

Applied Geochemistry

토양지구화학

2조

구민수 박해동 손진

목 차

1 풍 화

2 토 양

3 지표환경에서의 지구화학적 분산

4 토양의 이상

5 지구화학적 토양조사

6 사례 조사

7 참고문헌



1-1. 풍화작용

물리적(기계적) 작용

- 응력 변화에 따른 파괴
- 서로 다른 결정 정위의 확장 비율 차이에 의한 파괴
- 온도 하강에 따른 물의 팽창에 의한 파괴
- 빙하의 이동 중 하부의 분쇄 작용에 의한 풍화
- 그 밖에 유수, 바람에 의해 이동하는 물질에 의한 풍화

화학적 작용

생물학적 작용



1-1. 풍화작용

■ 물리적(기계적) 작용

■ 화학적 작용

- 화학적 작용 >> 물리적 작용
- 구성성분 성질 조직에 변화 가능
- O₂, CO₂, 화합물 첨가 → 붕괴 능력 커짐
- 수화작용, 가수분해작용, 산화·환원작용, 탄산화 작용이 복합적으로 작용

■ 생물학적 작용



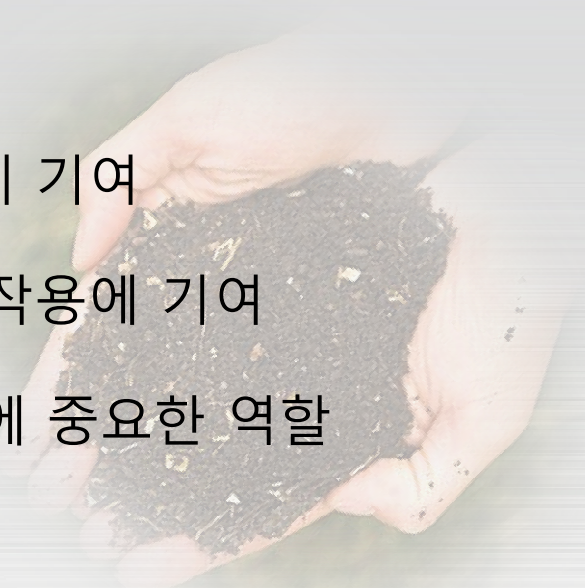
1-1. 풍화작용

■ 물리적(기계적) 작용

■ 화학적 작용

■ 생물학적 작용

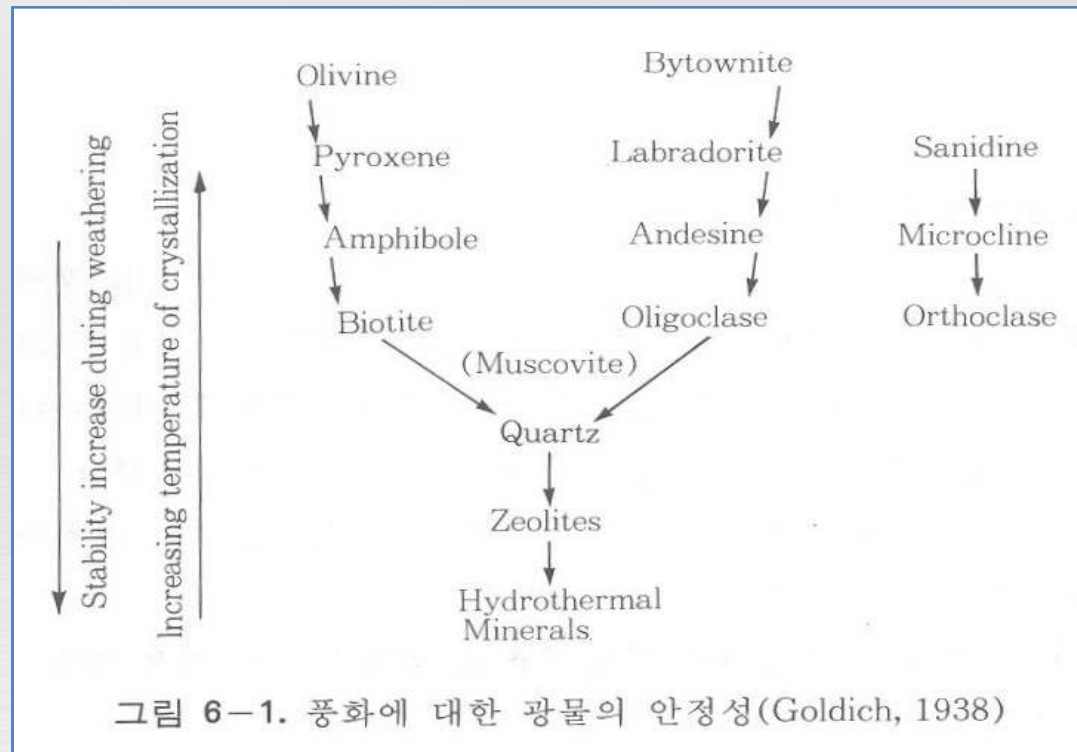
- 주로 지표면과 토양층에서 발생
- 식물의 뿌리가 암석에 박힘 → 물리적 작용에 기여
- 식물 뿌리 끝에서 생기는 극산성 → 화학적 작용에 기여
- 식물의 호흡작용과 증발작용도 화학적 작용에 중요한 역할



1-2. 풍화에 영향을 미치는 요인

풍화작용에 대한 광물의 저항력

- 지표에 근접하여 만들어진 것일수록 풍화에 대한 저항력이 큼
- 풍화에 민감한 순서 : 산화광물 < 규산염 < 탄산염 및 황화광물



1-2. 풍화에 영향을 미치는 요인

투수성

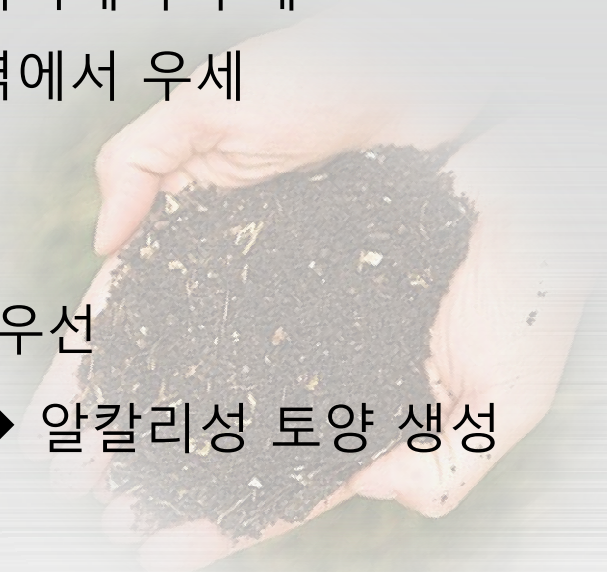
- 투수성이 클수록 풍화의 정도가 큼

기후

- 강우와 온도가 중요
- 화학적 풍화는 강우량이 많고 고원인 열대지역에서 우세
- 물리적 풍화는 건조하고 북극권에 있는 지역에서 우세

기복과 배수

- 산악지형 : 물리적 침식이 화학적 분해보다 우선
- 배수가 불량하면 지하수의 영향을 받는다 → 알칼리성 토양 생성



1-3. 풍화산물

■ 암석과 광석의 풍화산물

- 근원암으로부터 생긴 잔류 1차 광물
- 풍화작용으로 생긴 2차 광물
Ex) 점토광물, Fe, Al 산화물, 2차 광석광물, 고산 등
- 순환수에 의해 이동될 수 있는 용해성 있는 물질

■ 고산(gossan)

- Fe를 함유한 황화물과 탄산염의 산화로 형성된 Fe산화물
- 고산의 발달에 따라 다른 2차금속을 함유한 염을 포함하는 다른 광물들이 부수적으로 산출



1-3. 풍화산물

점토광물

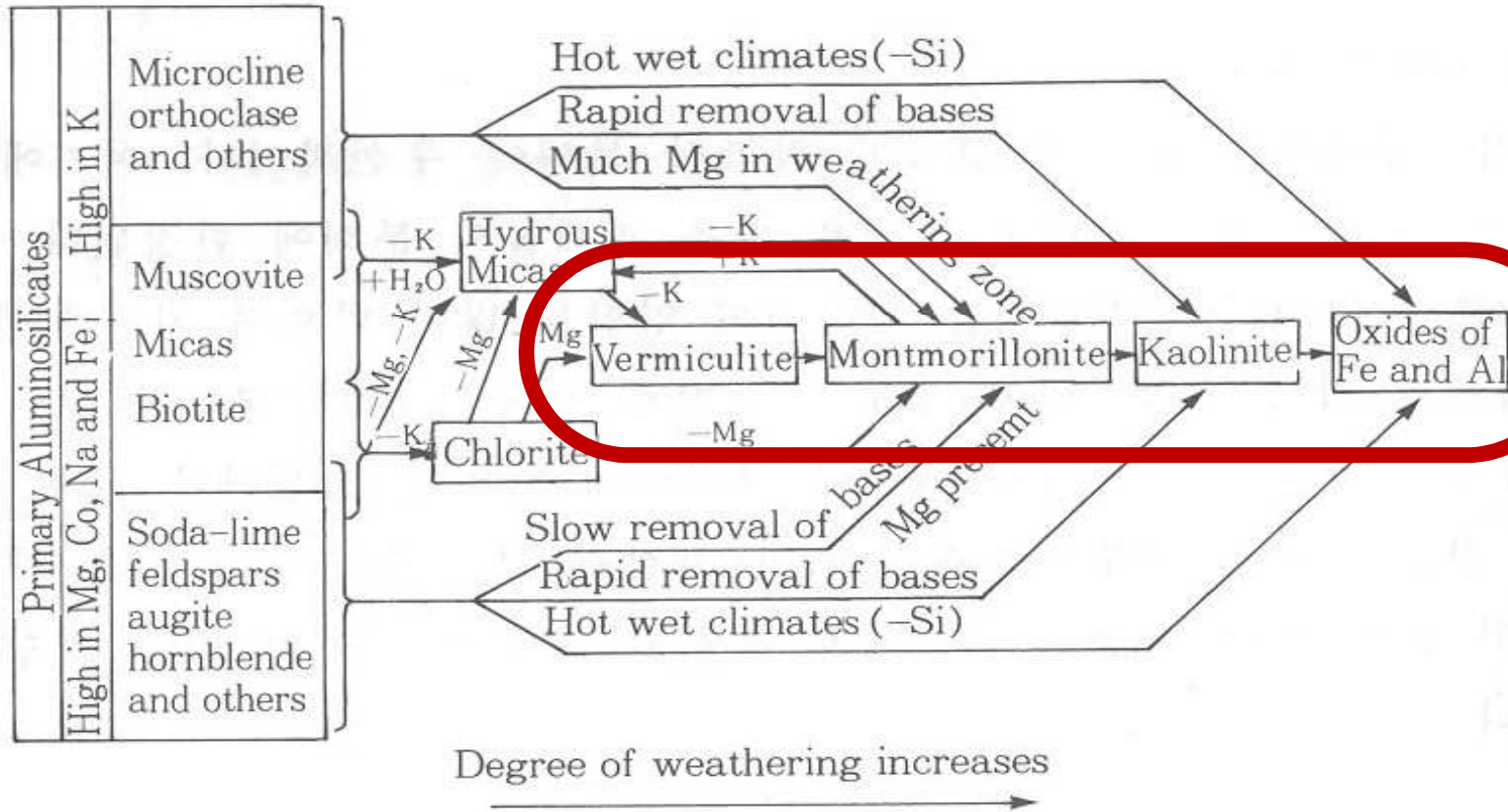
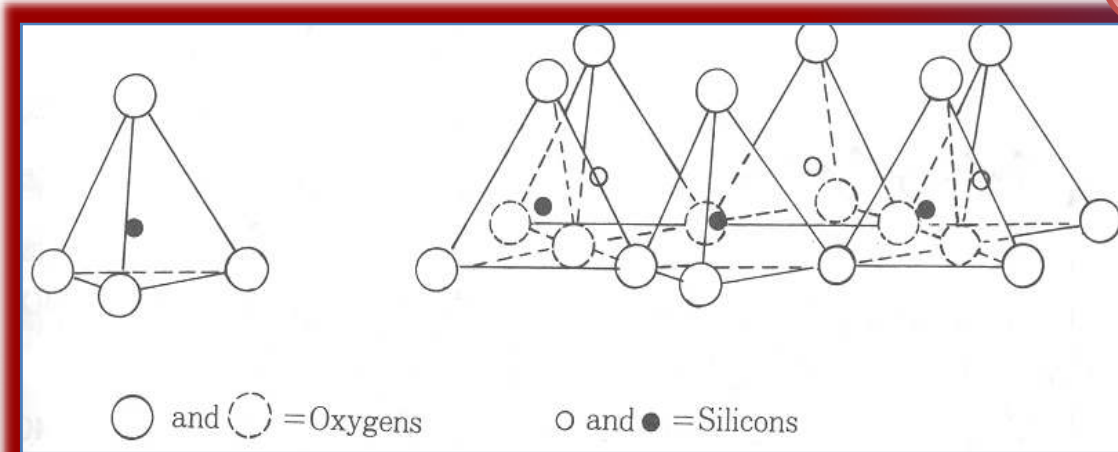


그림 6-2. 1차 광물의 풍화산물(Brady, 1974)

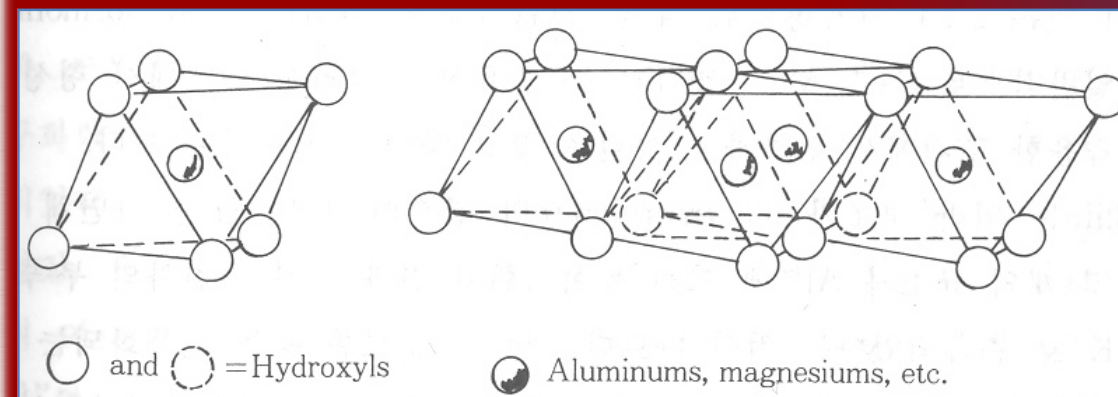
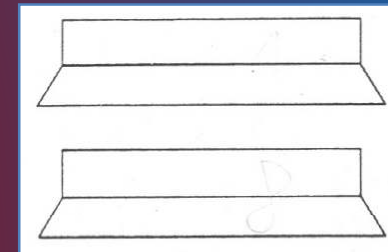
1-3. 풍화산물

점토광물의 결정구조



사면체 판(Silica sheet)

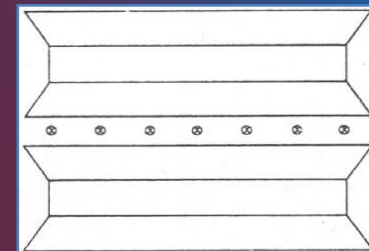
1 : 1 형 → Kaolinite



팔면체 판(Alumina sheet)

2 : 1 형

→ Illite, Montmorillonite



2-1. 토양 형성에 영향을 미치는 요인

기후(온도와 강우)

- 가장 큰 영향
- 토양에 삼투되어 들어간 물의 양, 깊이, 이동방향을 결정
(냉대습윤 : podzol, 고온다습 : laterite)

모재 및 지형

- 토양의 발달 속도와 정도 결정
- 깊고 화학적 풍화가 느릴 수록 모재의 영향 큼
- 지형이 평탄할수록 완전한 토양 단면 발달

식물

- 여러 역할을 수행(기후와도 관련)
- 그 자체가 모재, 물을 흡수, 뿌리의 영향

시간

- 풍화에 의해 모재가 집적되는 시간중요



2-2. 토양 생성작용

Podzol화 작용

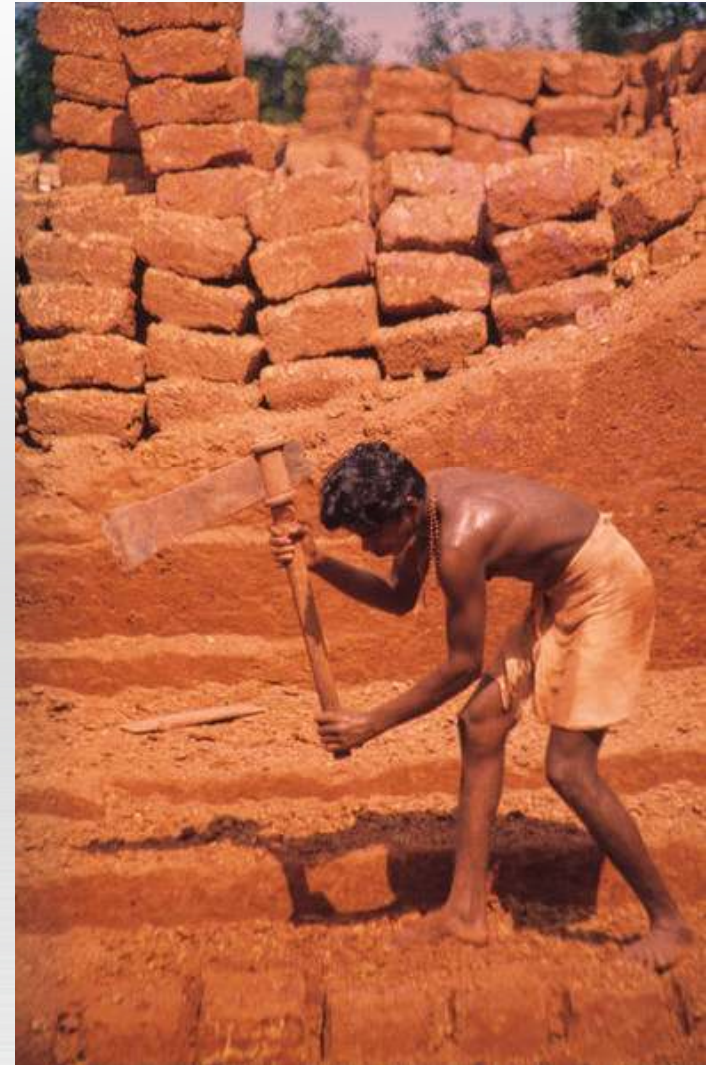
- 무기성분이 산성 부식산의 영향으로 심하게 분해 Fe, Al까지도 sol상태로 되어 하층으로 이동하는 과정
- A층의 강한용탈-A1은 결여 A2는 발달(백색,회색)
- B층의 집적-B1보다 B2에서 더 어두운 적황색
- 가장 큰 금속분산-30~60cm인 B층



2-2. 토양 생성작용

Laterite화 작용

- 고온다습 지역은 식물이 잘 자라고 미생물활동이 활발해서 분해가 잘 됨
- 가수분해가 심하여 규산염은 용탈
Fe, Al 등의 수산화물, 산화물이 토양에 집적
→ Laterite화 작용 or 규산용탈 작용



http://en.wikipedia.org/wiki/File:Laterite_quarry,_Angadipuram,_India._C_004.jpg

2-2. 토양 생성작용

Glei화 작용

- 지하수위가 높은 저습지 또는 배수가 불량한 곳
- 물로 포화되어 산소가 부족하면 토양이 환원상태가 되어 Fe^{3+} 가 Fe^{2+} 로 토양이 청회색
→ Glei 층

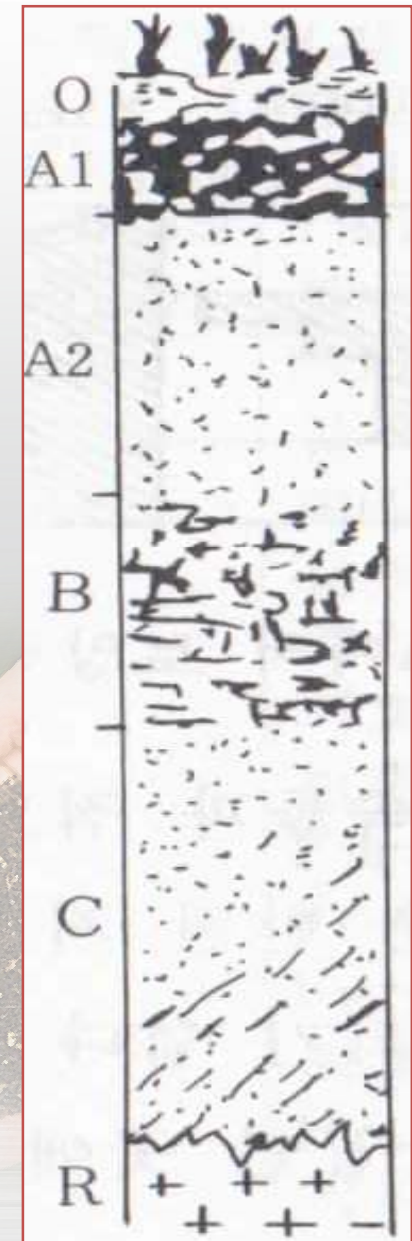
석회화 작용

- 아습윤성 및 건조지역
- Ca, Mg 등은 탄산염으로 집적 → gel 상태
- 전해질이 존재할 때 응고 → 석회화 작용
- 대표적인 토양 : chernozem



2-3. 토양단면의 발달

- A층**
 - 가장 윗 부분
 - 기후와 식생의 영향을 직접 받음
 - 광물 및 유기물의 용탈 발생
- B층**
 - 위에서 용탈된 물질이 집적
 - 다른 층보다 진한 적갈색, 황갈색, 암회색 구조
 - 미량원소가 농축되는 경우가 많음
 - 지구화학탐사의 대상층
 - 드물게 지하수에 의해 C층의 물질이 집적
- C층**
 - A, B 층에 덮여 있는 다소 풍화된 모암
 - 암석의 구조와 조직을 비교적 잘 보존
- R층**
 - 풍화를 받지 않은 기반암층



2-4. 토양의 분류

분류 목적 : 분산형태를 알고 다른 지역과 관련가능

■ 성대성 토양(zonal soil)

- 성숙토양단면 발달
- 냉대/온대/반건조/건조

■ 간대성 토양(intrazonal soil)

- 국소적 환경영향
- 소택습지/배수불량건조지대/석회질

■ 비성대성 토양(azonal soil)

- 미숙한 토양
- (약간풍화/초기의 층만 존재)



3. 지표환경에서의 지구화학적 분산

❑ 1차 분산 : 주로 지하심부의 광상의 성인과 관련

❑ 2차 분산 : 1차 분산된 원소들이 지표에서 재 분산된 것



토양에 대한 지구화학 탐사는
주로 지표환경에서 이루어지는 **2차 분산**을 대상으로 함



3-1. 분산에 미치는 물리·화학적 영향

수소이온 농도(pH)

- 대부분 금속원소는 산성용액에서 용해
그러나 pH가 증가하면
산화물이나 수산화물로 침전
- Ex) $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{L}) = \text{CuO}(\text{S}) + 2\text{H}^+(\text{aq})$
- 화학적 활동도인
a를 이용해서 용해도 구함
→ $\log a_{\text{Cu}^{2+}} = 7.35 - 2\text{pH}$

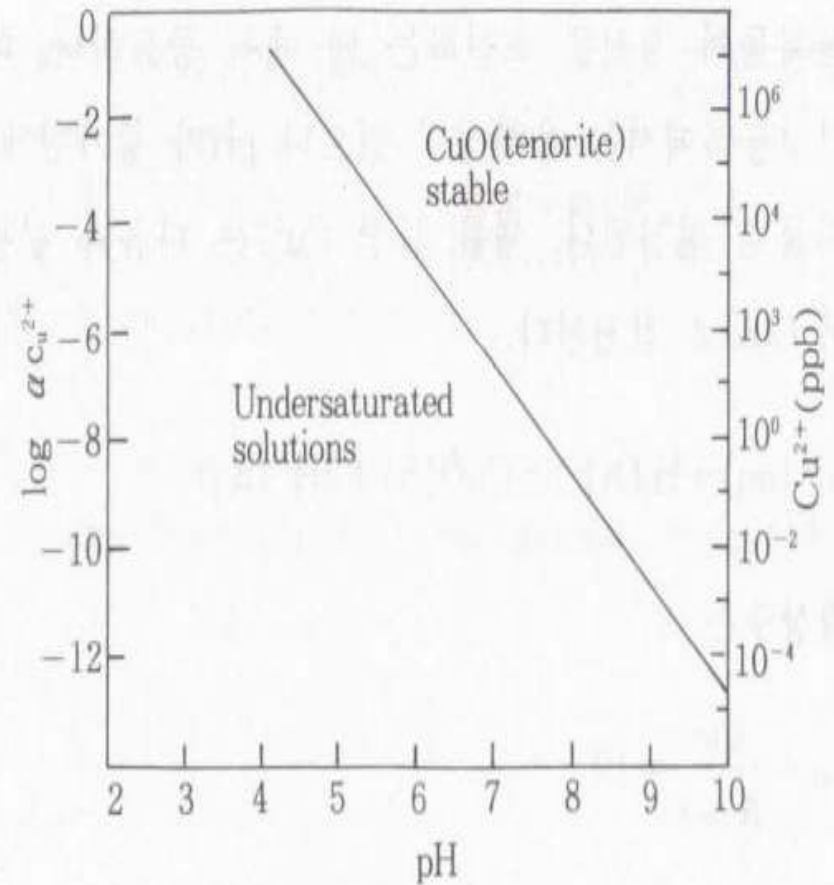


그림 6-12. pH 변화에 따른 Cu^{2+} 의 용해도

3-1. 분산에 미치는 물리·화학적 영향

Eh-pH(물의 두가지 화학적 요

$$Eh = -0.059pH - (0.059/2) \cdot (\log p_{H_2})$$

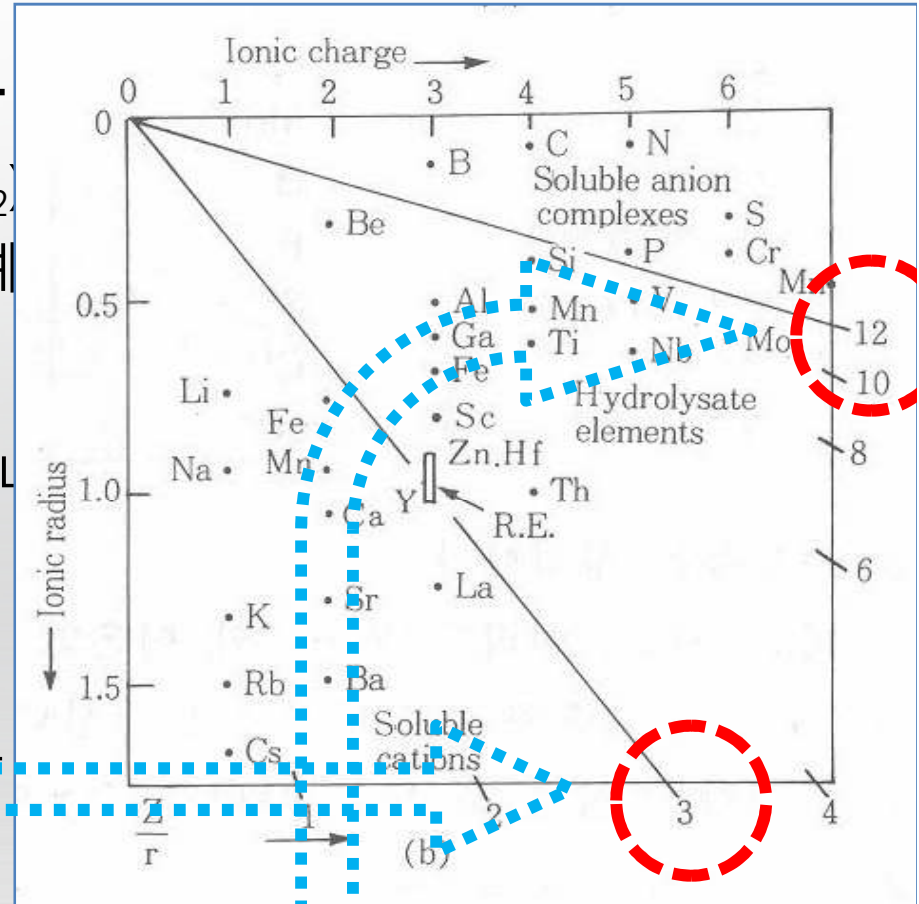
→ 두개의 직선에 의해 Eh와 pH관계

$$Eh = 1.22 - 0.059pH, \quad Eh = -0.059pH$$

특정 광물들에 대한 안정도 범위

이온전위

물에 대한 이온의 거동에 대한 척도
 $Z(\text{원자가}) / r(\text{이온반경})$



이온적 특성 보유

<3<

가수분해로 침전

<12<

산소를 함유하는 용해성 있는 음이온 복합물 형성

3-1. 분산에 미치는 물리·화학적 영향

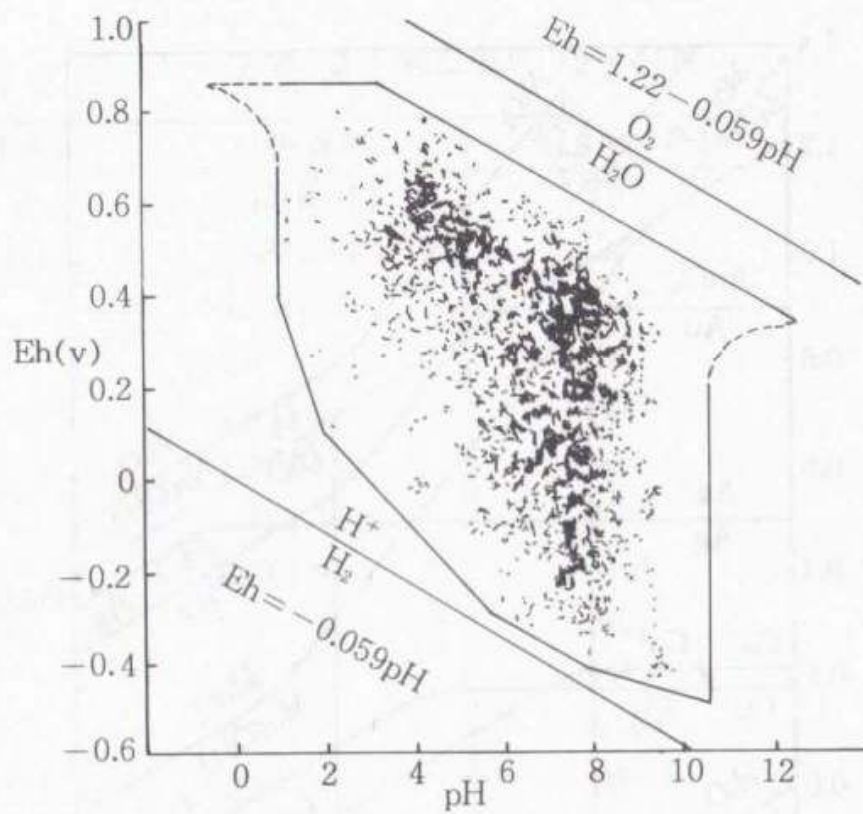


그림 6-13. 자연환경에서 측정된 Eh-pH의 분포

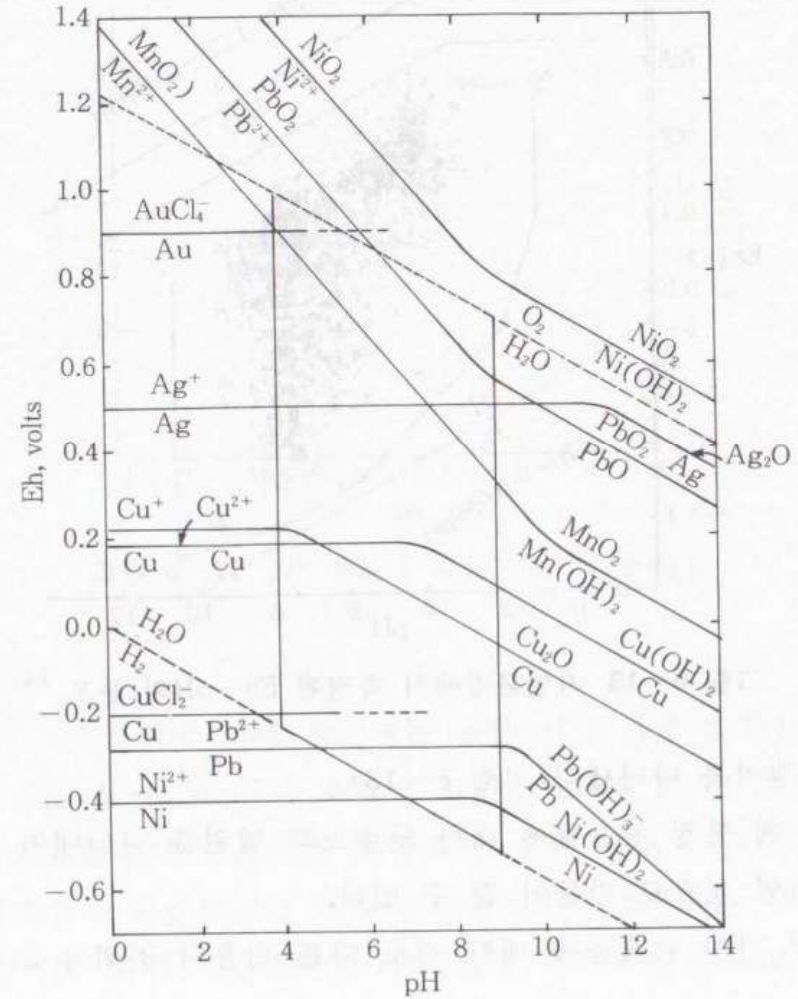


그림 6-14. 몇 가지 금속들에 대한 Eh-pH도

3-2. 지표분산 패턴

- ❑ 동생적 패턴 : 퇴적과 동시에 형성
 - 쇄설적 패턴 (잔류토양, 이동토양)

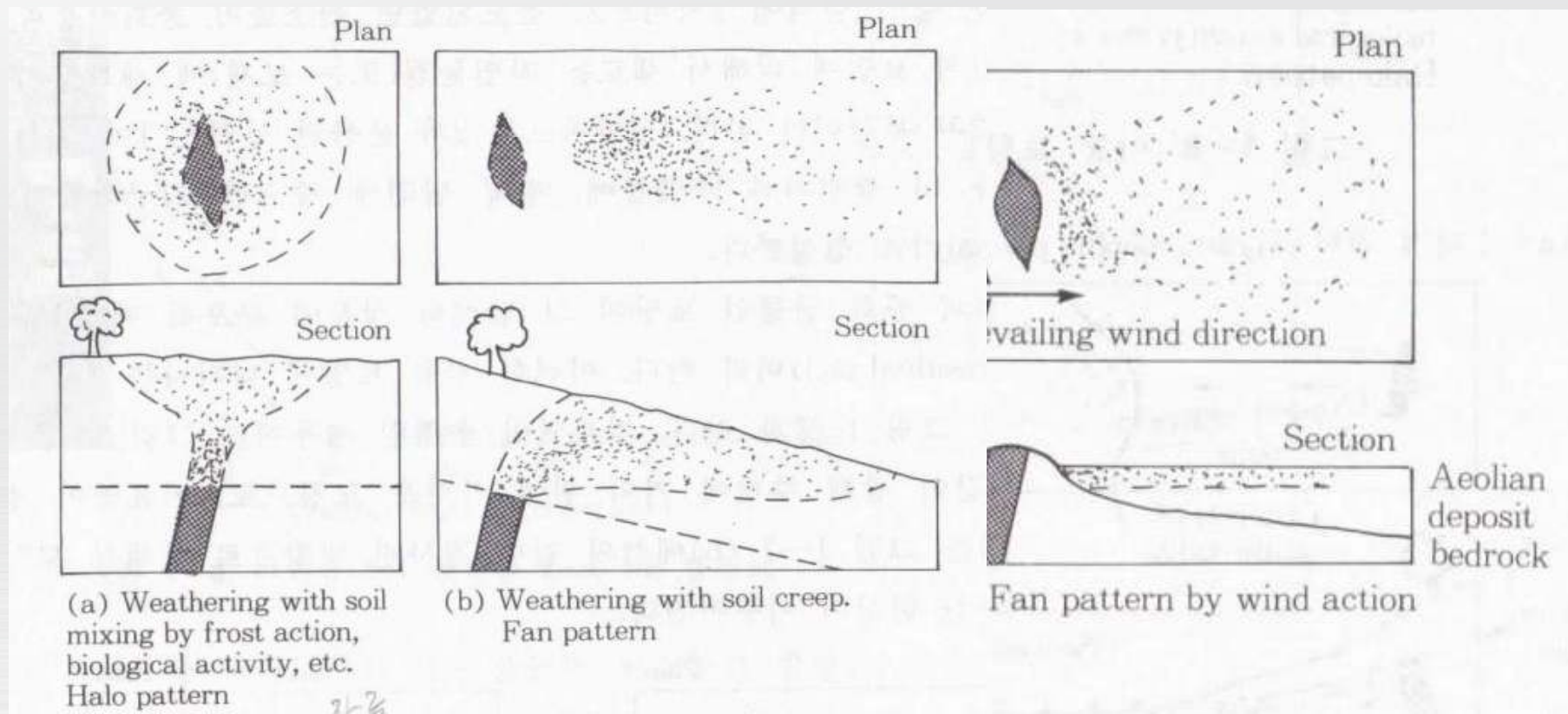
- ❑ 후생적 패턴 : 퇴적 후 후차적으로 형성
 - 수태적 패턴 (이동토양)
 - 생원적 패턴 (이동토양)



3-2. 지표분산 패턴

❑ 쇄설적 패턴(clastic patterns)

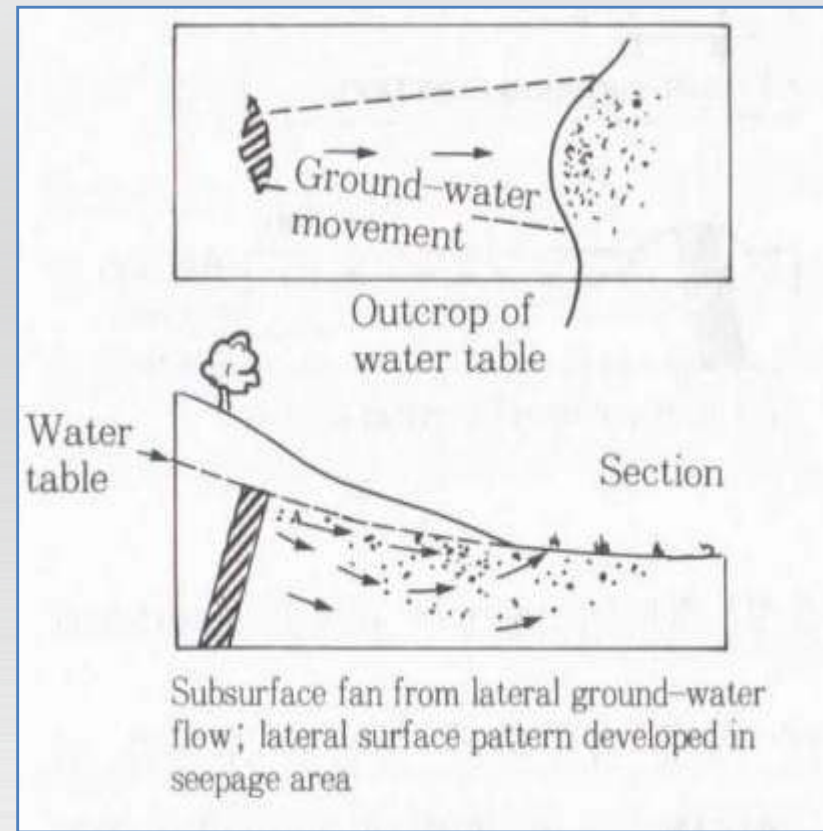
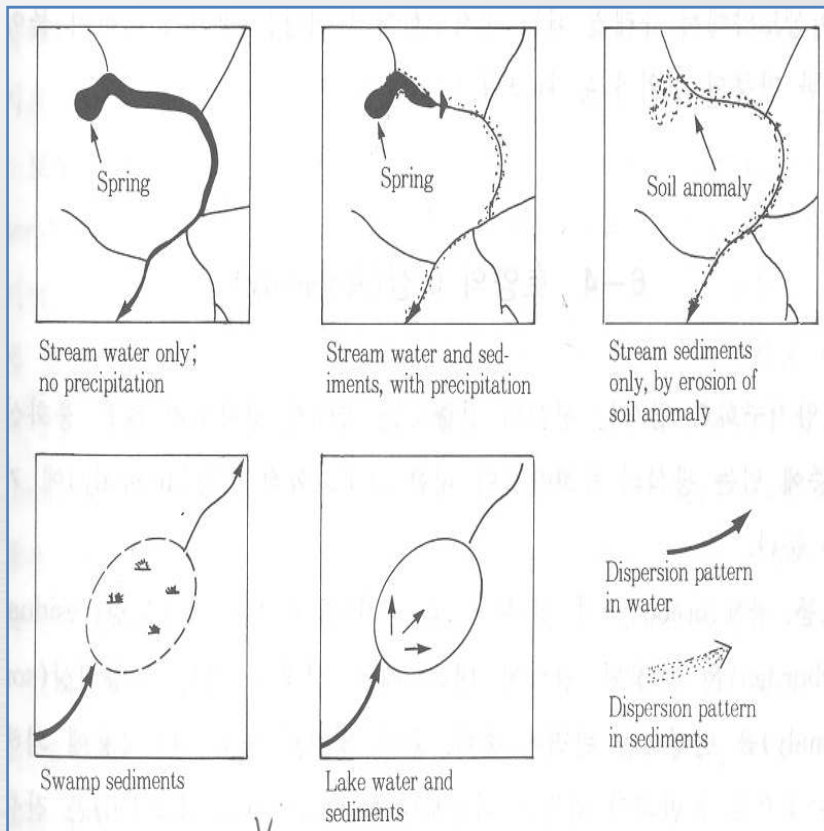
- 동생적 기원의 쇄설성 이상은 분산매개체에 크게 좌우
- 상부-잔류토양, 측면-풍화작용, 부채꼴-빙하나 바람, 중력에 의한 뒤틀림이 심할때



3-2. 지표분산 패턴

수태적 패턴(hydromorphic patterns)

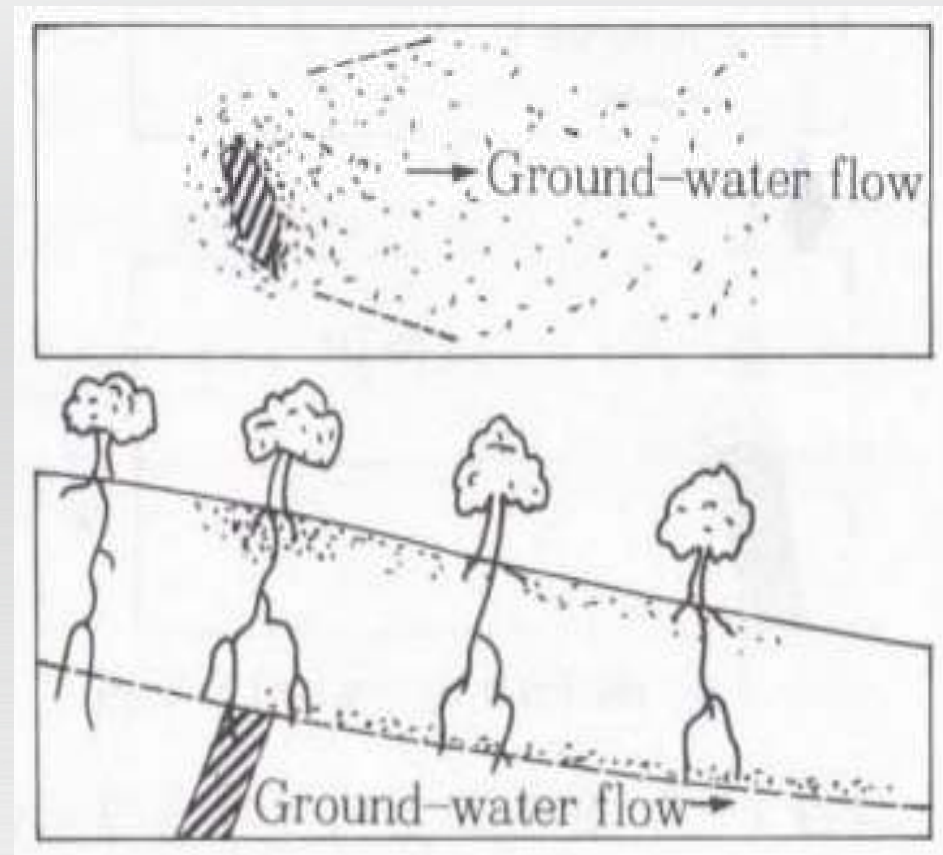
- 용액의 국소적 흐름양상에 따라 좌우됨
- 직선상의 분산-지표배수
- 부채꼴-지하수 모형(투수성층을 따라 흐름), 수태성 분산(haloes)



3-2. 지표분산 패턴

■ 생원적 패턴(biogenic patterns)

- 식물 상부의 화학조성은 흡수되는 용액의 성분과 일치
- 광상 바로위(superjacent)이상-식물이 직접 광석이나 이상토양에 뿌리를 박고 있는 곳



4. 토양의 이상(Anomaly)

❑ 잔류토양의 이상

- 광상이 있는 곳에서 분산된 원소들이 이루는 이상
- 직접적, 명백함
- 잔류지역에 지하수의 수태적패턴으로 복잡가능성

❑ 이동토양의 이상

- 토양 형성 후 원위치에서 비교적 최근에 운반 퇴적된 토양
- 이동된 표토에 분산된 희유금속(trace mineral)에 대한 연구



4-1. 잔류토양의 이상

산출양상

- **1차 광물** : 풍화에 강한 광물(광석광물 / 맥석광물)
Ex) cassiterite, diamond, Au, Pt / 석영, 전기석, 석류석
- **2차 광물** : 화학적으로 불안정한 1차 광물이 풍화된 것
Ex) Fe를 함유한 황화물 → 갈철석(limonite)
Mn을 함유한 탄산염 → Mn 산화물
- **CxMe**
 - 배수가 잘되는 잔류토양의 A와 B층에서 쉽게 추출할 수 있는 금속
 - 수태적으로 분산된 곳 : CxMe의 비율 높음
 - 비교적 안정된 광물 : CxMe의 비율 낮음
 - CxMe/total Me : 이상의 근원(source)을 찾는데 정보 제공



4-1. 잔류토양의 이상

■ 이상의 형태

- 광석과 광화되지 않은 모암 사이의 1차 대조(primary contrast)로 파악
- 이동성이 적은 원소, 낮은 화학적 삼투작용, 낮은 강우량, 빈약한 배수, 활발한 침식작용 → 높은 대조
- 평지에서는 대칭 ⇔ 경사지에서는 하향경사방향으로 부채꼴 경향

■ 토양의 깊이와 형태에 따른 변화

- 표토에 반영되는 경사진 광상의 흔적(trace)의 보존
- 토양포행(soil creep)에 의한 물리적인 비틀림(distortion)
- 토양 형성작용과 단면(profile)의 발달



4-1. 잔류토양의 이상

고산(gossan)에서의 이상

- 광석에 대한 확실한 지시자
- 고산의 초기물질 : $\text{Fe}(\text{OH})_3$ → 침철석, 적철석
- 매우 세립질의 침전물인 **희유금속(trace metal)**이 초기의 수산화철에 강하게 흡착 후 재결정 될 때 통합가능

수태적 이상

- 측면 수태적 이상 : 지하수용액에 의해 잔류토양에 광화된 지역을 통과한 금속이 침전
- 동생적 토양과 구분 : CxMe/Me ratio 를 이용
Ex) Cu의 비율 <10% : 잔류토양
20-80% : 삼출지



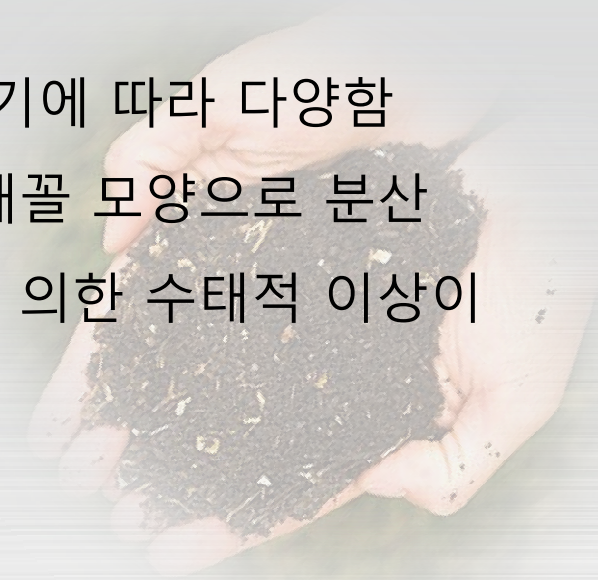
4-2. 이동토양의 이상

이동토양에 발달된 동생이상과 후생이상

- 동생이상 : 쇄설성 패턴은 단순한 기계적 운동결과
↳ 지하수나 토양수의 작용으로 복잡한 동생이상형성
- 후생이상 : 퇴적된 후에 분산에 의해 형성

빙하 퇴적물

- 빙하퇴적물의 쇄설성 이상 분포는 입자의 크기에 따라 다양함
- 기반암에서부터 빙하의 이동 방향을 따라 부채꼴 모양으로 분산
- 빙하퇴적물은 투수성이 크기 때문에 지하수에 의한 수태적 이상이 효과적으로 이루어짐.
Ex) 이동성이 큰 Zn, Cu



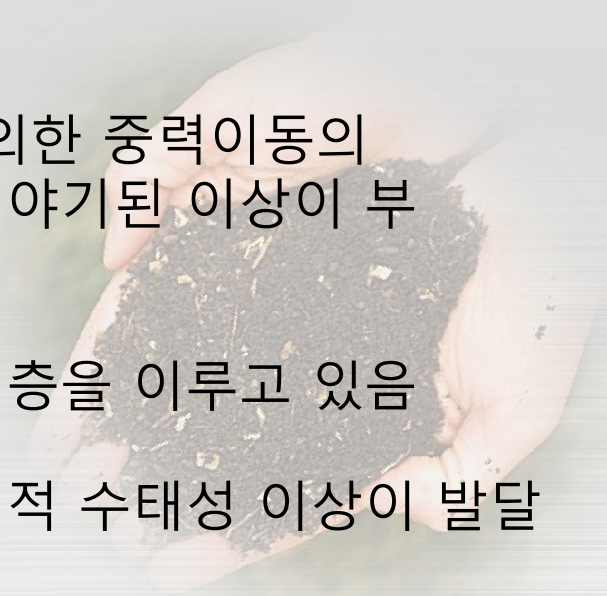
4-2. 이동토양의 이상

유기 퇴적물

- 식물의 성장과 부패에 의해서 형성
부패보다 퇴적이 빠른 환경에서 집적
- 주로 육상퇴적환경이 일반적(소택지가 가장 많음)

붕적층과 충적층

- 붕적층은 서릿발의 작용, 토양포행, 표층수에 의한 중력이동의 결과로 경사면에 형성되어진 것이며 모재에서 야기된 이상이 부채꼴 모양의 이상분포 패턴을 보임
- 충적층은 붕적층에서보다 더 양호하게 분급된 층을 이루고 있음
- 금속을 함유한 용액의 상향이동에 의해서 후생적 수태성 이상이 발달



5. 지구화학적 토양조사

예비조사

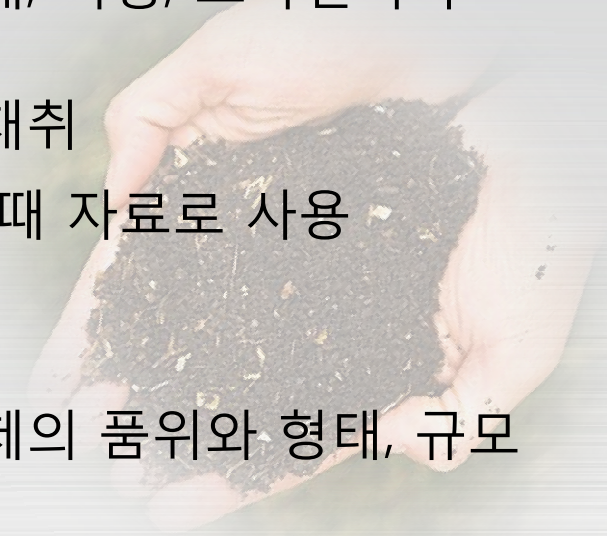
- 본조사에 앞서 탐사작업이 최적이 되도록 계획하기 위한 사전조사
- 인간활동에 의한 오염이 시료채취에 영향을 받지 않도록 하는 것이 매우 중요

시료채취

- 일반적으로 정사각형이나 직사각형격자에서 수행되며 격자간격은 기반암의 종류와 지질구조, 분산작용의 형태, 지형, 조사면적과 경비 및 소요시간에 따라 조절
- 선상시료채취방법 : 능선을 따라가며 시료를 채취
- 야장(field note)을 기록해 분석결과를 검토할 때 자료로 사용

사후검토

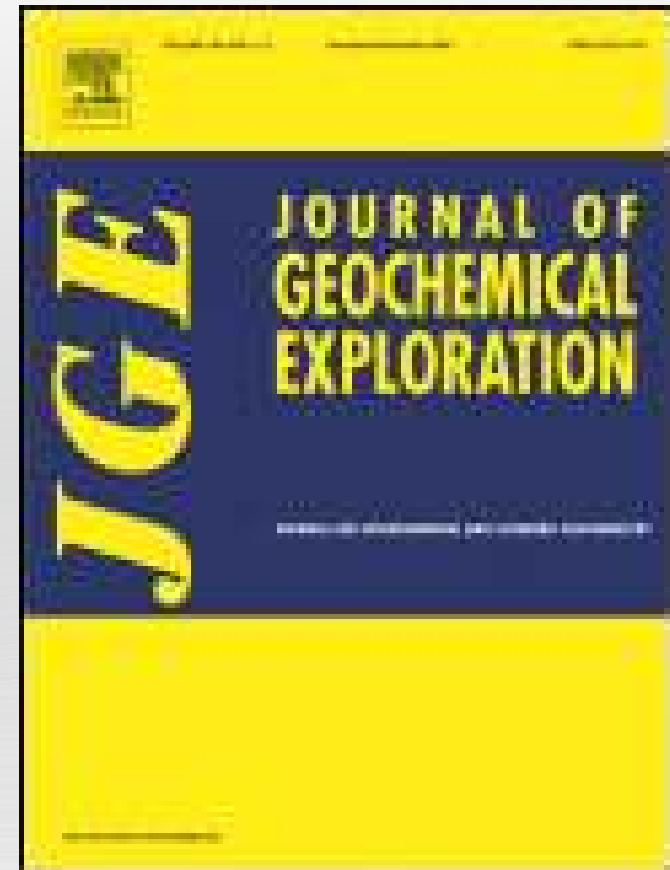
- 지구화학도상에 나타난 이상분포도로 잠재광체의 품위와 형태, 규모 등을 파악



6. Case History

JOURNAL OF GEOCHEMICAL EXPLORATION

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca
- Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya
- Alexander G. Levitski, David H.R. Sims



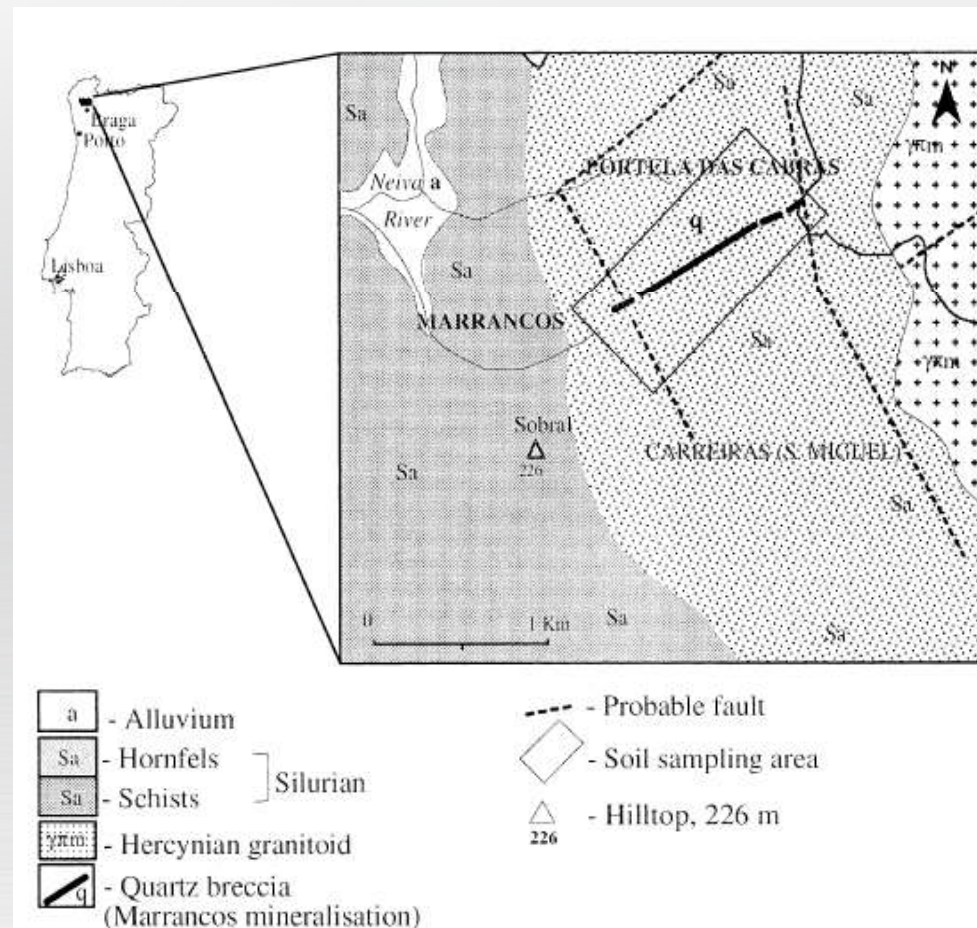
6. Case History (1)

Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)

– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

● Introduction

Au는 함량이 극히 낮은 광물 중 하나로, 그 자체를 찾기 힘들므로 주변에 있는 지시원소인 As, Bi, Sb 등을 찾아 그 연관성을 통해 탐사하는 것이 일반적이다. 본 연구는 Portugal의 Marrancos 지역에서의 Au와 그것의 Pathfinder의 지구화학적 이상대를 발견, 금을 탐사하는 것을 그 목적으로 한다.



6. Case History (1)

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

- Sampling Procedures



- Pathfinder of Au - As, Bi, Sb, Te, Se



6. Case History (1)

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

- Chemical Analysis

AAS

**Fe Cu Zn Pb
Co Ni Mn Ag Bi**

Aqua Regina

Ag Bi

HCl-HNO₃-HF

**Remaining
Elements**

6. Case History (1)

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

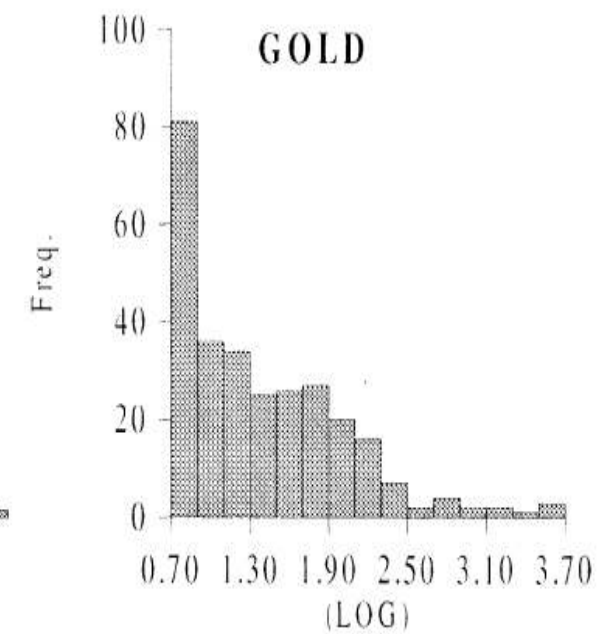
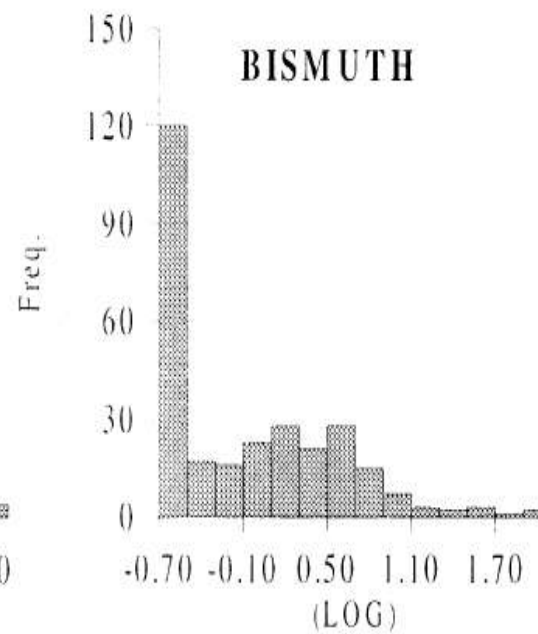
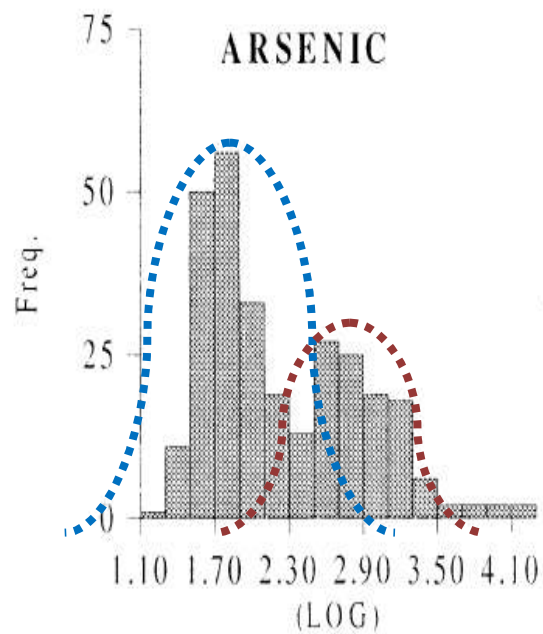
- Correlation with Gold : As Bi Sb Te Se

Elements	Mean	SD	Min.	Max.	Skewness	Mean (log)	SD (log)	Skewness (log)
As (ppm)	768	2077	18	19950	6.4	2.35	0.62	0.7
Au (ppb)	147	554	7	4940	6.9	1.49	0.63	1.1
Mn (ppm)	603	264	185	1324	0.6	2.74	0.20	-0.2
Cu (ppm)	48	18	26	205	4.9	1.66	0.12	1.7
Zn (ppm)	112	37	35	262	0.9	2.03	0.14	-0.2
Pb (ppm)	65	23	19	193	1.8	1.79	0.14	0.4
Sb (ppb)	96	125	5	831	2.7	1.66	0.57	-0.2
Se (ppb)	17	32	5	309	4.7	0.94	0.42	1.6
Te (ppb)	48	40	5	294	2.6	1.56	0.33	-0.3
Co (ppm)	39	7	20	63	0.3	1.58	0.09	-0.4
Ni (ppm)	72	15	43	116	0.4	1.85	0.09	-0.2
Ag (ppm)	0.8	0.3	0.4	4	6.5	-0.12	0.11	2.0
Bi (ppm)	4.0	13.3	0.2	140	7.7	-0.04	0.68	0.7
Fe %	4.98	1.10	2.97	13.71	2.1	0.69	0.09	0.5

6. Case History (1)

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

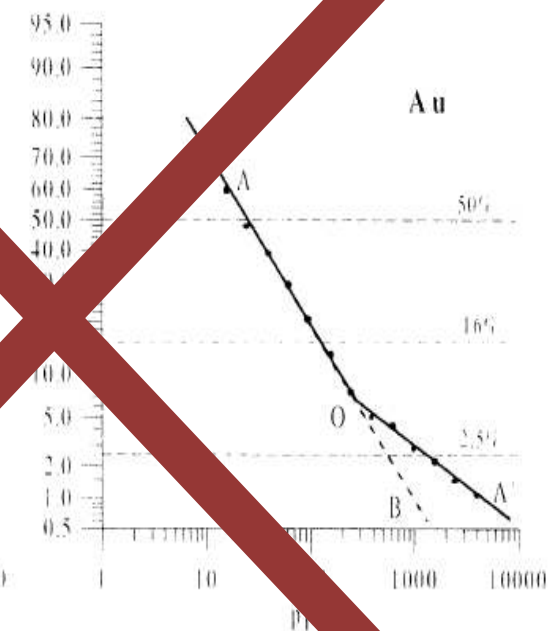
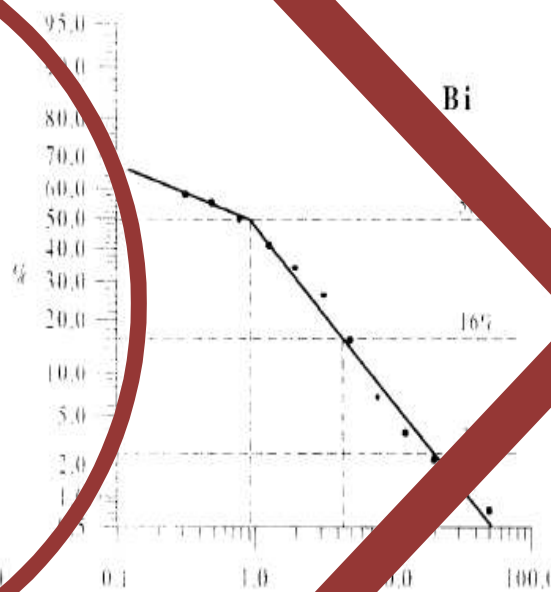
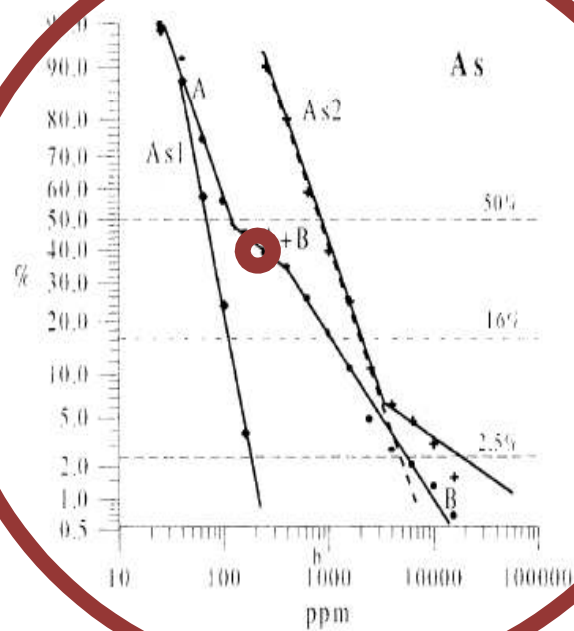
- Logarithmic Data



6. Case History (1)

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

- Probability Paper



6. Case History (1)

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

● Percentile Contour

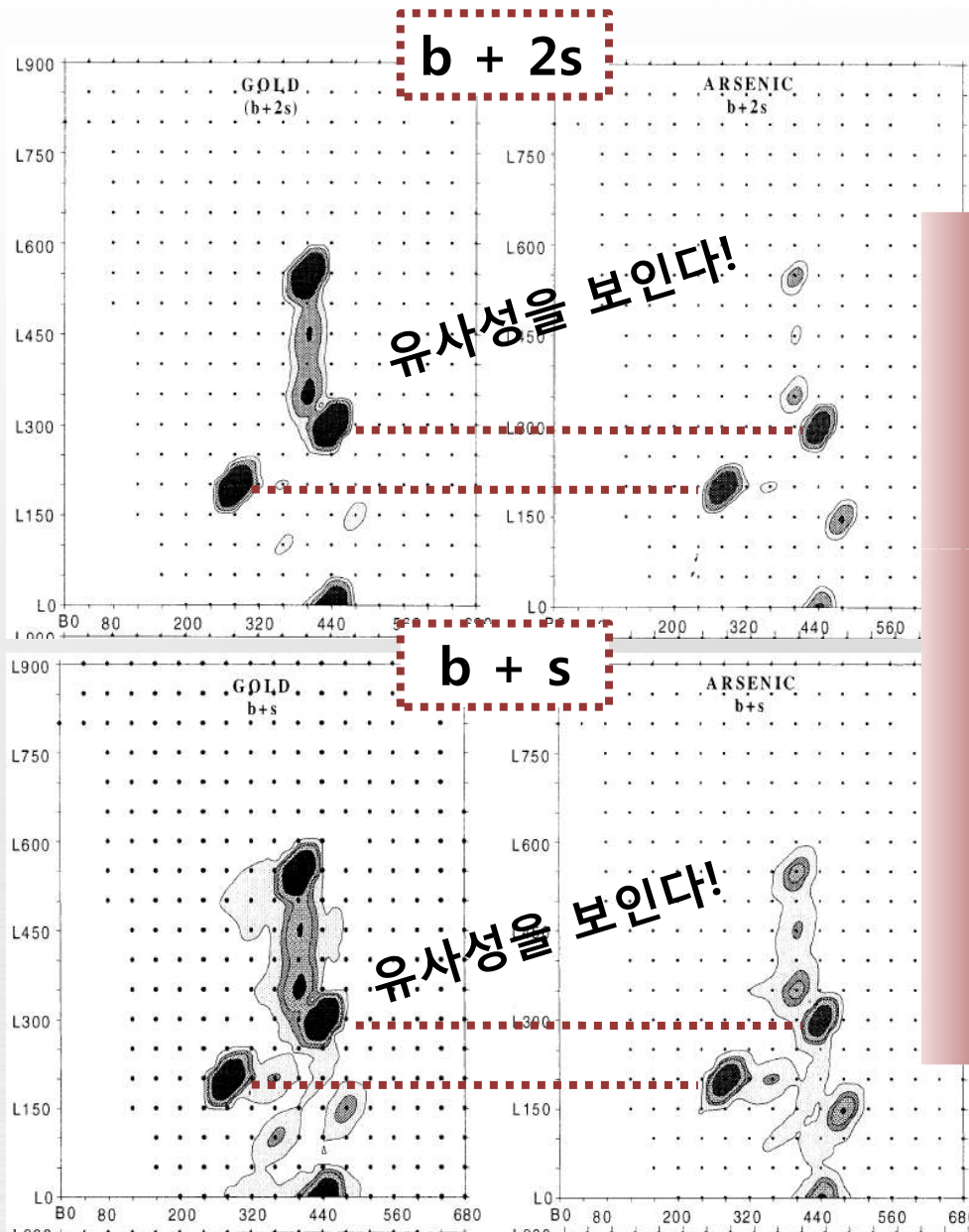
Elements	<u>P50%</u>	<u>P84%</u>	<u>P97.5%</u>	Data distribution form
Au	26	175	550	Unimodal-high values trend
As1	65	110	180	Unimodal
As2	800	1950	4800	Unimodal-high values trend
Bi	0.9	4.4	20	Unimodal-low values trend
Sb	52	158	470	Unimodal-low values trend

Table 3

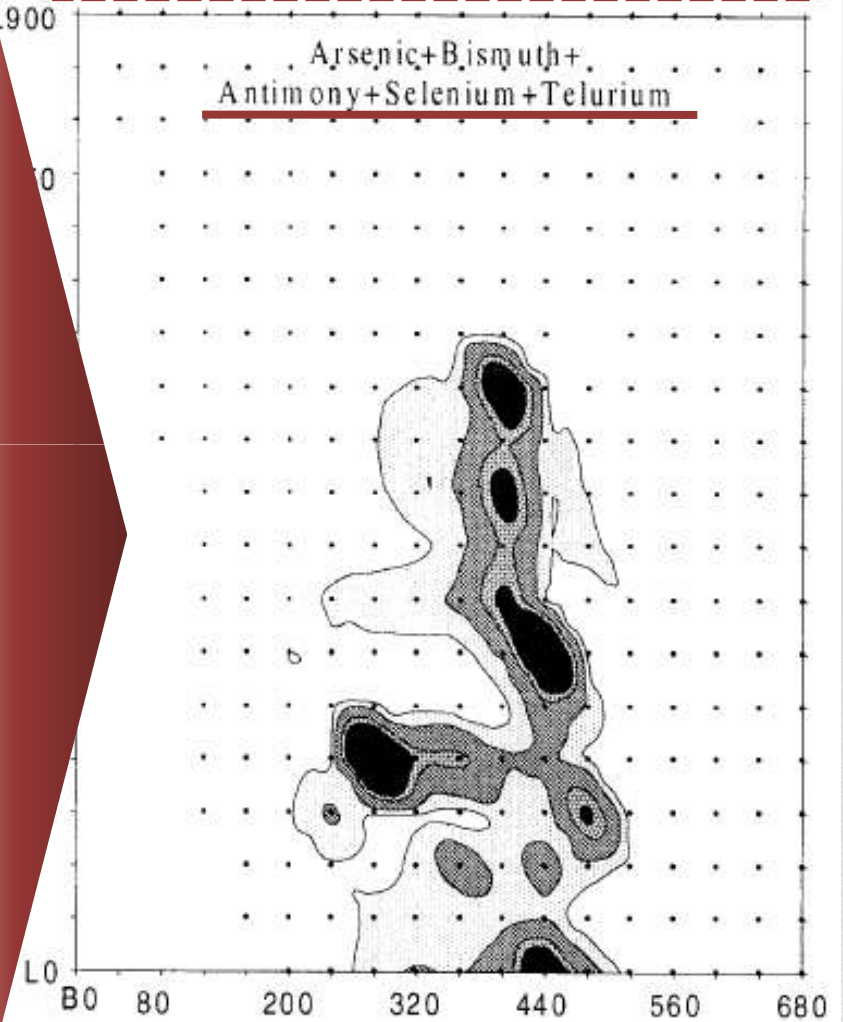
Statistical parameters calculated for the new data populations (lognormal distributions)

Elements	P50%	P84%	P97.5%	Data distribution form
As + Bi	2	7	13	Unimodal-high values trend
Sb + Se + Te	3	9	25	Unimodal-low values trend
As + Bi + Sb + Se + Te	8	25	112	Unimodal

6. Case History (1)



Multi-element Halos Technic



6. Case History (1)

- Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal)
– A. P. Reis, A. J. Sousa, E. Cardoso Fonseca

● Percentile Contour

Elements	P50%	P84%	P97.5%	Data distribution form
Au	26	175	550	Unimodal-high values trend
As1	65	110	180	Unimodal
As2	800	1950	4800	Unimodal-high values trend
Bi	0.9	4.4	20	Unimodal-low values trend
Sb	52	158	470	Unimodal-low values trend

Table 3

Statistical parameters calculated for the new data populations (lognormal distributions)

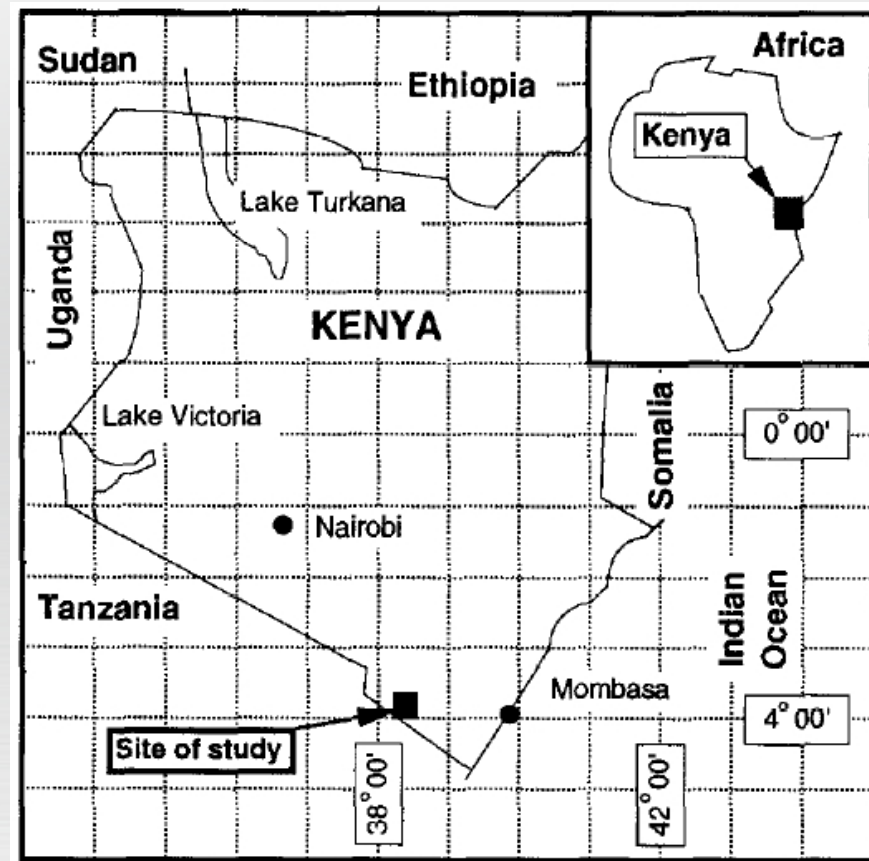
Elements	P50%	P84%	P97.5%	Data distribution form
As + Bi	2	7	13	Unimodal-high values trend
Sb + Se + Te	3	9	25	Unimodal-low values trend
As + Bi + Sb + Se + Te	8	25	112	Unimodal

6. Case History (2)

- Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya
- Alexander G. Levitski, David H.R. Sims

- Introduction

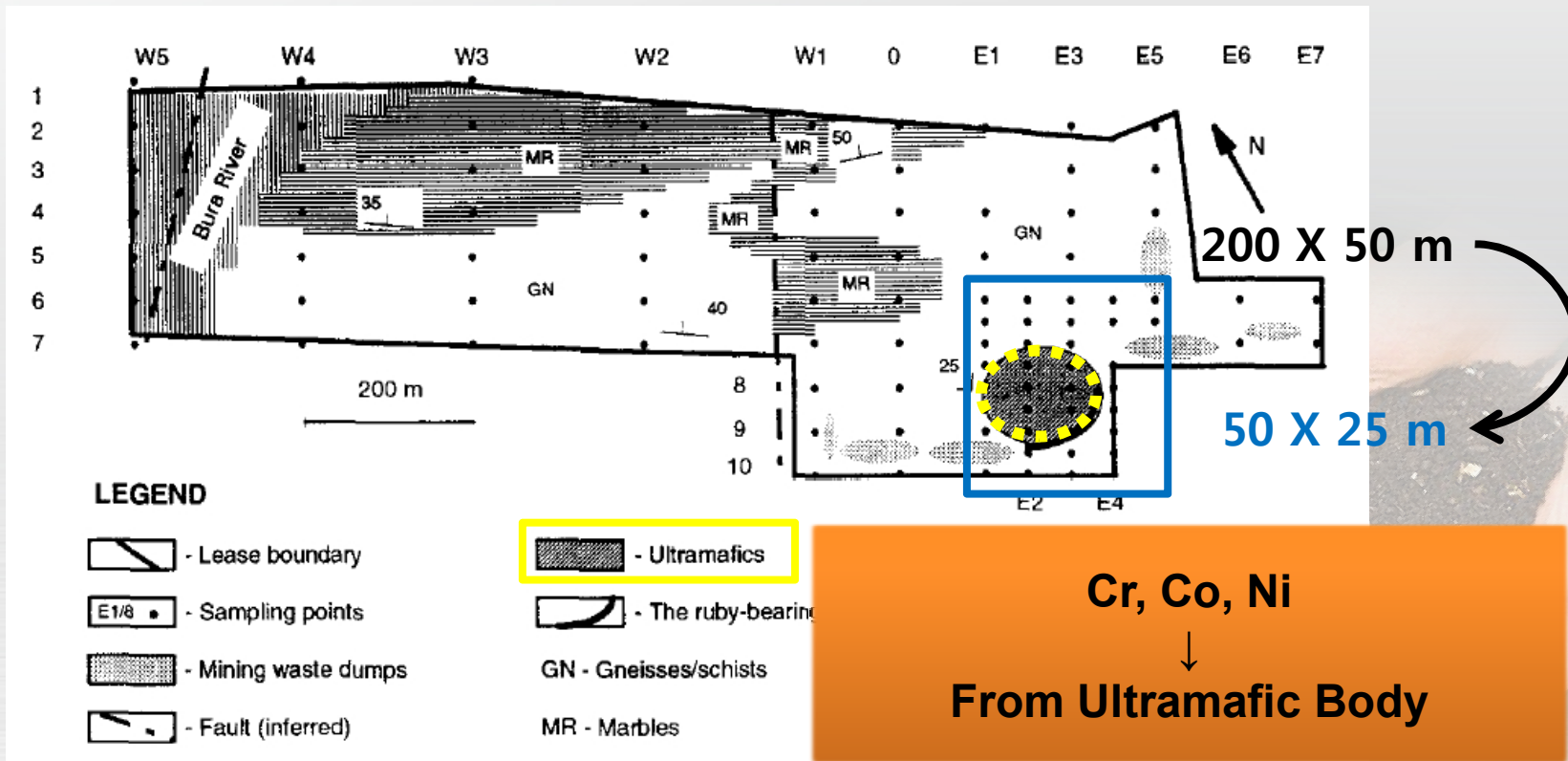
이번 연구의 Study Site는 Kenya의 Mangare 지역으로 Ruby가 많이 분포되어있는 곳이다. Ruby는 Cr이 많은 곳에서 주로 발견되는데, 본 연구 중에서 살펴보고자 하는 부분은 **Bulk Soil Sampling** 방법을 통하여 Cr, Co, Ni의 지구화학적 이상대를 발견, Ruby와 같은 **Gemstone**을 탐사하는 것이 가능한 지 알아보는 것이다.



6. Case History (2)

- Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya
 - Alexander G. Levitski, David H.R. Sims

Geological Setting



6. Case History (2)

- Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya
- Alexander G. Levitski, David H.R. Sims

• Summary of Soil Sampling Duplicate Data

Sample		Concentrations, %			Concentrations, ppm				
		Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Co	Cr	Ni
W2/7	Main	0.40	0.84	2.8	49	37	7	190	130
	Dupl.	0.24	0.62	3.2	50	37	14	210	140
W1/6	Main	3.3	0.83	2.5	50	45	13	160	170
	Dupl.	3.8	0.79	3.0	56	40	15	200	220
W1/2	Main	1.3	0.89	3.8	60	36	12	160	130
	Dupl.	1.6	0.55	3.6	62	40	15	150	190
E3/8	Main	0.72	3.6	5.0	46	67	27	670	760
	Dupl.	0.64	4.2	5.7	47	69	36	760	910
W3/6	Main	0.45	1.3	3.7	61	49	13	200	160
	Dupl.	0.44	0.90	4.0	49	48	13	200	140
Average relative error, %		20	27	11	8	6	26	10	20

6. Case History (2)

- Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya
- Alexander G. Levitski, David H.R. Sims

- Distribution of Normalized Concentrations of Pathfinder Elements over the Ultramafic body

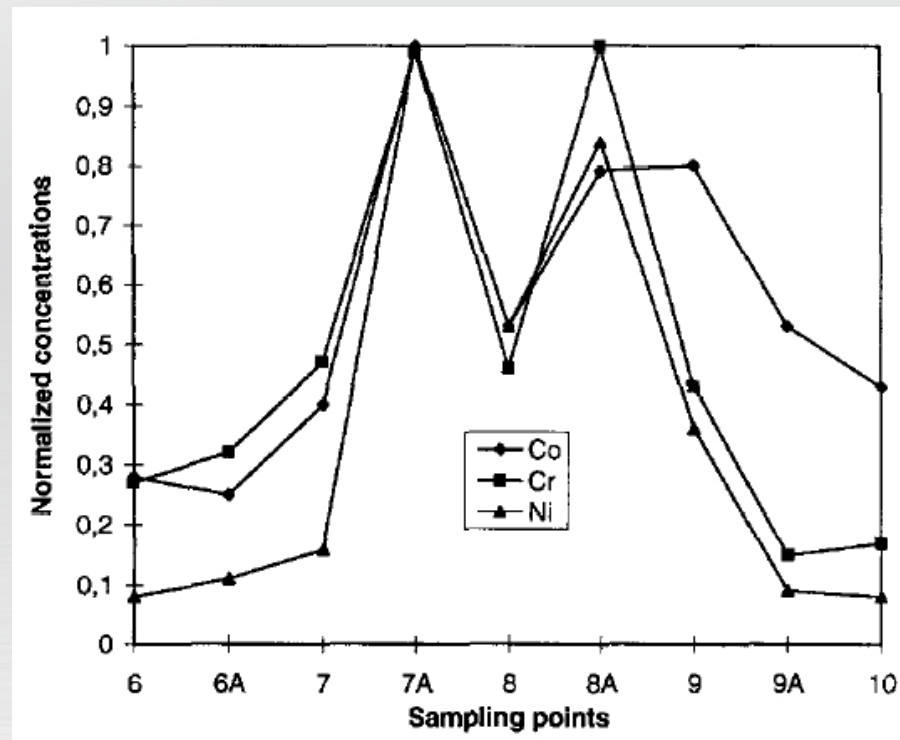
지시원소 Co, Cr, Ni



거의 비슷한 곡선

유사성을 지닌다고 판단가능

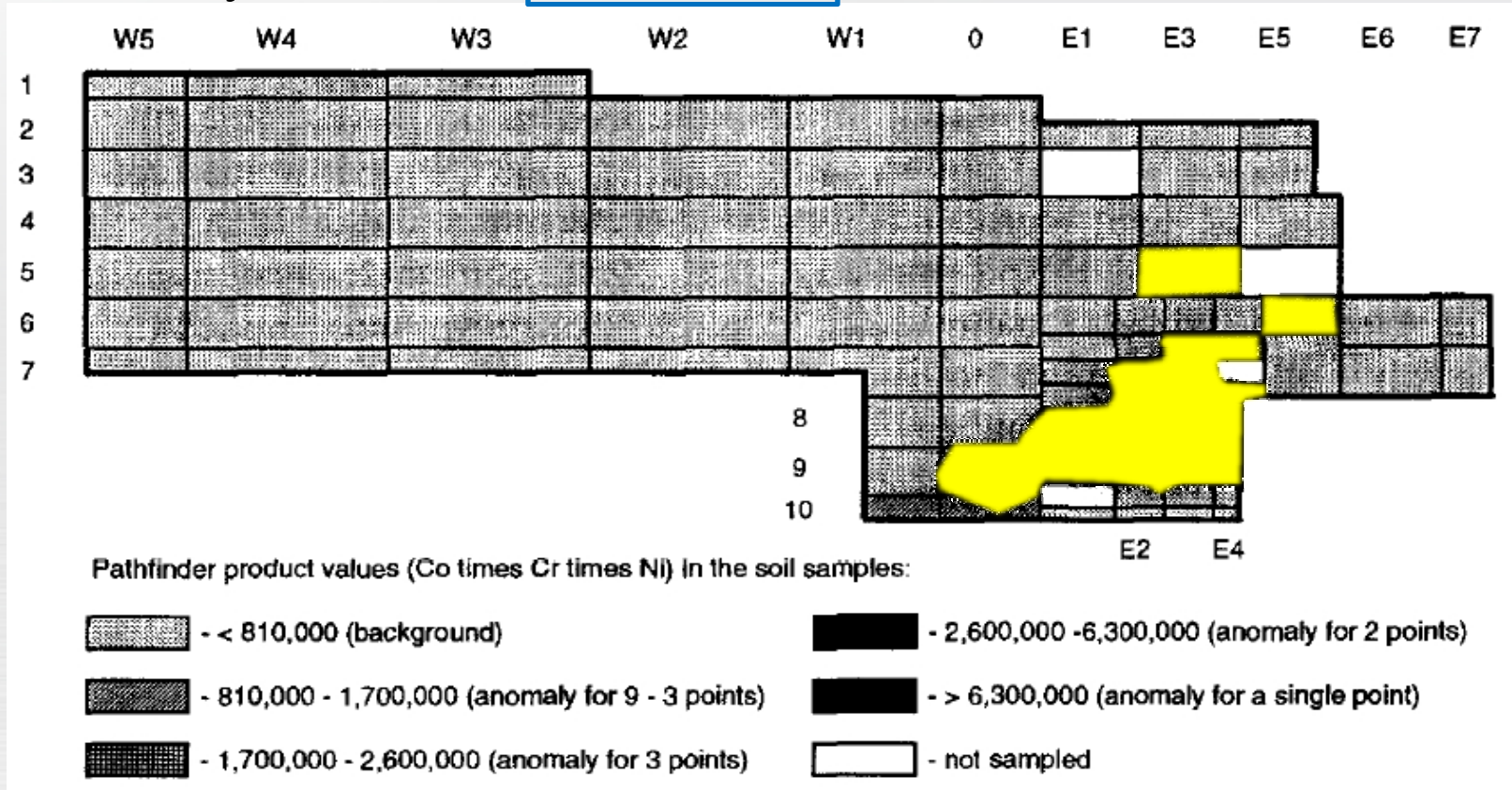
지시원소의 분포가
높은 곳을 탐사



6. Case History (2)

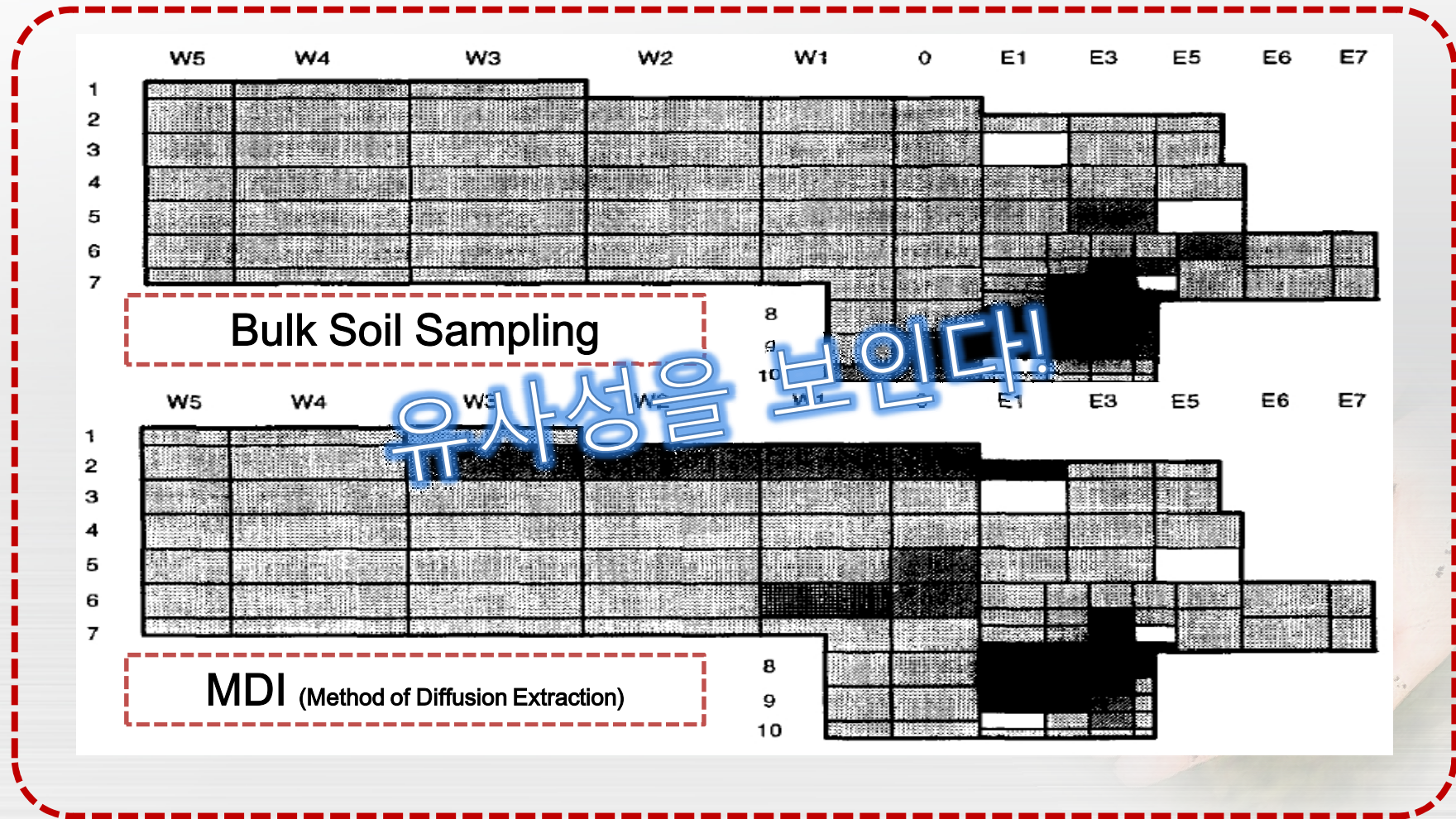
- Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya
- Alexander G. Levitski, David H.R. Sims

● Anomaly Contrast → Co X Cr X Ni → Plot



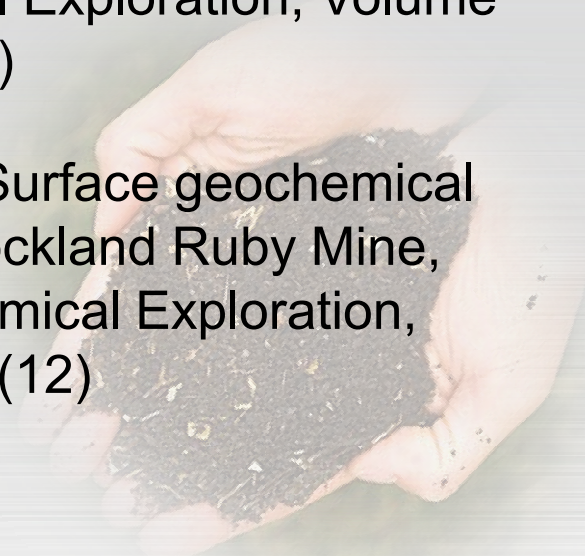
6. Case History (2)

- Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya
- Alexander G. Levitski, David H.R. Sims



7. Reference

- ❑ 전효택 외 5명, 2004, 응용지구화학, 서울대학교 출판부
- ❑ 전효택 외 3명, 2001, 환경지질학, 서울대학교 출판부
- ❑ A. P. Reis et al., Soil geochemical prospecting for gold at Marrancos (Northern Portugal), Journal of Geochemical Exploration, Volume 73, Number 1, September 2001 , pp. 1-10(10)
- ❑ Alexander G. Levitski and David H.R. Sims, Surface geochemical techniques in gemstone exploration at the Rockland Ruby Mine, Mangare area, SE Kenya, Journal of Geochemical Exploration, Volume 59, Number 2, June 1997 , pp. 87-98(12)



Thank You.