758	16.804
	K ⁺ (mg/l)	2.478	5.662	2.721	4.056	1.738	3.064
	Ca ⁺² (mg/l)	17.719	46.713	26.047	27.288	11.285	18.442
	Mg ⁺² (mg/l)	4.220	10.929	7.113	8.082	2.729	4.270
	NO ₃ -N(mg/l)	5.857	0.312	15.387	1.342	1.807	5.259
	SO ₄ ⁻² (mg/l)	1.018	11.637	3.034	0.451	0.527	0.906
	Cl ⁻ (mg/l)	27.6	79.4	26.9	58.1	20.5	35.4
	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	83.57	131.76	86.01	42.09	23.18	59.78

시료번호	WS-7	WS-8	WS-9	WS-10	WS-11	WS-12	
채취일	98-06-03	98-06-03	98-06-03	98-06-03	98-06-03	98-06-03	
채취장소	신송리788	가구리161-21 :J97W-2관정	가구리11-14 :J97W-4관정	가구리2752-3	가구리17	신상리2구1	
현 장 측 정	관정심도(m)	40	150	150	36	30	
	수온(℃)	16.1	16.3	15.3	15.7	14.3	14.9
	pH	5.94	6.65	6.44	6.3	6.09	6.61
	EC(μ S/cm)	583	1.063	82.3	202	473	174
주 요 양 / 음 이 온	Na ⁺ (mg/l)	25.542	7.480	8.073	11.568	22.814	12.769
	K ⁺ (mg/l)	2.713	1.593	1.524	2.668	2.456	1.852
	Ca ⁺² (mg/l)	42.345	6.173	3.074	13.672	32.820	11.059
	Mg ⁺² (mg/l)	7.063	1.767	1.110	3.023	8.327	3.224
	NO ₃ -N(mg/l)	18.603	1.038	0.534	13.977	7.321	13.290
	SO ₄ ⁻² (mg/l)	17.730	1.147	5.010	19.337	3.574	2.104
	Cl ⁻ (mg/l)	89.3	7.8	12.1	17.7	42.5	13.5
	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	54.90	67.10	92.72	131.76	85.40	44.73

시료번호		WS-13	WS-14	WS-15
채취일		98-06-05	98-06-05	98-06-05
채취장소		남정리2구495	남정리516	정자리197W-1관정
현 장 측 정	관정심도(m)	30		150
	수온(℃)	16.3	15.1	15.6
	pH	6.4	6.1	6.82
	EC(μ S/cm)	428	488	106
주 요 양 / 유 이 온	Na ⁺ (mg/l)	22.394	27.688	7.378
	K ⁺ (mg/l)	3.701	3.029	1.749
	Ca ²⁺ (mg/l)	32.063	31.810	4.837
	Mg ²⁺ (mg/l)	8.046	7.776	1.185
	NO ₃ -N(mg/l)	0.441	15.660	1.446
	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	3.455	1.601	0.438
	Cl ⁻ (mg/l)	87.9	74.4	12.8
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	57.34	36.60	39.04	

○ 서산지구 토양조사

시료 번호	심도 (cm)	입도(%)				조도(%)			통일 흙분류	비중	함수비 (%)	투수계수 (cm/sec)
		자갈	모래	실트	점토	액성한계	소성한계	소성지수				
정자리1	0	9.7	79.5	6.9	3.9	NP	NP	NP	SW-SM	2.665	15.3	
정자리4	0	3	90.3	4.3	2.4	NP	NP	NP	SW-SM	2.667	16.7	
가구리1	0	6.1	83.8	9.5	0.7	NP	NP	NP	SW-SM	2.67	18.5	
가구리2	0	0	80.7	13.7	5.5	NP	NP	NP	SM	2.68	25	
가구리3	0	0	75.2	19.1	5.6	NP	NP	NP	SM	2.668	14.5	
가구리4	0	0	71.4	20.9	7.6	NP	NP	NP	SM	2.671	10.8	
가구리5	0	0	67.5	23.8	8.6	NP	NP	NP	SM	2.679	13.7	
가구리6	0	0	54.2	31.4	14.5	NP	NP	NP	SM	2.68	14.6	
가구리7	0	0	56.1	30.8	13.1	NP	NP	NP	SM	2.675	16.8	
가구리8	0	0	56.1	28.5	15.3	NP	NP	NP	SC	2.665	9.2	
가구리9	0	0	51.6	31.3	17.1	29.9	24.4	5.5	SM	2.65	20.4	
가구리10	0	0.3	58.4	25.7	15.5	NP	NP	NP	SM	2.662	19.4	

○ 서산지구 토양조사

시료 번호	심도 (cm)	입도분석(%)				암모늄태질소 (ppm)	질산태질소 (ppm)	함수율 (%)
		모래	실트	점토	토성			
가-1	25					7.1	6.9	21.3
가-2	25	37	25	38	CL	5.3	20.9	22.14
가-2	50					4.8	18.1	22.81
가-2	75					4.4	20.7	25.49
가-2	100					5.7	13	24.63
S-3	25					4.1	2.3	18.71
S-5	25					6	61.8	21.46
S-5'	25					5.1	6.8	23.55
S-6	25	58	34	8	SL	5	5.3	28.54
S-6	50					4.3	4.9	30.58
S-6	75					1.7	4	31.4
S-6	100					6.1	4.2	31.46
S-7	25					3.6	9.6	31.04
S-11	25					6.6	4.6	36.19
S-12	25					4.7	35.9	27.1
S-13	25					3.5	6.2	26.86
S-14	25					3.3	3.3	21.55
S-17	25	72	21	7	SL	2.1	9.4	14.12
S-17	50					4.2	15.8	16.87
S-17	75					4	8.5	12.89
S-17	100					2.9	9.5	11.25
S-18	25	70	24	6	SL	3.5	8.4	19.5
S-18	50					4	7.2	20.31
S-18	75					2.9	5.8	11.44
S-18	100					3.4	3.9	11.18
S-19	25					19.3	7.3	23.58
S-21	50					0	0	0
S-21	100					0	0	0
S-22	25					10.7	8.8	31.46
S-24	25	63	28	9	SL	6.7	60.6	14.71
S-24	50					10.1	35.8	17.04
S-24	75					8.1	18	18.17
S-24	100					7.3	9.1	17.5
S-25	25					11	8.3	24.85
S-26	25	18	52	30	SiCL	15.3	12.1	50.27
S-26	50					8.9	8.3	30.36
S-26	75					7.9	9.4	24.34
S-26	100					6.6	6.3	25.92
S-27	25					32.9	10	19.87
S-28	25					7.5	7.5	10.28
S-29	25					10.7	15.5	22.58
S-31	25					21.8	10.9	21.56

○ 서산지구 토양조사

시료 번호	심도 (cm)	입도(%)				조도(%)			통일 흙분류	비중	함수비 (%)	투수계수 (cm/sec)
		자갈	모래	실트	점토	액성한계	소성한계	소성저수				
가-1	0~100	1.7	63	21.8	13.6	NP	NP	NP	SM	2.656	24.5	2.8E-05
가-2	0~100	3.7	41.6	11.4	9.3	NP	NP	NP	SC	2.661	18.7	3.1E-03
S-3-U	0~50	53.3	33.5	8.7	4.6	NP	NP	NP	GC	2.664	18.6	
S-3-D	50~100	30.2	36.4	21.8	11.6	NP	NP	NP	SM	2.65	19.3	4.9E-05
S-5-U	0~50	0.1	11.4	54.4	34.1	37.7	22.7	15	CL	2.668	22.3	7.5E-07
S-5-D	50~100	0.1	45.5	39.2	15.2	33.8	22.7	10.1	CL	2.668	28.2	1.9E-06
S-5'-U	0~50	1.6	21.1	48	29.3	37.6	22.5	15.1	CL	2.652	21.3	2.5E-06
S-5'-D	50~100	0.1	30.5	42.1	27.3	37.5	22.3	15.2	CL	2.681	25.7	2.9E-07
S-6-U	0~50	2.4	56.7	24.5	16.4	NP	NP	NP	SM	2.664	46.1	2.8E-06
S-6-D	50~100	8.4	55.2	21.3	15.1	29.1	24.4	4.7	SM	2.69	39.2	2.3E-06
S-7-U	0~50	0.2	21.8	21.6	26.3	32.3	21.8	10.5	CL	2.667	33.9	2.1E-06
S-7-D	50~100	0	60.9	18.3	20.8	31.2	20.5	10.7	SC	2.662	32.8	1.8E-06
S-11-U	0~50	0.6	24.9	49.5	25	31.5	20.7	10.8	CL-ML	2.668	35.2	2.6E-06
S-11-D	50~100	1.4	31.4	45.7	21.4	57.1	23.2	33.9	CH	2.688	39.9	2.0E-06
S-12-U	0~50	0	11.6	51.2	37.2	35.3	19.5	15.8	CL	2.677	29.6	1.6E-06
S-12-D	50~100	0	12.6	54.2	33.2	35.5	22.1	13.4	CL	2.683	25.4	2.1E-06
S-13-U	0~50	0	45	28.5	26.4	30.3	16.9	13.4	ML	2.687	17.6	1.7E-06
S-13-D	50~100	0	33.5	36.2	30.4	34.4	18.6	15.8	CL	2.665	18.1	1.4E-06
S-14-U	0~50	0	72.9	13	14.1	NP	NP	NP	CL	2.666	20.5	2.9E-06
S-14-D	50~100	0	75.6	18.5	5.9	NP	NP	NP	SM	2.67	19.2	3.3E-06
S-17-U	0~50	21.9	47.4	15.5	15.2	25.2	18	7.2	SC	2.657	14.1	1.8E-05
S-17-D	50~100	54.1	32.7	7.6	5.6	NP	NP	NP	GM	2.667	13.7	
S-18-U1	0~50	11.6	46.2	20.6	21.5	38.8	25.8	13	SM	2.668	25.7	
S-18-U2	50~100	44.6	37.7	10.4	7.2	27.8	23.5	4.3	GM	2.677	19	
S-18-D	0~50	41.3	32.3	14.6	11.9	31.5	19	12.5	GC	2.682	14.2	
S-19-U	50~100	4.1	40.9	37.2	17.8	31.2	23.9	7.3	ML	2.679	30.2	1.5E-06
S-19-D	0~50	13.6	50.3	28.7	7.4	NP	NP	NP	SM	2.664	26.6	2.0E-05
S-22-U	50~100	1.6	38.3	40.1	20	32.9	23.5	9.4	ML	2.665	35.8	2.2E-06
S-22-D	0~50	0	64.4	18.5	17.1	NP	NP	NP	SM	2.677	25.9	2.1E-06
S-24-U	50~100	6.2	57.4	20.7	15.8	24.7	20.7	4	SM	2.648	15.6	4.2E-06
S-24-D	0~50	4.2	47.2	31	17.6	27	19.8	7.2	SC	2.682	11.9	4.2E-06
S-25-U	50~100	19.3	41	25.8	13.9	NP	NP	NP	SC-SM	2.657	22.2	1.2E-05
S-25-D	0~50	16.5	46.4	23.2	13.9	NP	NP	NP	SC	2.677	20.9	9.5E-06
S-26-U	50~100	0	11.6	55.9	32.4	37.4	22.2	15.2	CL	2.698	31.1	1.9E-06
S-26-D	0~50	0.5	37	36.4	26.1	32.8	20.2	12.6	CL	2.689	27.2	1.5E-06
S-27-U	50~100	1.2	51.4	31.3	16.1	27.4	19.6	7.8	SC	2.661	16.8	2.8E-06
S-27-D	50~100	1.5	26.1	43.1	29.3	33.8	21	12.8	CL	2.677	19.6	1.5E-06
S-28-U	0~50	11.2	55.4	21.4	11.9	NP	NP	NP	SM	2.675	18.3	6.3E-04
S-28-D	50~100	5.3	44	30.1	20.5	31.6	21.1	10.5	CL	2.655	18.8	1.6E-05
S-29-U	0~50	1.3	44.3	2.2	27.2	32.7	19.9	12.8	CL	2.658	22.6	4.3E-06
S-29-D	50~100	0.7	62.1	32.3	4.9	NP	NP	NP	SM	2.677	20.4	2.9E-05
S-31-U	0~50	14.5	52.9	20.8	11.8	NP	NP	NP	SM	2.681	20.2	1.4E-04
S-31-D	50~100	0	59.1	30	10.9	NP	NP	NP	SM	2.688	16.7	2.9E-05

○ 서산지구 토양침출율조사

조사번호	조사일	위치			지질	토양분류	토지이용	Glover(1953) eq. Kfs (mm/hr)
		군	면	리				
S-1	98-03-05	서산	고북	가구	섬록암 (쥬라기)	반산 (양토)	작은 숲	34.5088704
S-3	98-03-05	서산	고북	초록	반회강암질편상 화강암 및 조립 질 편상화강암 (시대미상)	덕산 (바위가 있는 사양토)	산	17.0193635
S-5'	98-04-28	서산	고북	신상	층적층 (제4기)	고평 (미사질식양 토)	논	19.8810156
S-6	98-03-10	서산	고북	기포	층적층 (제4기)	연곡 (양토)	논	2.24961821
S-8	98-03-11	서산	고북	가구	섬록암 (쥬라기)	용지 (양토)	밭	1.69853381
S-12	98-03-17	서산	고북	신상	층적층 (제4기)	화동 (미사질식양 토)	작은 숲	3.90555782
S-14	98-03-14	서산	고북	정자	조립질화강섬록 암 (백악기)	송정 (양토)	밭	99.6597726
S-15	98-03-20	서산	고북	초록	층적층 (제4기)	함평 (미사질양토)	밭	7.69145161
S-16	98-03-20	서산	고북	초록	층적층 (제4기)	함평 (미사질양토)	밭(복토)	1.71735204
S-17	98-03-20	서산	고북	초록	층적층 (제4기)	용계 (자갈이 있는 양토)	밭	28.9673768
S-18	98-03-20	서산	고북	초록	층적층 (제4기)	용계 (자갈이 있는 양토)	산(복토)	271.387

○ 서산지구 토양 침출을 조사

조사번호	조사일	위치			지질	토양분류	토지이용	Glover(1953) eq. Kfs (mm/hr)
		군	면	리				
S-21	98-03-21	서산	고북	남정	충적층 (제4기)	광할 (미사질양토)	논	1352.63342
S-21'	98-03-21	서산	고북	남정	충적층 (제4기)	광할 (미사질양토)	논	1385.82294
S-24	98-04-24	서산	고북	가구	대호지층(편암, 천매암) (시대미상)	우곡 (자갈이 있는 양토)	논	6.33152456
S-25	98-04-25	서산	고북	용암	대호지층(편암, 천매암) (시대미상)	오산 (자갈이 있는 양토)	논	139.475997
S-28	98-05-01	서산	갈산	대사	반화강암질편 상화강암 및 조립질편상화 강암 (시대미상)	이산 (자갈이 있는 양토)	산	52.5426891
S-30	98-05-01	서산	고북	장요	반화강암질편 상화강암 및 조립질편상화 강암 (시대미상)	이산 (자갈이 있는 양토)	산	404.062536
S-31	98-05-01	서산	고북	초록	흑운모화강암 (쥬라기)	덕산 (비위가 있는 사양토)	산	69.5300244

< 표 > 서산 관내 38개 관정의 지하수 수질오염 현황 진단결과

관정	먹는물 기준 이하 검출항목	먹는물 기준 초과항목	오염지수
WS-1	일반세균, 질산성질소, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 중발잔류물	망간	120
WS-2	일반세균, 동, 아연, 염소이온, 황산이온, 중발잔류물	질산성질소	110
WS-3	질산성질소, 동, 철, 염소이온, 황산이온, 중발잔류물	일반세균	110
WS-4	아연, 염소이온, 망간, 황산이온, 중발잔류물	일반세균, 질산성질소	150
WS-5	불소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 알루미늄, 중발잔류물	대장균군	130
WS-6	불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 망간, 중발잔류물	일반세균, 대장균군, 철, 알루미늄	280
WS-7	일반세균, 대장균군, 불소, 암모니아성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 망간, 황산이온, 알루미늄, 중발잔류물	질산성질소	170
WS-8	대장균군, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 중발잔류물, 아연, 염소이온, 철, 황산이온	일반세균, 알루미늄	200
WS-9	대장균군, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 망간, 황산이온, 중발잔류물	동, 아연, 염소이온, 철	310
WS-10	일반세균, 대장균군, 불소, 암모니아성질소, 아연, 염소이온, 황산이온, 중발잔류물	질산성질소, 알루미늄	180
WS-11	일반세균, 대장균군, 불소, 암모니아성질소, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 알루미늄, 중발잔류물	-	120
WS-12	일반세균, 대장균군, 불소, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 알루미늄, 중발잔류물	질산성질소	140
WS-13	일반세균, 질산성질소, 동, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 중발잔류물	-	80
WS-14	일반세균, 아연, 염소이온, 철, 황산이온, 중발잔류물	질산성질소	110
WS-15	일반세균, 질산성질소, 염소, 중발잔류물	대장균군, 아연	140

<표> 서산 관내 38개 관정의 지하수 수질오염 현황 진단결과(계속)

관정	먹는물 기준 이하 검출항목	먹는물 기준 초과항목	오염지수
G97 W-1	일반세균, 아연, 염소이온, 중발잔류물	질산성질소	90
G97 W-2	질산성질소, 아연, 중발잔류물, 황산이온	-	40
G97 W-3	질산성질소, 아연, 염소이온, 중발잔류물	일반세균	90
G97 W-4	질산성질소, 아연, 염소이온, 중발잔류물	일반세균	90
J97 W-1	질산성질소, 과망간산칼륨소비량, 아연, 염소이온, 중발잔류물, 황산이온	-	60
J97 W-2	질산성질소, 니클로로메탄, 아연, 염소이온, 중발잔류물,	일반세균, 대장균군	150
J97 W-3	질산성질소, 과망간산칼륨소비량, 염소이온, 중발잔류물, 망간	-	50
J97 W-4	질산성질소, 중발잔류물, 망간	-	30
J97 W-5	질산성질소, 1.1-디클로로에틸렌, 중발잔류물, 망간, 황산이온	-	50
J97 W-6	질산성질소, 중발잔류물, 망간	-	30

〈표〉 무주 부남면 축산농가 조사표

번호	위치	소유자	전파 번호	내역/ 사육두수	바닥	친정	분뇨 처리	유출확인	특이사항	등급
1	상평			돼사	△	○	△		개사육했던 지역, 현재 운영 중지	4
2	상평			오리 20	X	△	X		상태 불량	7
3	상평			돼돈사	△	△	△		상태 불량	5
4	하평	길홍섭		소 7	○	○	X			4
5	“			돼사	△	△	△		철거중	5
6	“			개 10	△	△	X		상태 불량	7
7	“	송창명		소 10	X	○	X		집 안에서 사육	7
8	“	장기연		소 20	○	○	△		분뇨 모아서 따로 처리	3
9	“	박덕만		개 100	○	○	△		미확인	3
10	가정	백승태		소 10	X	○	X		집에서 사육	7
11	유평			돼·개 3,000	X	X	X	저수지 불사용	고려평농장, 야산방목	10
12	식암			돼사	○	△	△		방치된 상태, 돈 30두 정도의 규모	4
13	당곡입구	해오름농 장		돼지 1,200	○	○	○	대형	분뇨처리장 공사 예정, 현재는 수거처리	1
14	이교동	최장욱		소 6	○	○	X			4
15	이교동	최장술		소 5	X	○	X			7
16	이교동	전승남		소 10	X	△	X			9
17	하대곡	유용복		소 2 / 염소 5	X	△	X		돈사 규모 40두 정도로 현재 수리중	9
18	멧골	이해덕		소 2 / 개 5	X	△	X			9
19	멧골	구현수		소 2 / 오리 15	X	△	X		돈사는 철거중	9
20	상대곡				X	△	X		6마리 규모로 미사용	9
21	상대곡			소 3	X	△	X		6마리 규모, 현재 3마 리	9
22	무주축협 사업장			95	○	○	○		분뇨적제시 누출가능성 존재, 분뇨처리시설 존재	1

※ X : 10, △ : 5, ○ : 1

〈표〉 무주 적상면 축산농가 조사표

번호	위치	소유자	진화 번호	내역/ 사육두수	바닥	천정	분뇨 처리	유출확인	특이사항	등급
1	상류			염소 15	△	○	X			6
2	상류	조급진		소 5	△	○	X		송아지	6
3	상류	이규태		염소 50	X	X	X		방목	10
4	신촌			개 10	X	△	X			9
5	신촌			폐돈사	○	○	△			3
6	신촌	황금수		소 15	○	○	X		2곳 합쳐서 15두	4
7	상류	정혜식		돈사	○	○	△	소형판정	규모는 100두정도로 미 사용	3
8	도류	전혜석		폐돈사	○	○	△	계곡수	150두 규모로 미사용	3
9	도류	배영란		폐돈사	△	○	X	계곡수	40두 규모로 미사용	6
10	도류	백종만		폐돈사	X	△	X	계곡수	80두 규모로 미사용	9
11	도류			염소 10	X	△	X			9
12	상류	박정숙		소2,염소2	X	△	X			9
13	상류			폐돈사	○	△	△		100두 규모로 미사용	4
14	삼방			폐우사	○	○	△		10두 규모로 미사용	3
15	삼방			젖소 25	○	○	△			3
16	삼방			폐우사	△	△	△			5
17	삼방			젖소 15	○	○	△			3
18	하비			개 20	○	○	X			4
19	고방			폐사	○	○	△		창고로 사용	3
20	고방			폐사	△	X	△		상태불량, 거름방치	7
21	거문동			개, 토끼, 닭	○	△	X		계곡으로 바로 유입	6
22	거문동			소3, 개7	○	○	X		계곡으로 바로 유입	4
23	배골			우사, 소1	○	△	X		10두 규모	6
24	배골			개 15	X	△	X			9
25	배골			폐돈사	○	△	X		개 2마리	6

<표 > 무주 설천면 축산농가 조사표

번호	위치	소유자	전화번호	내역/사육두수	바닥	천정	분뇨 처리	유출 확인	특이사항	등급
4	장덕리 이남			소5, 염소10	○	△	×		축사에서 옆밭으로 바로 방류	6
5	"				○	△	×		99년 폐쇄, 참고로 사용	6
6	"			소5	△	○	×			6
7	"	김현성	324-7475	개10	○	○	×			4
31		박희용	332-7549		○	○	×		폐축사	4
41-1		박한규	324-7266	소5	○	○	×		분뇨야외방치 (차단시설 ×)	4
41-2		임수근	324-7258	소5	○	○	×		"	4
41-3		이정하	324-7670	소7	○	○	×		"	4
43		박휘철	324-7487		○	○	×		"	4
44		김종인	324-7233		○	○	×		"	4
47		김분한		소24	○	○	×			4
48		강선		소7	△	△	×		분뇨야외방치	7
54		김수상		소1	○	○	×		가축수에 비해 규모가 큰 편, 하천바로 옆 위치	4
58	집말				△	△	△		폐축사 (초지조성)	5
59	하비			개5, 닭3	○	○	×		20~30마리 정도 사육 가 능한 규모	4
62	내북	마을주민		소20	○	○	×		1~2정도로 15~20가구정 도 사육	4
63		진명자	324-7698	소6	○	○	×		축사 끝쪽이 야외로 천정 이 없어 우천시 옆 밭으로 유출	4
66	나림	김정길	324-7215	소10	○	○	×			4
67				소1	○	○	×		과거 10마리 이상 사육한 규모로 현재 받은 참고로 사용	4
68				소12	○	○	×		지붕만 있고 사방에 벽이 없음. 하천과 근접	4
82	청량리				○	○	×		폐축사, 계곡옆 위치	4
84	학어제	한규호	324-5209	오리5500	○	○	△		상부 : 집수통 찌꺼기 모 아둔 자루에서 폐수 누출 하부 : 농장옆으로 폐수 누출	3
85	"			염소30~32, 닭20~25	○	○	×		야외방목	4
98	하염				○	○	×		폐축사, 내부 말끔히 정리	4
101	상길산			소3~4	○	○	×			4
104	"	박범길		소10	○	○	×			4
107	하길산			멧돼지30	○	○	×			4
108	"				○	○	△		'99년폐쇄, 일부만 분뇨치움	3
111	우남			소2, 개4	○	○	×		계곡 바로 옆, 낮은 축사	4

<표> 무주 부남면 오폐수정화처리 조사표

번호	내역	위치	방류수질	정화처리시설	음용수/대형관정	특이사항	등급
1	보건소	가정	△	△			5
2	부남초등학교	가정	△	X	마을식수 공동 사용	식당, 모텔 등 공동사용	8
3	금강모텔	술암교 옆	○	○	대형관정 사용		1
4	자연의집	술암교 옆	△	X	소형관정	여름철 민박	8
5	봉길식당	봉길	△	X	소형관정		8
6	강변가든	유동	△	X	소형관정		8
7	유동식당	대소	△	X	대소마을 대형관정		8
8	부남식당	대소	△	X	대소마을 대형관정		8
9	대소식당	대소	△	X	대소마을 대형관정		8
10	금강식당	대소	△	X	대소마을 대형관정		8
11	부남면사무소	대소	△	X	자체 대형관정		8
12	부남초등학교	대소	△	X	자체 대형관정		8
13	부남농기계	대소	△	X			8
14	묘지	봉길입구	△	△		40~50여개	5
15	쓰레기처리장	대소	X	X		쓰레기 적하	10
16	정안식당	학교담	△	X			8
17	부강초등학교	학교담	△	△		폐교	5
18	쓰레기소각장	하대곡	△	X		현재는 사용 안함	8
19	쓰레기소각장	정안저수지 옆	△	X		쓰레기 적하, 강우시바로 저수지로 유입	8

<표> 무주 적상면 오폐수정화처리 조사표

번호	내역	위치	방류수질	정화처리시설	음용수/대형관정	특이사항	등급
1	주유소	박대골	○	△	중형관정	부남주유소	3
2	쓰레기처리장	삼방	△	X		미사용	8
3	삼방초등학교	삼방	△	△	대형관정		5
4	쓰레기처리장	하비	△	X		쓰레기적하	8
5	이동분교	배골	△	△		폐교	5
6	샘마위 관광농원		△	X			8

※ X : 10, △ : 5, ○ : 1

〈표〉 무주 설천면 오폐수정화처리 조사표

번호	내역	위치	방류수질	정화처리시설	용용수 /대형관정	특이사항	등급
1	일성콘도미니엄 신축공사현장	장덕리	△	△			5
2	밭두렁논두렁 가 든	장덕리	△	○		개인용 소형관정 사용 (324-5655)	3
3	백제산업유한회 사	장덕리	△	○	'92 1일:지하수5t 1일:하천수5t	심도? (324-2000~2)	3
8	숙박,식당 밀집 지역		△	△		꽃돌식당, 석천산장(모터볼 량으로 사용않함), 네팔콘 도, 시드니 민박	5
10	구천동 쓰레기위 생 매립장	삼공리 산1-8	△	△		군 : 군청(무주), 관·공:국립공원 관리공단 임시 덮개처리 안되 있음	5
11	(주)쌍방울 개발 사 폐수 최종 배 출구	삼공리 43-15	△	○		침출수 집수처리·정화 : 오수처리장에서 처리 폐기물 성분조사 : 관리양 호(수시검사)	3
12	삼공리 숙박 및 식당 밀집 지역	삼공리	△	△		*1(숙박) *2(식당)	5
13	구천수원원	삼공리	△	○			3
14	구천초등학교	삼공리	△	○			3
15	체신청수원원	삼공리	△	○			3
16	구천동모뎀단지	삼공리	△	△		*3	5
17	구천동식당단지	삼공리	△	△		*4	5
18	약수터 민박촌	삼공리	△	△		공원내 밀집되어 있는 숙 박시설, 장급여관에 비해 처리시설 불량(시골의 민 가수준)	5
20	배방마을 카센터	삼공리	△	○		폐유보관함 이용→차량으 로 수거 (322-4788)	3
21	청운모텔가든		△	○	개인용 소형관정	상수도, 지하수 겸용	3
23	무주리조트 근처 숙박 및 식당단 지 (식수 : 상수도 사용)	관동	△	△		*5(숙박), *6(식당)	5
24	한솔공업카센터	관동	△	△		폐업	5
26	(주)쌍방울개발 오수처리시설	관동	△	△		11번지역의 물을 정화처리 하는 곳	5
28	대평마을 쓰레기 처리장	대평	△	×		마을 간이 소각장 및 집하 소로 천정시설 미비	8
33	월현 농산물 판 매장	월현	△	○	계곡수	두길리 1539 양정모 (324-7766)	3
37	상수도 정수장	두길리	△	△		설천지역 공급	5

<표> 무주 부남면 오폐수정화처리 조사표(계속)

번호	내역	위치	방류수질	정화처리시설	음료수/대형관정	특이사항	등급
38	한피식품	두길리	△	○	관정('94 18m,	김종천(대표, 322-8989)	3
39	산골가든	두길리	△	○	상수도	김명현(대표, 322-7273)	3
42	산이오수처리시설	허두	△	△	계곡수	마을 자체 오수처리 시설	5
45	라제봉분 휴게소, 가든	신계궁	△	○	상수도	김귀임(대표, 324-7979)	3
46	대우병원	신계궁	△	△		'98 폐업	5
50	강촌	신계궁	△	×	상수도	과거에 생긴 식당은 대부분 정화처리 안됨, 관정은 대부분 폐공 시킴	8
51	라제주유소	신계궁	△	○		324-5992	3
52	라제카센타	신계궁	△	△	상수도	폐유 모아 차로 처리함, 오형철(대표, 324-2255)	5
55	김삿갓	세말	△	○	관정('98 80m, 사용량 : ?)	324-5992	3
69	일신공업사	세말	△	△	소형관정	폐유 집유하여 처리,	5
70	성림카센타	설천면	△	△		폐업, 폐차재 야외방치	5
71	주야공업사	설천면	△	△		부동액 가게 뒤편으로 방출	5
72	태성공업사	설천면	△	×		집유시설 ×	8
73	장터 카세차장	설천면	△	△		집유용 ○ (324-1101)	5
74	설천면 식당 및 숙박업소	설천면	△	△		*7	5
75	관공서	설천면	△	△		소방서, 면사무소, 우체국, 농협	5
76	설천초등학교	설천면	△	○	관정('92 3 60m,	화장실용으로 사용	3
77	구천동주유소	설천면	△	○	상수도		3
78	대미공업사	설천면	△	○	상수도	집유처리이정철 (324-7369)	3
79	금호타이어	설천면	△	○	상수도	집유처리, 김홍철(324-8081)	3
80	설천중학교	설천면	△	○	관정('93 70m, 자연 : 5m, 안천 : 48m	학교자체 처리시설 갖춤	3
83	학어재온천폐공	학어재	△	△		자재 야외방치	5
93	카센타	청량리	△	△	지하수 사용	날마다 집유처리	5
94	폐 주유소	청량리	△	△	지하수 사용	'97~'98 휴업	5
95	설천휴게소	청량리	△	△	지하수 사용		5
97	쓰레기 집하장	하임	△	×		지붕 ×, 군에서 처리	8
103	반딧불 자연학교	청량리	△	△		분교에서 용도변경	5
109	폐차장	하길산	△	△		집유처리, 박재원(322-1472)	5

<표 > 무주 부남면 오페수정화처리 조사표(계속)

*1	숙박 : 사랑민박, 무주민박, 구천민박, 콘도식민박, 가나다민박, 알프스민박, 별장민박, 영남산장, 금산여관, 천안민박, 유성장, 우진여관, 청송민박, 그린파크, 설인장, 광명민박, 영남민박, 선화민박, 시골민박, 예덴민박, 금산민박, 한양민박
*2	식당 : 진미회관, 백련가든, 유림회관, 옛날 손짜장, 웅기 생삼겹살, 차이나청, 산천회관, 만리정성, 향미식당, 명가 한우 전문점, 명동가든, 새참야참, 화산상회, 전주음식식당, 당돌회관, 별미가든
*3	경복장, 백연장, 상록마을, 궁전장콘도, 길손민박, 무주콘도민박, 힐 사이트 모텔, 구천장, 낙원산장, 만수정, 백암정, 새서울산장, 일신산장, 코리아 하우스, 장계콘도, 귀빈장, 덕유산장, 무주그랜드장, 산천정, 알프스산장, 제일산장, 한국 스포랜드
*4	전주, 함지, 전주일미, 전주진미, 새전주, 전주, 전주원조, 원조할매전주식당, 국수잔치, 실내포장마차(회), 태성회관, 제일회관, 전주음식관, 전주회관, 전주가든, 전주민속회관, 전주산채식당, 해찬돌야식, 분식
*5	숙박 : 산수여관, 신세계민박, 스키민박, 왕성파크, 슈퍼민박, 덕유산모텔, 배방하우스, 소나무하우스, 현대민박, 진이민박, 로얄파크, 고향민박, 금산민박, 중앙파크, 만선파크, 리조트여관, 일번지모텔, 월드하우스, 웨미리하우스, 서부민박, 앤젤파크, 월드하우스, 그랜드여관, 월드파크, 로그하우스, 준파크장
*6	식당 : 산수식당, 낙원횃집, 송림회관, 왕성가든, 무주한우촌, 낙원한식, 미림회관, 오류도회관, 칠봉산회관, 갈비촌, 한솔회관, 산골가든, 만선가든, 중앙회관, 일번지가든, 초원회관, 서부식당, 신세계가든, 대원회관, 음식마을, 조선가든
*7	매화분식, 미락식당, 양지식당, 궁전식당, 송박사탕수육, 영화식당, 낙원식당, 약속회관, 온누리식당, 대원식당, 우리식당, 윤가고가, 에덴식당, 영분식, 원하우스, 설원식당, 전주, 일미, 전주분식, 현대식당, 구천식당, 토박이식당, 상도식당, 서린여관

< 표 > 합병정화조 시설현황 조사내역

번호	위치 및 설치자	면적(m ²)	용도	처리용량		시공업체	현장조사		등급
				(톤)	가중치		정화조	수질	
1	무주, 읍내, 881 신오장	49.91	음식점			후소환경			
2	무주, 당산, 718 김승길	117.35	음식점			대진환경			
3	무주, 읍내, 249-5 김정만	27.65	음식점			태광산업			
4	무주, 읍내, 1222 이희자	66	식품접객업(휴게)			승원			
5	무주, 읍내, 1222 이희자	33	음식점			후소환경			
6	무주, 읍내, 299-2 (2층) 변윤섭	264	음식점			대진환경			
7	무주, 당산, 1642-1 쌍용건설(하수처리장)	663.3	사무실, 급식시설			대진환경			
8	무풍, 현내, 503 무풍중학교 사 택	260.34	사택			승원산업			
9	무풍, 현내, 316-12 김양권	49	식당			후소환경			
10	무풍, 현내, 650 김상호	221.61	음식점 주택			고려산업			
11	무풍, 현내, 316-10 양신보	50.4	단란주점			후소환경			
12	무풍, 현내, 316-5 갈민이	97.2	음식점			후소환경			
13	설천, 소천, 983-27 무주교육청	471.36	사택			유성			
14	설천, 소천, 983-27 설천교육연 립주택	471.36	연립주택			석우건설			
15	설천, 소천, 790-5 김세배	30.5	식품 접객업			건우엔지 니어링			
16	설천, 삼공, 덕유산 야영장	151.8	샤워장			창일화학			
17	설천, 삼공, 덕유산 야영장	151.8	샤워장			창일화학			
18	설천, 삼공, 396-4 김도일	199.2	식당 주택			성신			
19	설천, 삼공, 덕유산 야영장	151.8	샤워장			삼신그린			
20	설천, 삼공, 덕유산 야영장		음료수대			삼신그린			
21	설천, 삼공, 447 덕유산 야영장	51.84	공중변소			효성바이 오			
22	설천, 삼공, 산62-5 공원관리사 무소	342.72	수련장 (야영장)			동성하이 테크			
23	설천, 삼공, 산62-5 공원관리사 무소	369.92	사무실			동성하이 테크			
24	설천, 삼공, 367-21 양명조	46.65	음식점			후소환경			

< 표 > 합병정화조 시설현황 조사내역(계속)

번호	위치 및 설치자	면적(m ²)	용도	처리용량		시공업체	현장조사		등급
				(톤)	가중치		정화조	수질	
25	적상, 삼가, 953-1 선산토건	45.36	식당			후소환경			
26	적상, 삼가, 861-5 남광	61.2	사무실			청수산업			
27	적상, 삼가, 309-5 (주)인덕건설	27 46	식당 사무실			승원산업			
28	안성, 사전, 1224 안성중학교	239.28	사택			청수산업			
29	안성, 장기, 902-5 우원건설	151.2 252	식당 사무실			승원산업			
30	안성, 장기, 1469 강호철강	172.8 160.8	식당 사무실			성화산업			
31	안성, 장기, 1308-146 (2층)	65	식당			승원산업			
32	무주, 읍내, 352-4 중앙연립	2,298	다세대						
33	무주, 읍내, 839 한국통신		전화국						
34	무주, 읍내, 343 무주초등학교		학교						
35	무주, 읍내, 335-5 무주고교		학교						
36	무주, 읍내, 316 한전아파트		공동주택						
37	무주, 읍내, 464-1 프라자A		공동주택						
38	무주, 읍내, 307 무주신협		사무실						
39	무주, 읍내, 229-1 무주군청		사무실						
40	무주, 읍내, 1220 상록아파트		공동주택						
41	무주, 당산, 225-1 (터미널)		터미널						
42	무주, 당산, 720 김숙현	2,993.85	숙박시설 목욕탕			수도건설			
43	무주, 읍내, 343 한국빌라		공동주택						
44	무주, 읍내, 1300-5 근영아파트	4,644	공동주택			대한정화 건설			
45	무주, 읍내, 343 무주초등학교	2,330.6	학교			태성			
46	무주, 당산, 1238 변윤섭	2,723	근린생활 숙박시설			아주건설			
47	무주, 읍내, 1427-2,3 (주)비사 벌	25,303	숙박시설			비사벌			
48	무주, 당산, 627외9필지 남강의 료재단	7,387	의료시설			대하건설			

< 표 > 합병정화조 시설현황 조사내역(계속)

번호	위치 및 설치자	면적(m ²)	용도	처리용량		시공업체	현장조사		등급
				(톤)	가중치		정화조	수질	
49	무주, 장백, 725-4 조영택	1,224	공동주택			형계건설 산업			
50	무주, 읍내, 1220 김미준	2,273	연립주택			대한정화 건설			
51	무주, 읍내, 168-2, 169 김무	2,556	근린생활 숙박시설			진흥개발			
52	무주, 당산, 1257-5 정창명		근린생활 시설주택			신우공영			
53	무주, 당산, 568, 569 김영동		숙박시설			육산건설			
54	무주, 당산, 720 김숙현	3,065	숙박시설			서울정화 개발			
55	무풍, 삼거, 산5-43 김영성	836	숙박시설			거성건설			
56	무풍, 삼거, 산5-37 임봉남	767 77	숙박시설 주택			대한환경			
57	무풍, 삼거, 산5-42 김인지,노자침	615	숙박시설			대한환경			
58	무풍, 삼거, 산5-39 김옥식,송숙자	615	숙박시설			거성건설			
59	무풍, 현내, 산110외5필지 박선균	22,502	관광숙박			만오환경			
60	무풍, 삼거, 342외2필지 오균섭	2,609	숙박시설			대신			
61	무풍, 삼거, 343-1 윤성개	488	근린숙박			송암건설			
62	무풍, 삼거, 120 락대영	15,508	콘도미니 엄			경천엔지 니어링			
63	무풍, 현내, 631, 무풍초등학교	2,458	학교			(주)태성			
64	설천, 소천, 884-13 쌍방울개발	2,807	공동주택			가람종합 환경			
65	설천, 소천, 884-25,23,22 쌍방울A	5,970	아파트			가람종합 환경			
66	설천, 기곡, 449-4, 454 김혜정	920	숙박시설 근린생활			대윤환경			
67	설천, 소천, 900 (설천초등)교육장	4,061	학교			석우건설			
68	설천, 소천, 786-51 김복만	394	근린생활			강서건설			
69	설천, 소천, 684-14 백희수	387	음식점등			거북환경			
70	설천, 소천, 907-1 설천중학교	3,166	학교						
71	설천, 삼공, 522-3 새서울장		숙박시설						
72	설천, 삼공, 530-17 (귀빈장)	1,659	숙박시설			대하건설			

< 표 > 합병정화조 시설현황 조사내역(계속)

번호	위치 및 설치자	면적(m ²)	용도	처리용량		시공업체	현장조사		등급
				(톤)	가중치		정화조	수질	
73	설천, 삼공, 522-5 박상환(산천장)	1,438	숙박시설			서울정화건설			
74	설천, 삼공, 456-1 덕유산관리사무소	54	화장실 샤워실			효성마이오			
75	설천, 삼공, 456-1 덕유산관리사무소	115	사무실			효성마이오			
76	설천, 삼공, 530-12 김영성	2,233	숙박시설 목욕장			강동공영			
78	설천, 삼공, 530-19 박현철	3,419	숙박시설			쌍방울건설			
79	설천, 삼공, 411-5 박현철	1,995	숙박시설			쌍방울건설			
80	설천, 삼공, 522-9 박현철	1,727	숙박시설			쌍방울건설			
81	설천, 심곡, 587-14 김영갑	298	숙박시설			송암건설			
82	설천, 삼공, 377-12 이진우	292	숙박시설			대신			
83	설천, 심곡, 611-1 최성규	299	근린생활 숙박시설			대신			
84	설천, 심곡, 679-17 박태욱	295	숙박시설			시온환경			
85	설천, 심곡, 563-6,8 김분남	299	숙박시설			송암건설			
86	설천, 심곡, 1071-1, 245 오영선	796	숙박시설			대신			
87	설천, 심곡, 568-10,567-6전육단		근린숙박			대신			
88	설천, 심곡, 623-6 조순복		숙박시설			대신			
89	설천, 삼공, 377-1 최창심	299	여관			대하			
90	설천, 삼공, 309-2 박태규,	586	공공시설			남진정화			
91	설천, 삼공, 822-1외 5필지 구 천출장소	1,001	공공시설			유진토건			
92	설천, 심곡, 679-16 장덕만	198	소매점			대신			
93	설천, 심곡, 314 구천초등학교	440	학교급식			석우건설			
94	설천, 심곡, 563-6.7.8 이혜경,	599	숙박시설			동화개발			
95	적상, 사산 523-1 김영만	1,480	근린생활 숙박시설			유성기업			
96	적상, 사산 516-1 정용기	919	숙박시설			대신			
97	적상, 사산 516-7 신흥규	490	숙박시설			대신			

< 표 > 합병정화조 시설현황 조사내역(계속)

번호	위치 및 설치지	면적(m ²)	용도	처리용량		시공업체	현장조사		등급
				(톤)	가중치		정화조	수질	
98	적상, 사신, 523-1 율용선	1,488	숙박시설			한국수지			
99	적상, 사친, 619, 619-1, 619-2 강완기	798	근린생활			현재건설 산업			
100	적상, 북창, 451 최성봉	295	근린생활			유산건설 개발			
101	적상, 북창, 287 권영준	1,177	여관 및 음식점			대도엔지 니어링			
102	적상, 북창, 산38 추광문		음식점 주택			세영건설			
103	적상, 북창, 465 이규정		기숙사			대하건설			
104	적상, 포내, 360 한진		사무실						
105	적상, 북창, 산41 한전양수발전 치	3,195	사무실 휴게소			효성엔지 니어링			
106	적상, 사산, 1002 적상초등학교	2,057	학교			태성			
107	적상, 사산, 1002 적상초등학교		학교						
108	적상, 북창, 산119-1 국립공원 사무소	60.48	공중WC 매표소			태성			
109	안성, 사전, 582외2 김상희	2,723	숙박시설 부대시설			독도건설			
110	안성, 장기, 1329-17 서범석	199	근린생활			대신			
111	안성, 장기, 1566, 1196 안성면 청사	1,339	공공시설			유림환경			
112	안성, 공정, 산6 자연학습원	3,532	공공업무 시설			대하건설			
113	안성, 사전, 584-1 안성휴게소	1,525	휴게소			아주건설			
114	안성, 장기, 1923-4 이성배, 김 평중	1,833	공장 사무실			유영건설			
115	안성, 장기, 1923-12 양수암	2,152	공장 사무실			태승개발			
116	안성, 사전, 1224 안성중학교	3,917.6	학교			태성			
117	부남, 굴암, 92-2,5 송정수	2,013	근린생활 숙박시설			청정			
118	부남, 대소, 505 부남초등학교	2,149	학교			태성			

참고문헌

Aller et al., 1987, DRASTIC : A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeologic Settings, USEPA-600/2-87-035.

USEPA, Office of Water(WH-550), 1993, A Review of Methods for Assessing Aquifer Sensitivity and Ground Water Vulnerability to Pesticide Contamination, USEPA-813-R-93-002.

Jaroslav Vrba et al., 1994, Guidebook on Mapping Groundwater Vulnerability, International Contributions to Hydrogeology, Vol. 16.

이광식, 농업기반공사, 1997, 농어촌지역 상수보존 및 오폐수처리에 관한 연구, p. 384

농업기반공사, 1999, 농어촌환경진료시스템 개발에 관한 연구.

(주)쌍방울건설, 무주남대천의 수질 개선대책연구, 1996

(주)엘지이엔씨, 자연친화형 남대천 오염하천 정화사업 실시설계 종합보고서, 1997

청원군, 1998, 초정, 미원지구 환경영향조사, p. 767

이광식, 정창식, 박계현, 장호완, 1997, 무주 지역 각섬암의 지구화학 및 Sm-Nd 동위원소 연구, 자원환경지질학회지, Vol. 30, No. 4, p. 313-320.

박정웅, 이용일, 1997, 백악기 무주분지의 층서 재정립, 지질학회지, Vol. 33, No. 2, p. 65-77.

한정상, 1994, H 연구지역의 수리지질-수리분산특성과 지하수 오염가능성 평가연구, 자원환경지질학회지, 27(3), pp295~311.

우남철, 1994, 지하수 오염 가능성 평가기법 "DRASTIC" 개요, 자원환경지질학회지, 27(6), pp611~612.

한정상, 1994, 제주도 지하수 자원의 보호전략에 관한 연구, 지질학회지, 30(3), pp325~340.

민경덕, 이영훈, 이사로 외, 1996, DRASTIC을 이용한 지하수 오염 가능성 분석 및 그래픽 사용자 인터페이스 개발연구, 지하수 환경, 3(2), pp101~109.

황난희, 1996, DRASTIC과 GIS를 이용한 제주도 지하수의 오염취약도 연구, 서울대 환경대학원 석사학위 논문.

이사로, 최순학, 1997, GIS 기법을 이용한 영광지역의 지하수 오염 취약성 평가, 지하수 환경, 4(4), pp223~230.

안홍일, 1998, 지리정보시스템을 이용한 공단지역 및 농촌지역에서의 지하수 오염 평가에 관한 연구, 서울대학교 자원공학과 박사학위 논문.

조시범, 1998, GIS를 이용한 경기도 평택군 지역의 지하수 오염 가능성 평가 연구, 연세대학교 지구시스템과학과 석사학위 논문.

Han, J. S. et al., 1990, An Assessment of Groundwater Pollution Potential of a Proposed Petrochemical Plant Site in Ulsan, South Korea, Jour. Korean Inst. Mining Geol., 23(4), pp425~452.

N. Doerfliger et al., 1999, Water vulnerability assessment in karst environments : a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method), Environmental Geology, Vol. 39, No. 2, p. 165-176.

I. S. Zektser et al., 1995, Regional assessment and mapping of groundwater vulnerability to contamination, Environmental Geology, 25, p. 225-231.

Gabor Bekesi, Jack McConchie, 2000, Empirical Assessment of the Influence of the Unsaturated Zone on Aquifer Vulnerability, Manawatu Region, New Zealand, Ground Water, Vol. 38, No. 2, p. 193-199.

James W. Merchant, 1994, GIS-based Groundwater Pollution Hazard Assessment : A Critical Review of the DRASTIC Model, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 60, No. 9, p. 1117-1127.

J. A. Ray, P. W. O'dell, 1993, DIVERSITY : A new method for evaluating sensitivity of groundwater to contamination, Environmental Geology, 22, p. 345-352.