

초정미원지역의 지질과 토양에 관한 연구

나 기 창

충북대학교 지구환경과학과

요약 : 초정미원지역은 시대미상의 옥천층군과 이를 관입한 쥬라기의 대보화강암류와 백악기의 암맥류로 이루어졌다. 옥천층군은 하부로부터 미동산층, 운교리규암층, 운교리층, 화전리층, 창리층, 황강리층으로 이루어지며 미동산층과 운교리규암층은 주로 규암으로 구성되며 운교리층은 사질천매암, 화전리층은 석회질 혹은 이질 천매암, 창리층은 이질 내지 탄질 천매암, 황강리층은 역질 천매암으로 구성된다. 대보화강암류는 흑운모화강암, 반상화강암 및 복운모화강암으로 구성되며 맥암류는 석영반암과 소규모의 규장질-고철질 암맥으로 구성된다. 옥천층군의 주요 선형구조는 N25-45E, NS, N30-45W 방향인 바, N25-45E방향은 등사습곡과 1차엽리를 발달시킨 연성변형에 기인하며 NS와 N30W는 단층과 절리를 야기한 취성변형에 기인한다. 화강암지역인 1구역에서의 NS와 N30-45E 방향은 암맥의 관입방향과 일치한다. 이 지역의 토양은 양토, 세립 사질 양토, 사질 양토, 역질-사질 양토, 암피와 각력이 있는 양토, 암피와 각력이 있는 사질 양토, 부식토, 자갈과 모래가 있는 하도 퇴적물 및 암석산지 등으로 나누어진다. 이들은 풍화 잔류토양과 총적토로 크게 구분되는 바, 잔류토양에서 Cd, Cr, Cu, Pb, 및 Zn 등은 각각 평균 0.2, 50.6, 35.5, 27.9, 93.4 mg/kg 이며 총적토에서는 각각 평균 1.2, 68.2, 9.1, 25.0, 83.8 ppm 이다. 잔류토양에 비하여 총적토양에 Cd와 Cr값이 높으나 Cu, Pb, Zn의 함량은 낮음이 특징이다. 잔류토양이나 총적토 모두 환경오염 기준치를 초과하지 않는 비오염토양이며 부화지수의 경우도 잔류토양의 경우 0.37, 총적토의 경우도 0.38로 오염되지 않은 토양으로 볼 수 있다. 단 부화지수도에서 볼 수 있는 것처럼 남부지역으로 갈수록 높아지는 경향은 암석분포에 기인하는 것인지 오염인자와 관련된 것인지는 좀 더 연구할 필요가 있다.

핵심어 : 옥천층군, 규암, 천매암, 선형구조, 엽리, 절리, 양토, 잔류토양, 총적토, 부화지수

서 론

초정미원 지역은 예로부터 초정 광천수의 산출 지역으로 널리 알려진 곳이다. 최근에는 여러 먹는 샘물 업체들이 지하수를 개발하여 지하수의 보존문제와 오염문제가 심각한 민원을 일으키고 있는 실정이다.

이번 조사 연구는 청원군이 발주하여 농어촌진흥공사가 실시하고 있는 청원군 북일면, 미원면, 낭성면 일대의 지하수 환경 영향 조사사업의 일부로서, 1997년 3월 충북대학교 기초과학연구소가 농어촌진흥공사로부터 위탁받아 실시한 지질 및 지체구조와 토양조사 연구이다.

이 연구소의 지질환경연구센터에서는 1997년 3월부터 12월까지 이 지역에 대하여 지하수 유동 및 오염과 관련되는 정밀 지질조사와 토양조사를 실시하여 세부지질구조도와 토양분포도를 작성하였으며 GIS 기법을 이용하여 조사내용을 전산화하였다. 야외 지질조사는 국립지리원에서 제작한 1:2,5000 축척의 지형도를 사용하였으며 1:25,000 지질도와 토

양도를 작성하였다.

이 논문은 정밀 지질조사와 토양조사를 통하여 얻은 자료와 기존 자료들을 종합하고 실내 연구 결과를 정리한 것이다.

지형 및 지질개요

조사지역은 지형 조건에 따라 크게 2부분으로 나누어 설명할 수 있다. 초정지역은 기복이 낮은 언덕과 계곡으로 이루어지는 저지대이며 미원-낭성지역은 이들을 내려다보는 산지사면 또는 V형계곡이 잘 발달된 지역이다. 이러한 지형 분포는 이 지역의 지질과 밀접한 관계를 가지고 있는 바, 전자는 주로 화강암질 암석이 분포된 지역이며 후자는 주로 옥천층군인 변성퇴적암류가 분포된 지역이다. 이들 양 암석들에 대한 차별 침식으로 두 지역의 표고가 50~100 m 이상 차이가 있다. 화강암 지역의 풍화도는 보통 10 m 이상이며 곳에 따라 20~30 m를 넘기도 하나 변성퇴적암 지역은 일반적으로 이보다 풍화심도가 얇다.

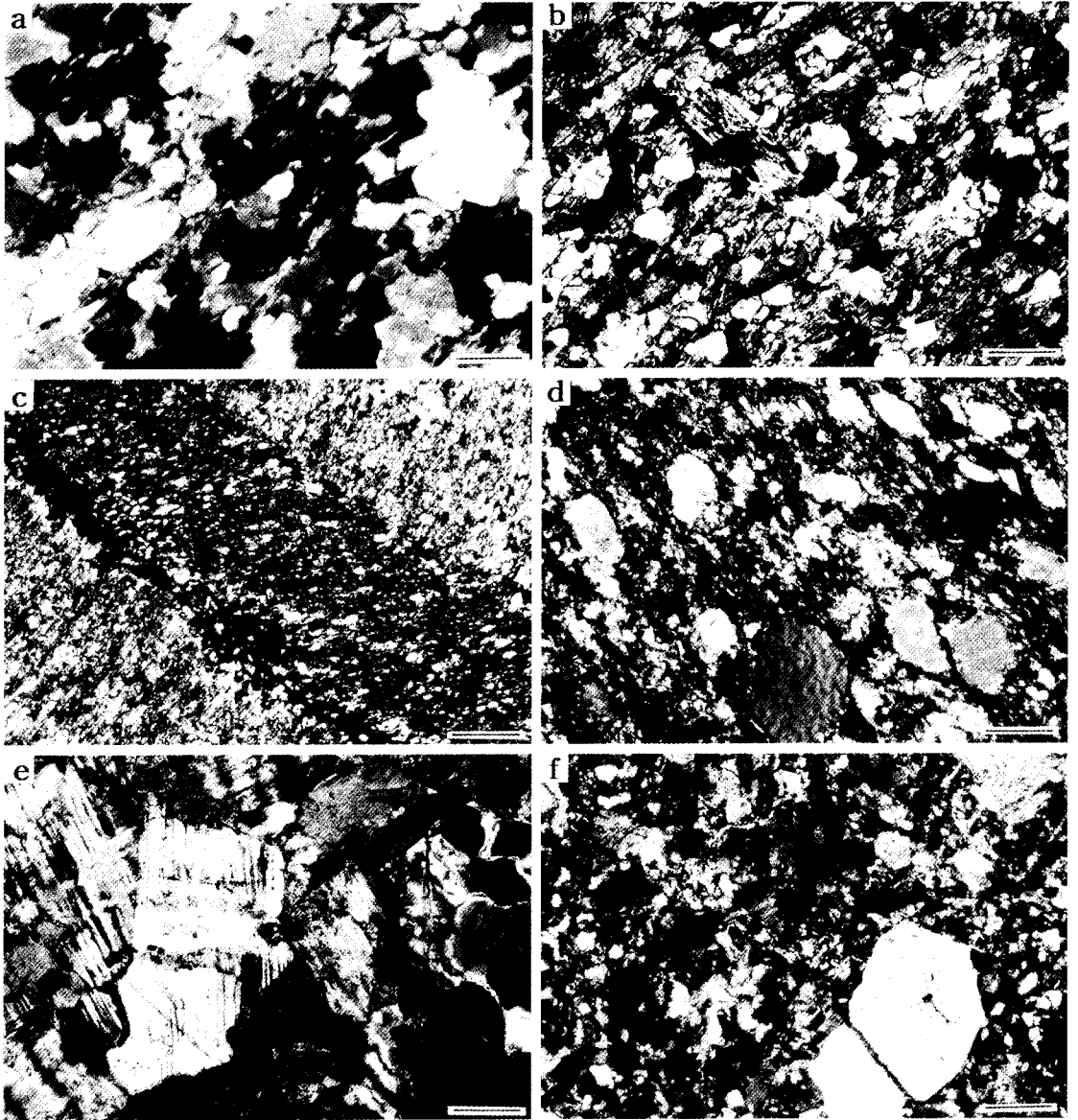


Fig. 2. Photomicrographs of the rocks of studied area (scale bar; 0.2 mm). (a)Quartzite of Midongsan Formation. 10×4, XPL (b)Sandy pyllite of Ungyori Formation. 10×4, XPL (c)Kink band and crenulations of pyllite in Changri Formation. 10×4, XPL (d)Pebble-bearing pyllitic rocks of Hwanggangri Formation. 10×4, XPL (e)Porphyritic granite. 10×4, XPL (f)Quartz porphyry. 10×4, XPL.

황강리층은 옥천층군에서 가장 특징적인 암석으로 본 조사지역에서는 동남우의 미원면 어암리 일대에 분포하며 주로 자갈을 갖는 천매암으로 구성되어 있다. 지역에 따라 기질이 이질인 것과 사질인 것으로 나누어지며 이들은 다시 탄질분을 함유하는 것과 석회질을 함유하는 것으로 나뉘어진다. 함유된 자갈의 종류는 주로 규암과 석회암이며 그

밖에 점판암, 천매암, 석영맥, 화강암, 편마암, 반암 등이 있으며 함유된 자갈의 종류와 크기 및 변형상태가 불규칙하다(Fig. 2d). 석회질 기질을 갖는 곳에서 석회암의 자갈이 가장 많고 신장도가 양호하나 규암이나 화강암은 강인하여 신장성이 없고 부분적으로 각력화된 외양을 보인다. 자갈의 크기는 직경 2mm(주로 석영립)에서 40cm(주로 규암)까지 다양

하며 분급도가 불량하다. 방해석, 석영, 투회석, 투각섬석, 흑운모, 견운모, 녹니석, 스피넬 등의 양적인 순서로 구성된다. 석회질 성분이 없는 곳에서는 주로 석영, 백운모, 흑운모, 녹니석을 포함하며 자철석, 전기석, 스피넬 등이 수반된다. 석영, 백운모, 흑운모 등은 편리를 따라 신장 배열되어 천매암질 구조를 잘 보여준다.

육천층군의 변성 퇴적암류들은 광역변성작용과 접촉변성작용이 중복된 복합적인 변성작용을 받았다. 이질과 사질암에서의 녹색 편암상을 이루는 광물군은 녹니석, 백운모, Na-사장석, 흑운모, 스틸프노멜린 등이며 염기성암에서는 녹니석 대신 양기석이 안정하다. 석회질 암석에서는 방해석, 돌로마이트, 금운모, 활석 등이 안정된 광물이다. 각섬암상의 광물군은 니질암에서 규선석, 각섬석, 사장석, 근청석, 남정석, 십자석 등이다. 녹색편암-각섬암 접이상에서는 녹니석 대신 석류석이 안정하다. 사장석의 성분은 녹색 편암상, 접이상, 각섬암상에서 각각 $An_{4.5}$, An_{10-28} , An_{28-54} 로 변한다. 각섬암상의 니질암에서 Al_2SiO_5 동질다상은 주로 규선석이나 간혹

Table 2. Modal mineral compositions of Cheongju granite

| | 반상 화강암 CN-3 | 흑운모 화강암 CN-8 | 복운모 화강암 CN-9 |
|------|----------------|-----------------|-----------------|
| 석영 | 32 | 25 | 24 |
| 정장석 | 13 | 21 | 19 |
| 미사장석 | 15 | 5 | 8 |
| 사장석 | 18 | 24 | 22 |
| 흑운모 | 12 | 18 | 16 |
| 백운모 | 1 | 2 | 6 |
| 각섬석 | 5 | 3 | 2 |
| 녹니석 | 3 | 2 | 2 |
| 저콘 | 1 | tr | tr |
| 자철석 | 1 | tr | 1 |

규선석과 홍주석 혹은 규선석과 남정석이 공존하기도 한다. 그러나 남정석과 홍주석이 공존하는 경우는 없으며 규선석과 홍주석이 공존하는 경우는 광역 변성작용에 의한 것도 있으나 화강암과의 접촉부에서 특히 많이 나타나는 것으로 보아 접촉 변성작용이 중첩된 결과인 듯하다. 흑운모를 포함하는 육천층군 변성 이질암에서 변성작용과 변형작용의 시간관계를 밝히기 위한 미구조연구에서 첫번째

Table 3. Chemical compositions and CIPW norm of igneous rocks of Chojeong area

| | CN-3 | CN-4 | CN-7 | CN-8 | CN-9 | CDN-12 | CDN-13 | CDN-14 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | 70.03 | 72.12 | 71.64 | 73.13 | 70.08 | 70.22 | 53.34 | 50.78 |
| TiO ₂ | 0.42 | 0.45 | 0.53 | 0.22 | 0.43 | 0.24 | 0.58 | 0.89 |
| Al ₂ O ₃ | 14.89 | 13.99 | 14.24 | 14.28 | 15.02 | 15.12 | 17.33 | 16.45 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.21 | 1.56 | 1.32 | 1.88 | 1.22 | 1.26 | 6.89 | 4.02 |
| FeO | 0.32 | 0.42 | 0.53 | 0.54 | 0.33 | 0.23 | 3.22 | 6.23 |
| MgO | 0.33 | 0.25 | 0.43 | 0.45 | 0.38 | 0.35 | 4.54 | 6.12 |
| MnO | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.32 | 0.21 |
| CaO | 1.98 | 1.79 | 1.85 | 1.43 | 1.95 | 1.88 | 6.83 | 9.39 |
| Na ₂ O | 4.41 | 4.02 | 4.45 | 3.48 | 4.12 | 4.21 | 2.12 | 1.54 |
| K ₂ O | 3.78 | 3.45 | 3.05 | 2.98 | 3.92 | 3.03 | 1.02 | 1.67 |
| P ₂ O ₅ | 0.12 | 0.18 | 0.32 | 0.23 | 0.12 | 0.32 | 0.34 | 0.35 |
| LOI | 1.12 | 1.22 | 1.56 | 1.33 | 1.38 | 1.45 | 1.78 | 1.66 |
| Total | 98.63 | 99.48 | 99.94 | 99.97 | 98.98 | 98.34 | 98.31 | 99.31 |
| Q | 26.16 | 32.37 | 30.82 | 38.88 | 27.36 | 31.40 | 17.13 | 6.48 |
| or | 22.93 | 20.77 | 18.34 | 17.87 | 23.76 | 18.50 | 6.25 | 10.11 |
| ab | 38.22 | 35.58 | 38.23 | 29.82 | 35.68 | 36.72 | 18.56 | 13.33 |
| an | 9.36 | 9.36 | 7.32 | 5.83 | 9.20 | 7.69 | 30.06 | 33.78 |
| C | 0.19 | 0.77 | 0.94 | 3.26 | 0.71 | 2.24 | 1.06 | |
| | | | | | | | 4.34 | |
| Di | | | | | | | | 3.16 |
| | | | | | | | | 1.45 |
| Hy | 0.85 | 0.64 | 1.09 | 1.14 | 0.97 | 0.90 | 11.76 | 12.51 |
| | | | | | | | 1.74 | 5.74 |
| mt | 1.12 | 0.15 | 0.24 | 1.18 | 1.19 | 0.15 | 10.09 | 5.97 |
| he | 0.47 | 1.48 | 1.18 | 1.09 | 0.43 | 1.20 | 0.18 | |
| il | 0.87 | 0.87 | 1.02 | 0.42 | 0.47 | 0.47 | 1.14 | 1.73 |
| ap | 0.27 | 0.40 | 0.71 | 0.51 | 0.27 | 0.72 | 0.76 | 0.78 |

CN-3,4,7 : Porphyritic granites

CN-8,9 : Two mica granites

CDN-12 : Felsic dyke

CDN-13,14 : Mafic dykes

변성작용은 점판벽개를 생성시킨 변형작용 이전에 일어났으며 이때 풍부한 흑운모 반상변정을 성장시켰으며 두번째의 변성작용은 점판벽개의 생성과 동시에 일어나 점판벽개에 평행하게 선택배향하는 기질의 석영, 백운모, 녹니석 및 흑운모를 재결정시켰다. 점판벽개를 형성한 변성작용은 송림변동으로 보는 것이 타당하리라 사료된다.

대동충균이 퇴적된 유라기 이래로 한반도는 아시아 대륙의 연변으로서 태평양판과의 수렴연변환경에 처하였으며 소위 시니안방향이 만들어지고 광범위한 대보화강암의 관입이 일어나게 되며 경기육괴와 영남육괴 사이에도 접촉변성작용과 더불어 광역적인 압축의 장이 형성되었으며 뒤따라 NE-SW방향의 Thrust들이 발달되었다.

옥천변성대 내에서 유라기의 화강암은 지구조적으로 변성대 분포와 조화적으로 분포함이 특징이며 본 초정-미원 지역에서도 접촉변성에 의한 접촉변성대는 광역변성작용과 구분이 곤란한 점이 특징이다.

유라기에 관입한 청주화강암체에 속하는 반상 화강암은 조사지역의 서부 평야지대와 구릉지에 주로 분포된다. 중립 내지 세립질의 기질에 직경 1~2 cm의 알카리장석의 거반정이 산재하며 기질은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 각섬석 등으로 구성된다 (Fig. 2e). 알카리장석 거반정은 피사이트일 경우가 많고 사장석은 올리고클레이스이다. 석영은 파동소광을 보이며 종종 파쇄된 구조를 보여준다. 곳곳에 동북방향의 소규모(폭 10 m 내외) 반암 암맥이 관입하여 구릉지의 능선을 이룬다. 흑운모 화강암은 미원면 대신리, 낭성면 인경리 일대에 암주상으로 운교리층을 관입한다. 세립~중립의 등립질이며 주 구성광물은 석영, 사장석, 정장석, 흑운모, 백운모, 각섬석 등이며 부성분 광물로는, 저콘, 인회석, 자철석 등이 함유되며 사장석은 주로 올리고클레이스이다. 복운모화강암은 반상화강암의 주변부에 곳곳에 분포하는바 청원군 가덕면 일대에 중립 내지 세립질로 암맥상 혹은 렌즈상 페그마타이트가 수반된다. 현미경하에서 석영, 피사이트, 사장석, 미사장석 및 흑운모들이 반자형 입상조직을 보여준다. 반상 화강암과 흑운모 화강암 및 복운모화강암의 구성광물의 모드 분석 값은 Table 2와 같으며 화성암류의 화학분석 값은 Table 3과 같다.

백악기 말에 관입한 암맥류로는 낭성면 삼산리와 현암리 일대에 남북방향으로 분포하는 석영반암이 가장 분포가 넓다. 소규모의 암맥들은 화강암과 옥천층군과의 접촉부를 따라 다수 분포하며 이들의 폭은 대체로 10 m 내외이다. 이들 암맥류는 석영반

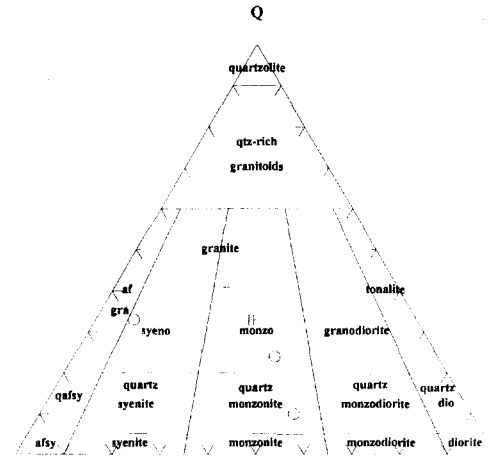


Fig. 3. Q-A-P diagram of granites and dykes of studied area (Modified from Strekeisen, 1978). cross: Modal compositions of granites, circle: CIPW norm compositions of dyke rocks.

암 (Fig. 2f), 화강반암 등으로 세분되며 그밖에 고철질 암맥이나 규장질 암맥들의 분포상태도 이들과 유사하다.

제4기의 총적층은 이상과 같은 모든 지층들을 부정합으로 덮으며 하천을 중심으로 5~20 m의 두께로 쌓여 평야지대를 형성한다. 사력층을 주로 하는 하도 퇴적물, 실트와 점토를 주로 하는 범람원 퇴적물들이 조사지역의 약 10%를 점하고 있다.

조사지역의 지질구조는 습곡, 단층, 열리형성과 관련된 변형과 절리계의 발달과정으로 설명된다. 옥천층군에 속하는 모든 지층들은 거의 전역에 걸쳐 등사습곡으로 심하게 변형되어 같은 층들이 반복 출현하고 있다 (Fig. 1). 이 중에서도 특히 중앙부에 N40E 방향을 갖는 2개의 북배사축이 특징적이며 변성작용에 따른 1차엽리는 대부분 층리면과 나란하나 2차, 3차변형이 진행됨에 따라 2차, 3차엽리가 형성되어 상호 교차되기도 하며 습곡축이 프러닝되기도 한다 (Fig. 4). 본 연구의 목적이 이 지역에 대한 지하수환경 영향조사이기 때문에 이 지역을 지형상의 분수령과 소하천 유역, 지층분포 등을 참고하여 8개의 구역별로 나누어 (Fig. 5) 스테레오 넷 상에 투영해보면 Fig. 6과 같다. I~V구역은 대체로 유사하여 N50~70E, 65~80SE 방향이 우세하며 VI~VII구역은 주향은 이들과 유사하나 경사방향이 65~80NE이다. 낭성면에 해당되는 VIII구역은 경사방향이 SW와 NE가 거의 대등하게 분포되며 이는 조사

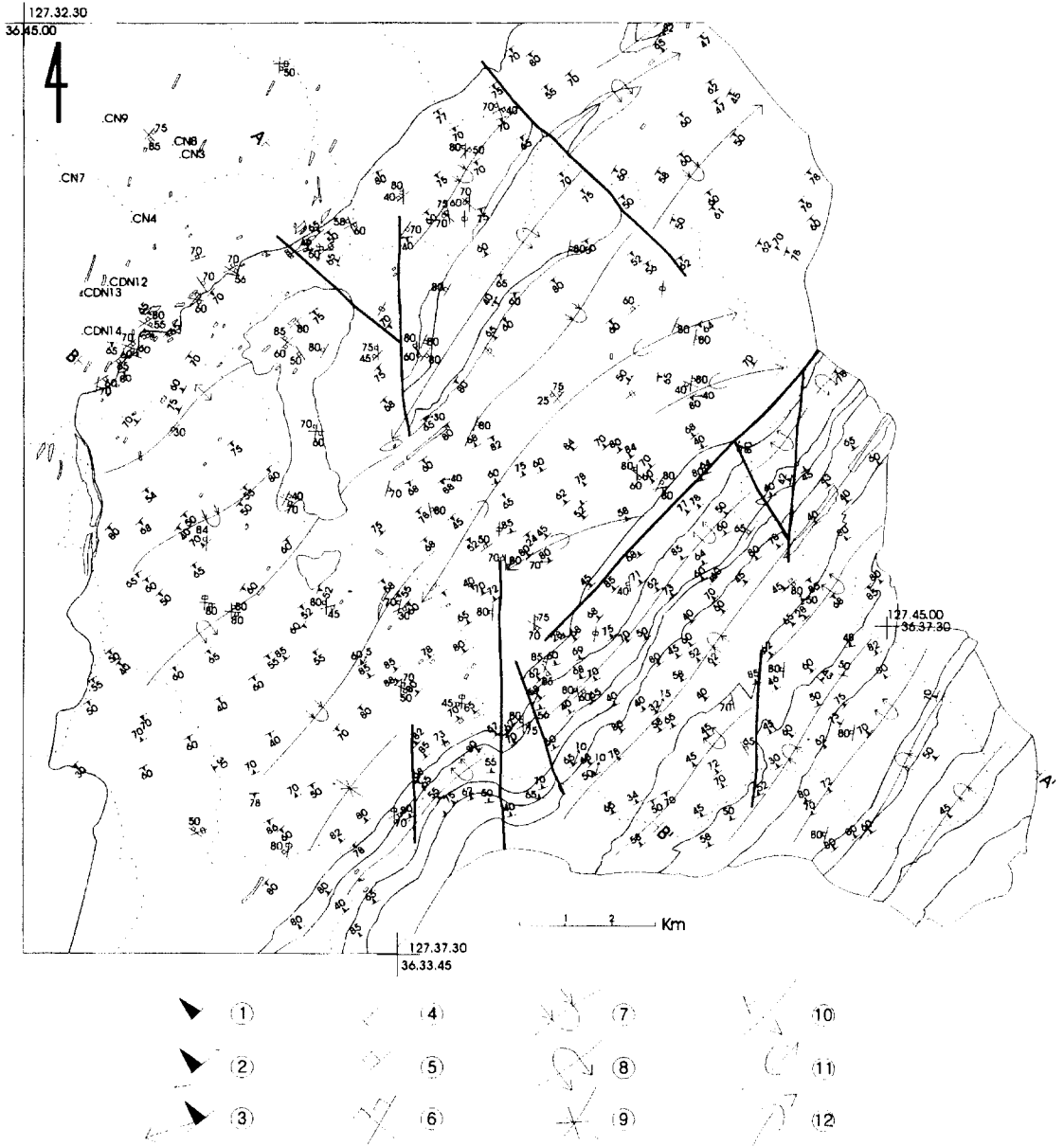


Fig. 4. Structural geologic map of Chojeong-Miwon area. CN figures show sampling sites of igneous rocks chemically analyzed in Table 3. ①F1 foliation ②F2 foliation ③Lineation of F1 foliation plane ④Vertical joint ⑤Inclined joint ⑥Crossed joint ⑦Overturned syncline axis ⑧Overturned anticline axis ⑨Syncline axis ⑩Anticline axis ⑪Plunged syncline axis ⑫Plunged anticline axis.

지역 전체 구역의 1차엽리 상태와 유사하다.

단층은 NS 방향, N30~40E방향 및 N30~45W방향이 우세하며 이들은 각각 역단층과 정단층 및 주향이동 단층의 특성을 갖는다. 절리의 방향 역시 단층방향과 유사한 방향을 갖는 바 이들의 방향을 구

역별로 나누어 스테레오넷에 투영하면 Fig. 7과 같다. I구역은 화강암의 분포가 넓고 옥천층군과 화강암의 접촉부에 해당되어 절리의 분포가 다른 구역과는 차이가 있으며 II~VIII 구역은 유사한 양상을 보여준다. 전체적으로 20°이하인 환경사의 절리는

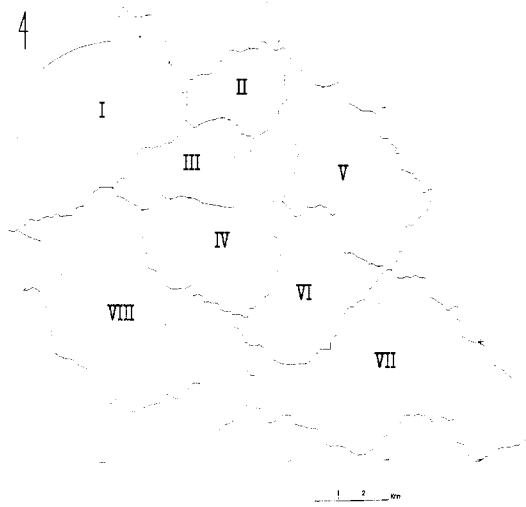


Fig. 5. Structural domains of Chojeong-Miwon area.

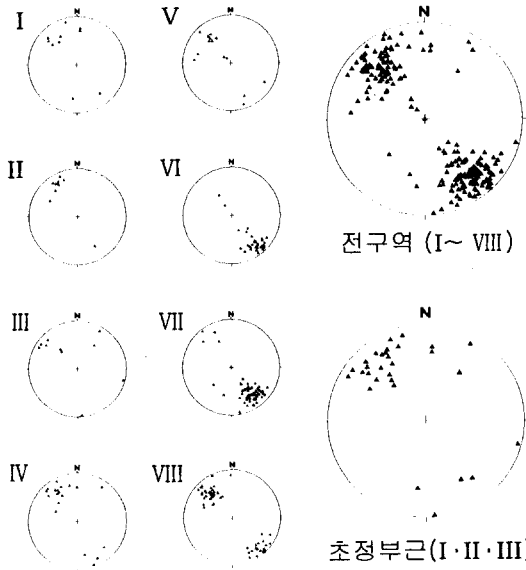


Fig. 6. Stereoplots of pole of foliations in the structural domains.

거의 볼 수 없고 70°이상의 급경사 절리가 우세하다. 구성암석 중에는 암맥류가 절리의 발달이 가장 양호하며 다음에는 규암과 석회암도 비교적 절리가 잘 발달된다.

조사지역의 인공위성 영상으로부터 얻은 선형구조의 분포상태는 Fig. 8과 같다. 단층과 절리 및 층리와 엮리면, 암맥의 분포가 선형구조를 지배하는

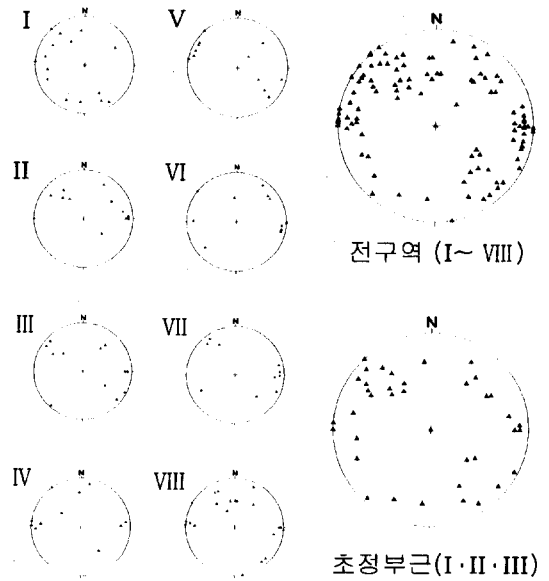


Fig. 7. Stereoplots of pole of joints in the structural domains.

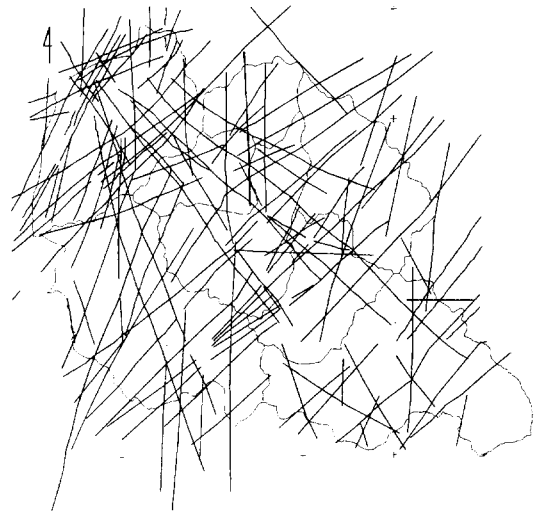


Fig. 8. Tectolineaments of Chojeong-Miwon area.

바 이들을 구역별로 나누어 장미도에 나타내면 그림 7과 같다. 전 구역에 걸쳐 골고루 분포되는 가장 우세한 선형구조의 방향은 N45E이며 다음이 N25E와 N5E이다. N50W방향도 전 구역에 골고루 분포되며 V~VIII구역에서는 두 번째로 우세한 방향으로 이는 이 방향으로 잘 발달되는 정단층구조와 관련된 것으로 보인다.

Table 4. Soil Groups of Cheongwongun area.

| 토양군 | 특징 |
|--------------|---|
| ①낙동 - 화봉 토양군 | 하성평탄지, 배수가 매우 양호한 하성 충적층의 사질토양 |
| ②신홍 - 함창 토양군 | 하성평탄지, 배수 약간 불량 내지 불량한 하성 충적층의 식양질 내지 사양질 토양 |
| ③사촌 - 상주 토양군 | 곡간 및 선상지, 배수 양호 내지 약간 불량한 곡간충적층의 사양질 토양 |
| ④화동 - 극락 토양군 | 충적대지, 배수 약간 양호 내지 약간 불량한 충적층의 식질 토양 |
| ⑤예산 - 오산 토양군 | 저구릉 및 구릉지, 배수 양호한 화강암 및 화강편마암계에 기인된 잔적층의 사양질 내지 각력이 있는 사양질 토양 |
| ⑥삼각 - 외산 토양군 | 구릉 및 산악지, 배수 매우 양호 내지 양호한 화강암, 화강편마암 및 편암계에 기인된 잔적층의 사양질 내지 자갈이 많은 사양질 토양 |

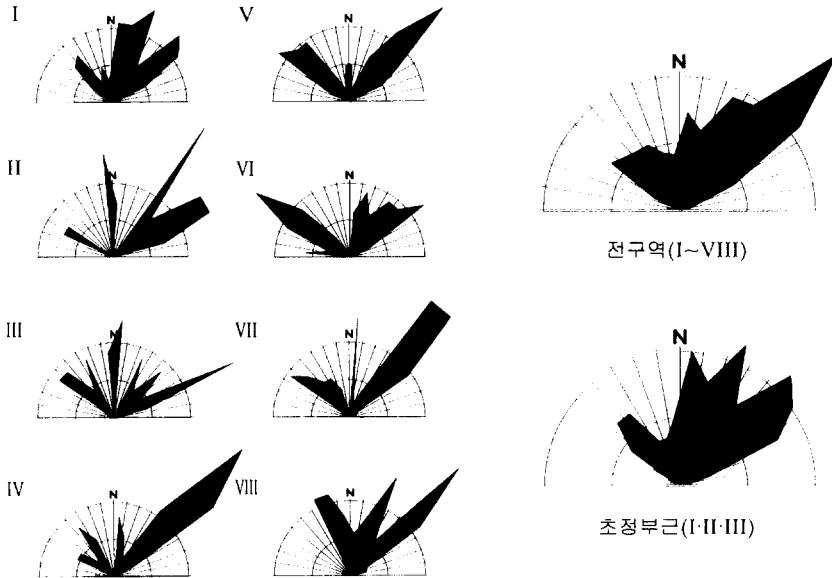


Fig. 9. Rose diagrams of Tectolineaments in the structural domains.

토양의 분류

농촌진흥청에서 발간한 청원군 지역의 1:25,000 정밀 토양도(1972)에 의하면 청원군지역의 토양은 Table 4 에서와 같이 6개의 토양군으로 나누어진다.

조정-미원 지역은 이중에서 ①토양군은 볼 수 없으며 ⑤와 ⑥토양군이 대부분을 차지한다. 북일면 조정부근(Fig. 5의 1구역)과 미원면 일부(Fig. 5의 3구역)는 ⑤토양군에 해당되는 화강암 풍화 잔적토인 저구릉 및 평지의 배수 양호한 사양질 토양에 속하며 그밖의 구역은 하천에 따른 곡간 충적층을 제외하고는 대부분 ⑥토양군에 해당하는 구릉 및 산악지의 편암 내지 천매암에 기인한 잔적층의 토양이다. 정밀토양도에서는 이들을 다시 120개의 토양통으로 나누어 기재하고 있으나 본 지하수환경 조사에서는 이들을 지하수환경 특성상 다음과 같이 9개로 분류하여 개략토양도를 만들었다(Fig. 10).

- 양토(a)
- 미사양토(b)
- 사양토(c)
- 자갈이 포함된 양토-사양토(d)
- 암괴와 각력이 있는 양토(e)
- 암괴와 각력이 있는 사양토(f)
- 식양토(g)
- 자갈과 모래를 주로한 하도퇴적물 (h)
- 암석을 주로한 토양(i)

토양의 화학분석 및 결과

이 지역의 토양의 오염상태를 알아보기 위하여 조사지역에서 총 15개의 토양을 채취하여 중금속을 대상으로 화학분석을 실시하고 그 결과를 토양환경 보전법의 시행규칙 및 기존 연구 결과와 비교·평가하였다. 토양의 시료채취는 주로 기반암의 풍화

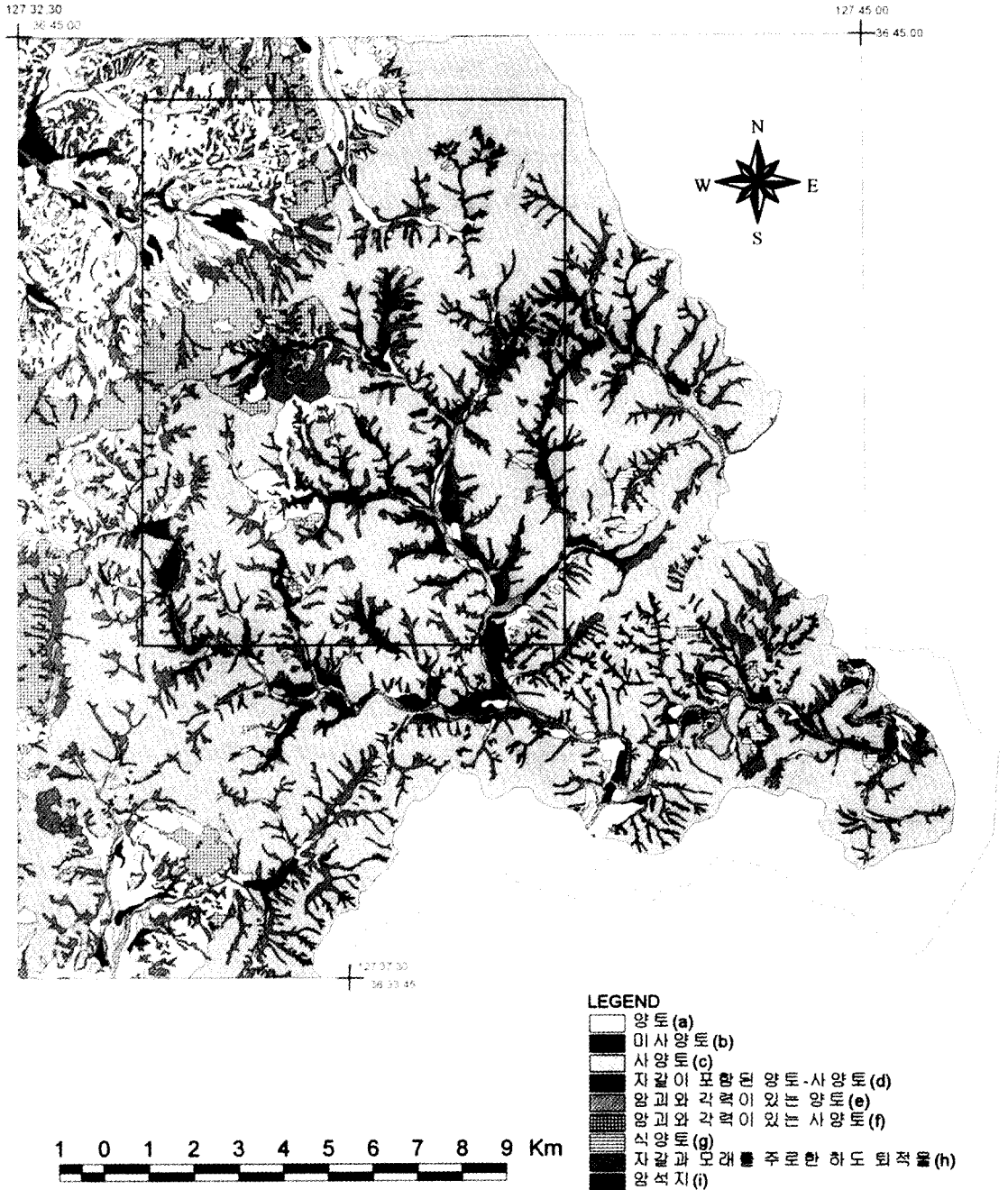


Fig. 10. General soil map of Chojeong and Miwon area. loam(a), fine sandy loam(b), sandy loam(c), pebble-bearing loam and sandy loam(d), block and breccia-bearing loam(e), block and breccia-bearing sandy loam(f), clay loam(g), pebble sandy channel deposit(h), rocky mount field(i).

잔류토양(잔적토) 시료들을 채취하였으며 채취지역은 Fig. 11과 같다. 잔류토양시료는 모종삽을 이용하여 상부토양(1~15 cm 깊이)을 채취하였으며 각

시료의 대표성을 높이기 위하여 하나의 시료 채취 지점에서 10개 이상의 부시료를 택하여 평균 1kg 이상을 시료로 하였다. 총적토양은 현재의 하상에

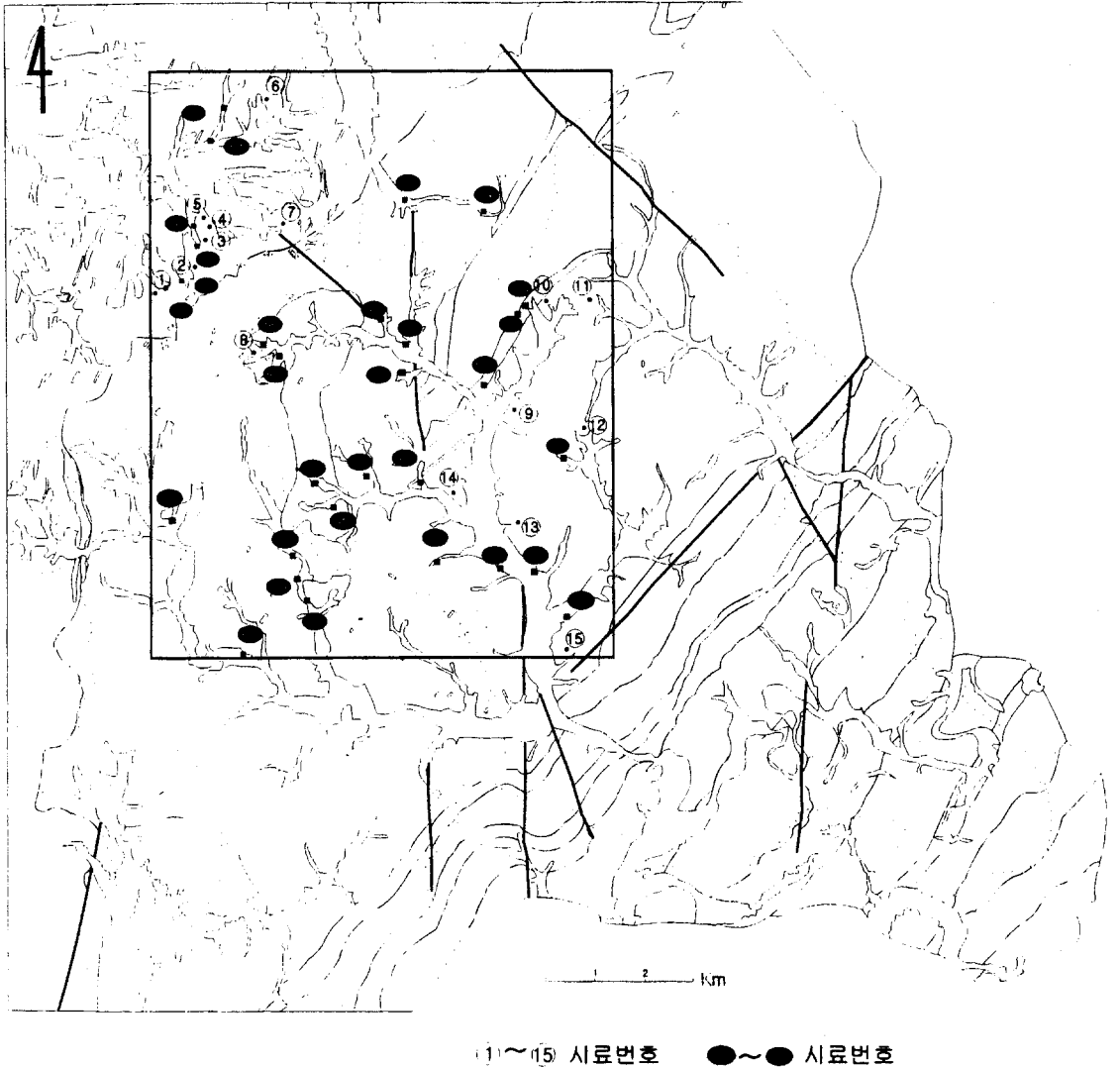


Fig. 11. Location map of soil sample collection, overlapping in geologic map of studied area.

서 채취지점 부근의 토양을 고르게 채취하여 하천수와 함께 체를 이용하여 200 MESH 이하의 미사와 점토를 1kg 이상 얻었다. 채취된 시료는 공기중에서 자연 건조시켰다.

토양 내의 중금속 함량을 측정하기 위하여 환경부에서 1996년부터 시행하고있는 토양환경보전법에서 제시한 산가용침출법을 사용하여 Cd, Cr, Cu, Pb, 및 Zn 등 5개원소를 대상으로 화학분석을 실시하였다. 분석 결과를 비교 검증하기 위하여 기초과학지원연구소에 의뢰하여 동일시료를 재분석하였다. 이들 분석결과와 Table 5와 같다.

또한 조사지역에서 채취한 토양시료들의 중금속 함량의 범위, 산술평균, 중앙값, 기하평균 그리고 오염이 되지않은 토양의 자연 배경값, 오염허용 한계값 및 "토양오염 우려기준(농경지)" 등을 Table 6에 제시하였다.

토양 내의 중금속원소 분석 결과 Cd, Cr, Cu, Pb, 및 Zn의 평균함량은 각각 0.2, 50.6, 35.5, 27.9 및 93.4로서 Bowen(1979)이 제시한 비오염지역의 자연토양내 평균함량(중앙값)을 벗어나지 않고 있다. 또한 Kloke(1979)가 제시한 토양오염 허용한계값(tolerable level)과 1996년부터 시행된 "토양환경

Table 5. Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn values in the residual and alluvial soils of studied area(unit : mg/kg).

| Sample No. | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn | E.I |
|------------|-----|-------|------|------|-------|------|
| #1(WB1) | 0.1 | 9.4 | 5.5 | 37.9 | 34.5 | 0.18 |
| #2(B1-1) | 0.2 | 7.0 | 4.6 | 36.8 | 51.6 | 0.19 |
| #3(BS1) | 0.2 | 38.2 | 14.0 | 26.3 | 66.4 | 0.22 |
| #4(O1) | 0.1 | 38.2 | 22.3 | 29.5 | 98.6 | 0.26 |
| #5(G2) | 0.1 | 39.6 | 24.1 | 31.3 | 101.1 | 0.28 |
| #6(H3) | 0.3 | 6.4 | 8.1 | 22.8 | 72.0 | 0.19 |
| #7(In4) | 0.8 | 23.1 | 20.0 | 22.8 | 128.0 | 0.38 |
| #8(D5) | 0.2 | 73.6 | 39.2 | 48.2 | 142.0 | 0.46 |
| #9(7-26) | 0.2 | 86.2 | 27.0 | 19.0 | 79.6 | 0.28 |
| #10(29-6) | 0.3 | 112.0 | 46.0 | 23.9 | 110.0 | 0.45 |
| #11(O2) | 0.2 | 64.4 | 52.3 | 22.4 | 92.6 | 0.46 |
| #12(J12) | 0.2 | 56.6 | 48.7 | 19.8 | 97.9 | 0.43 |
| #13(Su13) | 0.2 | 71.4 | 32.8 | 21.9 | 95.4 | 0.33 |
| #14(82-11) | 0.2 | 63.4 | 90.4 | 25.0 | 121.0 | 0.72 |
| #15(86-15) | 0.2 | 68.8 | 97.6 | 31.2 | 110.0 | 0.79 |
| S1(M17) | 0.3 | 62.9 | 20.0 | 41.0 | 81.1 | 0.22 |
| S2(M16) | 0.5 | 51.8 | 17.0 | 28 | 142.0 | 0.32 |
| S3(M21) | 0.5 | 89.4 | 21.0 | 28 | 77.7 | 0.22 |
| S4(M22) | 0.5 | 123.0 | 7.7 | 30 | 45.7 | 0.26 |
| S5(M15) | 0.4 | 37.5 | 11.0 | 25 | 51.5 | 0.25 |
| S6(M14) | 0.6 | 49.4 | 12.0 | 28 | 84.0 | 0.31 |
| S7(M13) | 0.3 | 75.3 | 7.4 | 25 | 63.0 | 0.20 |
| S8(M12) | 0.5 | 63.1 | 17.0 | 27 | 48.3 | 0.31 |
| S9(M33) | 0.8 | 66.4 | 7.7 | 19 | 63.7 | 0.29 |
| S10(M32) | 1.5 | 54.3 | 5.2 | 14 | 31.3 | 0.41 |
| S11(M31) | 1.5 | 110.0 | 14.0 | 25 | 85.4 | 0.51 |
| S12(M29) | 2.5 | 65.2 | 5.2 | 20 | 58.3 | 0.65 |
| S13(M28) | 1.5 | 76.7 | 12.0 | 23 | 48.7 | 0.49 |
| S14(M27) | 0.5 | 48.5 | 1.0 | 12 | 44.0 | 0.16 |
| S15(M26) | 0.5 | 62.3 | 4.2 | 29 | 58.9 | 0.23 |
| S16(M24) | 0.9 | 53.2 | 1.0 | 25 | 54.8 | 0.29 |
| S17(M97) | 0.6 | 62.9 | 12.0 | 23 | 105.0 | 0.29 |
| S18(M85) | 0.2 | 88.5 | 11.0 | 25 | 132.0 | 0.20 |
| S19(M84) | 0.3 | 63.3 | 7.8 | 20 | 78.7 | 0.12 |
| S20(M83) | 0.5 | 90.4 | 7.6 | 19 | 82.5 | 0.22 |
| S21(M82) | 0.7 | 55.5 | 1.6 | 14 | 55.4 | 0.21 |
| S22(M78) | 0.8 | 63.0 | 6.4 | 21 | 97.2 | 0.26 |
| S23(M91) | 4.2 | 74.6 | 11.0 | 19 | 120.0 | 1.07 |
| S24(M92) | 0.5 | 67.1 | 10.0 | 19 | 163.0 | 0.22 |
| S25(M90) | 1.3 | 42.4 | 1.0 | 16 | 99.5 | 0.36 |
| S26(M81) | 3.4 | 44.0 | 1.9 | 16 | 83.0 | 0.83 |
| S27(M80) | 3.8 | 74.0 | 7.7 | 21 | 136.0 | 0.95 |
| S28(M79) | 2.5 | 65.7 | 7.0 | 22 | 112.0 | 0.62 |
| S29(M93) | 1.5 | 85.1 | 15.0 | 19 | 125.0 | 0.41 |
| S30(M73) | 2.3 | 80.6 | 11.0 | 21 | 86.0 | 0.61 |

#1-#15는 기초과학 지원연구소에서 S1-S30은 한국자원연구소에서 분석한 것임
부화지수 (E.I)=(Cu/50 + Pb/100 + Cd/1.5)/3

보전법"에 제시된 "토양오염 우려기준" 중에서 농경지에 대한 Cd, Cu, 및 Pb의 규제값에 미달하는 수치이다. 잔류토양과 총적토양을 비교해 보면 Cd와 Cr은 잔류토양에 비하여 총적토양에 많으나 Cu, Pb 및 Zn은 잔류토양에 비하여 총적토양에 적게 함유됨이 특징이다. 그러나 이는 토양의 화학분석 방법에 따라 중금속 함량이 달라짐을 고려해야 한다. 중금속 함량을 원소별로 보면 Cu와 Zn이 다른 중금속원소에 비하여 평균치보다 높은 곳이 많고 다섯

원소 중에서 3개 이상이 평균치보다 높은 값을 갖는 #8 지역과 #10 지역은 그 원인이 어디에 있는지 규명되어야 할 것이다.

토양오염은 단일 중금속의 오염현상 보다는 여러 원소들이 복합적으로 오염될 가능성도 있으므로 각 토양시료에 대한 종합적인 환경오염 여부를 조사하기 위하여 부화지수(Enrichment Index; E.I.)를 산출하였고(Table 5) 이들을 부화지수도에 나타내었다(Fig. 12). 그림에서 보면 미원면에 비하여 낭성면

Table 6. Statistical values of heavy metals from Table 5 and references.

| | | Cd | Cr | Cu | Pb | Zn |
|-----------------------------|------|---------|------------|----------|-----------|------------|
| 잔류토양 (시료수 15 개) | 범위 | 0.1-0.3 | 6.4-112.0 | 4.6-97.6 | 19.8-48.2 | 34.5-142.0 |
| | 평균값 | 0.2 | 50.6 | 35.5 | 27.9 | 93.4 |
| | 중앙값 | 0.2 | 56.6 | 27.0 | 25.0 | 97.9 |
| | 기하평균 | 0.2 | 37.7 | 25.3 | 27.0 | 88.3 |
| 총적토양 (시료수 30 개) | 범위 | 0.2-4.2 | 37.5-123.0 | 1-21 | 12-41 | 31.3-163 |
| | 평균값 | 1.2 | 68.2 | 9.1 | 25 | 83.8 |
| | 중앙값 | 0.7 | 64.3 | 7.8 | 21.5 | 81.8 |
| | 기하평균 | 0.8 | 65.8 | 7.0 | 21.7 | 77.5 |
| 자연토양 (중앙값) ^a | | 0.35 | 70 | 30 | 35 | 90 |
| 오염허용한계값 ^b | | 3.0 | 100 | 100 | 100 | 300 |
| 토양오염우려기준 (농경지) ^c | | 1.5 | 기준 없음 | 50 | 100 | 기준 없음 |

^aBowen(1979)

^bKloke(1979)

^c환경부 (1996)

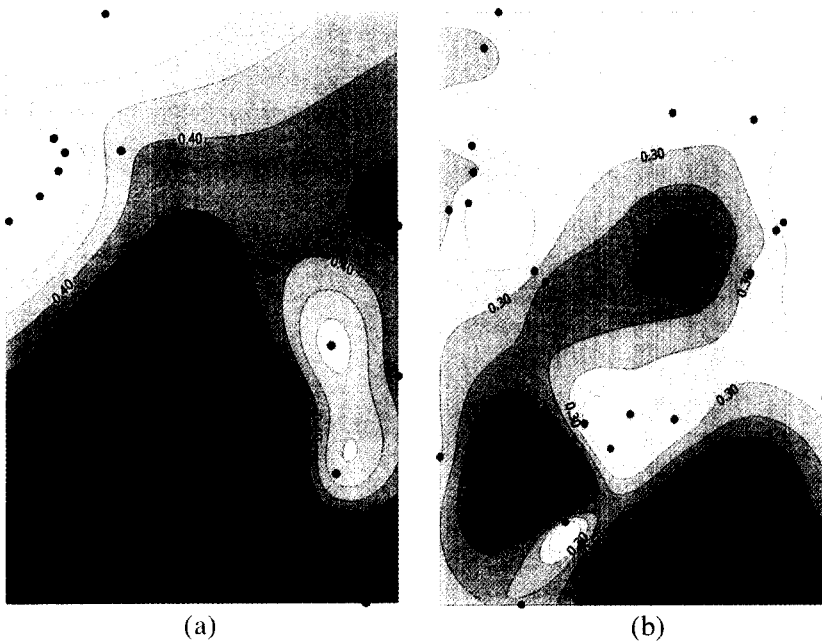


Fig. 12. Map of Enrichment Index(E.I). (a) : residual soil (b) : alluvium soil.

쪽으로 부화지수도가 약간은 높게 나타나는 바 그 원인은 좀 더 많은 시료를 채취하여 분석하고 검토해야 할 것이다. 그러나 전 지역의 Cd, Cu, 및 Pb 함량에 의한 부화지수는 0.19~0.79 범위이며 평균 0.37이고 총적토양의 경우 0.12~1.07 범위에 평균 0.38로서 이는 단일 중금속 오염뿐만 아니라 다원소들에 대한 종합적인 오염도 조사에서도 이 지역은 중금속에 의한 오염이 일어나지 않은 지역임을 알 수 있다. 따라서 조사지역 내의 토양은 인위적인 오염원이 존재하지 않는 일반적인 자연토양으로

규정할 수 있다.

토양의 물리적 성질

토양의 수리 역학적 성질을 알아보기 위하여 대표적으로 화강암 지역 중에서 가장 넓은 분포를 보이는 반상화강암지역 1곳(B0-B7, Fig. 13)과 옥천누층군 지역 중에서 가장 넓은 분포를 보이는 운교리층의 사질천매암지역 1곳(C0-C3, Fig. 14)을 택하여 깊이에 따른 토양표본을 채취하였다. 이들로부터 얻



Fig. 13. Residual soil section of porphyritic granite for collecting soil samples, Bukilmyeon Bisangri Gwanjae(scale bar ; 1m).

어진 각 토양단면의 특징과 공극률 및 투수율, 자연상태에서의 토양의 수분 함유량, 토양의 밀도 및 보수력 등은 Table 7과 같다.

기반암층의 깊이는 화강암 지역이 5m, 천매암 지역이 2m로 화강암지역이 풍화심도가 깊으며 A, B 및 C층을 합한 총 공극률은 화강암지역이 43.94, 천매암지역이 51.80으로 천매암지역이 크다. 밀도는 화강암지역이 1.29, 천매암지역이 1.15로 화강암지역이 크며 투수율은 화강암지역이 2.52, 천매암지역이 8.07이나 이는 층에 따른 편차가 커서 평균치로는 부적절하다. 즉 화강암지역은 최대투수율을 보여주는 B6시료가 5.152이고 최저투수율을 보여주는 B1시료(0.052)와 5.1의 격차가 있으나 천매암지역은 C0(26.79)와 불투수층인 C2와의 격차가 26.79로 격차가 크다. 포화시 투수량 역시 토양층에 따른 편차가 커서 평균치로서의 큰 의미가 없다. 자연상태의 토양수분 함유량은 화강암지역이 27.70, 천매암지역이 34.78로 천매암지역이 많다.

결 언

조사지역은 시대미상의 옥천층군 변성암류와 이를 관입하는 쥬라기의 대보화강암류로 이루어진 곳으로 옥천층군은 사질천매암, 규암, 이질 또는 석회질의 천매암, 역질 천매암 등과 같은 변성도가 낮은 변성암류로 구성되며 화강암류는 흑운모 화강암, 반상화강암 및 복운모화강암류들로서 몬조나이트질 화강암이 주를 이룬다.

조사지역의 지질구조를 구역별로 나누어 엮리, 절리 및 선형구조를 고찰한 결과 초정지역과 기타지역을 비교하여 보면 엮리계의 발달상태는 현저한



Fig. 14. Residual soil section of sandy phyllite of Ungyori Formation for collecting soil samples, Miwonmyeon Hwa-wonri Samheung village(scale bar ; 1m).

차이를 보여주나 절리와 선형구조의 발달상태는 1구역을 제외하고는 유사한 양상을 보여준다.

옥천층군의 주요 선형구조는 N25-45E, NS, N30-45W 방향인 바, N25-45E 방향은 등습곡과 1차엽리를 발달시킨 연성변형에 기인하며 NS와 N30W는 단층과 절리를 야기한 취성변형에 기인한다. 화강암지역인 1구역에서의 NS와 N30-45E 방향은 암맥의 관입방향과 일치한다.

초정-미원지역의 토양은 양토, 세립사질 양토, 사질양토, 역질-사질양토, 암피와 각력이 있는 양토, 암피와 각력이 있는 사질양토, 부식토, 자갈과 모래가 있는 하도퇴적물 및 암석산지 등으로 나누어진다. 이들은 풍화잔류토양과 총적토로 크게 구분되는 바 잔류토양에서 Cd, Cr, Cu, Pb, 및 Zn 등은 각각 평균 0.2, 50.6, 35.5, 27.9, 93.4 mg/kg이며 총적토에서는 각각 평균 1.2, 68.2, 9.1, 25.0, 83.8 mg/kg이다. 잔류토양에 비하여 총적토양에 Cd와 Cr 값이 높으나 Cu, Pb, Zn의 함량은 낮음이 특징이다. 잔류토양이나 총적토 모두 환경오염 기준치를 초과하지 않는 비오염토양이며 부화지수의 경우도 잔류토양의 경우 0.37, 총적토의 경우도 0.38로 오염되지 않은 토양으로 볼 수 있다. 단 부화지수에서 볼 수 있는 것처럼 남부지역으로 갈수록

Table 7. Hydrodynamic soil properties of Chojeong-Miwon area.

| | 단면의 특징 | 깊이 (cm) | 시료의 무게 (건조상태) | 포화시 투수량 (cc/3 시간) | 비 고 |
|----|---|---------|--------------------|-----------------------|-----|
| B0 | A0 층, 약간의 유기물 포함 | 5 | 353.00 | 91 | |
| B1 | Red H. | 30 | 348.67 | 2 | |
| B2 | Pseudo-grey H. | 65 | 336.68 | 26 | |
| B3 | | 120 | 350.22 | 236 | |
| B4 | 풍화암석편 + 미립물층 (Pseudo-grey 와 풍화암석편 이 섞여있는 층) | 167 | 377.96 | 27 | |
| B5 | 풍화암석편과 미립토의 접이지대 | 280 | 403.37 | 170 | |
| B6 | C 층, 기반암 (풍화층) | 380 | 336.13 | 200 | |
| B7 | 기반층, 단면 최하위층 | 490 | 339.41 | 32 | |
| C0 | Humus 를 포함한 A 층 | 5 | 252.03 | 1040 | |
| C1 | Bioturbation 의 영향권, 뿌리층이 끝나는 부분 | 55 | 271.16 | 4 | |
| C2 | Bioturbation 의 간섭이 없는 부분 | 102 | 370.44 | 0 | |
| C3 | 기반암이 그자리에서 풍화된 부분 (정적 풍화층) | 150 | 378.99 | 210 | |

| | 공극률 (%) | Bulk density | PF=1 일때 토양의 보수력 (%) | 실린더 상단 에서의 보수력 (%) | 실린더 하단 에서의 보수력 (%) | 투수율 (cc/cm ² h) | 자연상태의 토양수분 함유량 (%) |
|----|---------|--------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| B0 | 45.44 | 1.353 | 39.71 | 41.36 | 41.78 | 2.344 | 37.68 |
| B1 | 50.91 | 1.341 | 46.35 | 47.10 | 47.15 | 0.052 | 43.55 |
| B2 | 46.55 | 1.280 | 46.19 | 44.96 | 44.60 | 0.670 | 37.61 |
| B3 | 44.26 | 1.309 | 44.02 | 43.11 | 43.00 | 6.079 | 32.19 |
| B4 | 39.08 | 1.345 | 35.12 | 36.23 | 36.28 | 0.696 | 18.04 |
| B5 | 35.59 | 1.463 | 29.82 | 30.66 | 31.39 | 4.379 | 17.18 |
| B6 | 47.26 | 1.148 | 46.00 | 45.40 | 45.33 | 5.152 | 20.76 |
| B7 | 42.47 | 1.145 | 32.15 | 34.56 | 35.28 | 0.824 | 14.62 |
| C0 | 60.56 | 0.832 | 55.48 | 54.94 | 55.34 | 26.790 | 32.40 |
| C1 | 57.92 | 0.929 | 55.16 | 54.79 | 54.11 | 0.103 | 34.00 |
| C2 | 45.40 | 1.439 | 43.66 | 44.46 | 43.97 | 0.000 | 39.82 |
| C3 | 43.34 | 1.435 | 42.48 | 42.43 | 41.62 | 5.410 | 32.91 |

높아지는 경향은 암석분포에 기인하는 것인지 오염 인자와 관련된 것인지는 좀 더 연구할 필요가 있다.

사 사

이 연구는 충청북도 청원군과 농어촌진흥공사와의 연구협약에 의하여 충북대학에 지원된 연구용역 사업의 일환으로 이루어졌다. 논문을 심사해주고 수정 및 보완의 노고를 아끼지 않으신 진명식 박사와 김용준 교수에게 감사드리며 야외조사와 실내작업에 협조해준 충북대학교 지구환경과학과 학생들에게도 사의를 표한다.

참고문헌

나기창, 이창진, 최병렬, 1986, 충북의 지질과 광물자원, 충청북도 농촌진흥청, 1972, 청원군 1:25,000 정밀토양도

이종혁, 이민성, 박봉순, 1980, 1:50,000 한국지질도 미원도폭, 자원개발연구소, p.29
 이종혁, 김정환, 1971, 1:50,000 한국지질도 증평도폭, 국립지질조사소, p.30
 장태우, 이병주, 1995, 변성육천대의 지질구조, 이종혁 교수 정년퇴임 기념논문집. p.153-178
 환경부, 1996, 토양환경보전법편람
 Bowen, H.J.M., 1979, Environmental chemistry of the Elements: Academic press, London, 333p.
 Klocke, A., 1979, Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury, and nickel in plants grown on contaminated soil: UN-ECE Symp.
 Strekeisen, A.L., 1973, Plutonic rocks, classification and nomenclature recommended by the IUGS sub-commission on the systematics igneous rocks. Geotimes, 18, 26-30

(책임편집 : 진명식)

(1999년 12월 20일 접수, 2000년 1월 25일 수리)

Geology and Soils of Chojeong-Miwon Area

Ki Chang Na

Department of Earth & Environmental Sciences,
Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

Abstract : Chojeong area is mainly composed of the Ogcheon Group which consists of regionally metamorphosed, age-unknown sedimentary rocks. In the northwestern parts, the Group is intruded by the Jurassic Daebo granite and Cretaceous felsic and mafic dykes. The lowermost, Midongsan Formation which consists of milky white impure quartzite, crops out along the anticline axes with N40E trend. Ungyori quartzite Formation is intercalated with quartzite and slate. Miwon Formation is most widely exposed in the area and consists mainly of phyllitic sandy rocks with a thin crystalline limestone bed. Hwajeonri Formation is divided into two parts, pelitic lower and calcareous upper parts, composed with phyllite and slate. Changri and Hwanggangri Formations are typical members of Ogcheon Group, the former bearing coally graphite seams consists mainly of black slate and phyllite with intercalated greenish grey phyllite, the latter is pebble bearing phyllite formation of which matrix and pebbles are variable in compositions and size. Biotite granite, porphyritic granite and two mica granite belong to Jurassic so-called Dabo granite. They intruded the Ogcheon Group forming vast contact metamorphic zone. Quartz porphyry, mafic dyke and felsite intruded along the marginal zone of porphyritic granite batholith and fracture of NS trend. Main structural lineaments in Ogcheon Group shows N25-45E, NS and N30-45W trends. The N25-45E trends are mainly from general ductile deformation during regional metamorphism, showing isoclinal folding, F_1 foliations and lithological erosional characters. Some of these trends are due to normal faults. The NS and N30-45W trends represent brittle deformation including faults and joints. In the area of granitic batholith, NS to N30-45 trends are from the direction of dykes. In the soils of the area, average contents of heavy metal elements such as Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn are 0.2, 50.6, 35.5, 27.9, and 93.4 ppm respectively, which are not higher than the average values of natural soils, under the tolerable level. Enrichment Index does not show any heavy metal pollution in the area. Average depths of weathering(5m vs. 2m), porosities(43.94 vs. 51.80), densities(1.29 vs. 1.15), and permeabilities(2.52 vs. 8.07) are comparable in granite areas and in the phyllite areas of Ogcheon Group.

Key words : Ogcheon Group, quartzite, phyllite, lineaments, foliations, joints, loam, residual soil, alluvial soil, Enrichment Index