

斑岩鑛床과 母岩의 變質作用에 對한 小考

金 相 燁

Porphyry deposits and Wall rock alteration

Kim. Sahng Yup

차 례

1. 序 言
2. 紹 介
3. 分 布
4. 地質 및 鑛床의 特徵
5. 母岩의 熱水變質作用
 - 5-1. 物理的 變化
 - 5-2. 化學的 變化
 - 5-3. 鑛物學的 變化
 - 5-4. 變質作用의 實驗 資料
 - 5-5. 變質帶의 一般的 規範
6. 鑛化作用
 - 6-1. 一次 鑛化作用
 - 6-2. 二次 富化作用
 - 6-3. 帶狀分布

7. 地化學
 8. 結 言
 9. 參考文獻
- 附圖
1. 美國西部의 造山帶와 鑛床分布圖
 2. 아리조나州의 鑛化帶와 斑岩鑛床分布圖
 3. 母岩의 變質作用에 따른 鑛物學的變化
 4. $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系와 $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 系의 安定度 關係
 5. 母岩의 變質作用의 一般的 規範
 6. 鑛化帶의 柱狀圖
 7. 斑岩鑛床의 帶狀分布 模型圖
 8. 銅 모리브덴의 離散媒體에 依한 相對的 流動性

1. 序 言

本 小稿는 筆者가 1967年 4月 大韓地質學會 主催 學術論文發表會에 發表한 美國의 重要鑛床 帶를 鑛床別로 分類하여 斑岩鑛床에 對하여 補完한 것이다.

筆者가 美國 콜로라도 鑛山大學 大學院(Graduate School of Colorado School of Mines, Golden, Colo.) 과 美國地質調查所(United States Geological Survey)에서 西部地方에 發達되어 있는 所謂斑岩鑛床에 對하여 主로 關心을 갖고 研究한 結果를 綜合하고 發表된 最近의 文獻을 參考로 하여 斑岩鑛床에 對한 地質學的인 諸問題點을 紹介하는 바이다.

새로운 知識을 吸收하고 既히 研究發表된 鑛床들을 充分히 理解함으로써 우리도 우리 地質學的인 環境을 考慮하여 既 研究된 知識을 活用하고 比較檢討함으로써 새로운 鑛床을 찾는 데 關心을 가지고 있는 同學들의 새로운 研究에 多少 나마 도움이 될가하여 整理하였다.

參考로 筆者가 見學하고 直接 野外調査에 參與한 重要 斑岩鑛床과 여기에 從事하고 있는 責任研究地質學者는 다음과 같았다.

(1) 含銅斑岩鑛床帶 Bingham Canyon, Utah (R.J. Roberts, U.S.G.S). Ely, Nevada(A.L. Brokaw, U.S.G.S), Bagdad-Jerome, San Manuel, Globe-Miami, Ajo, Bisbee, Morenci, Arizona. (C.A. Anderson, S.C. Creasy, W.R. Cooper, U.S.G.S),

Chino(Santa Rita), New Mexico(W.R. Jones, U. S.G.S),

(2) 含輝水鉛鑛床帶 Climax, Urad, Colorado, Ouesta, New Mexico(R.H. Carpenter, C.S.M.)

여러가지 指導와 많은 參考文獻 및 資料를 提供하여 주신 上記한 여러 地質學者들에게 深深한 謝意를 表하며 特히 只今은 故人이 되어버린 美國地質調基所 David Gallagher 博士에게 感謝와 冥福을 빌고 本 原稿를 읽고 많은 助言을 하여 주신 當所 李正煥所長님 朴魯榮鑛床科長과 特히 延世大學校 金玉準博士님께 感謝를 드리는 바이다.

2. 紹 介

斑岩鑛床(Disseminated or porphyry deposits)이라 함은 火成岩을 母岩으로하여 本火成岩體가 廣範하게 鑛化作用을 받아 有用한 鑛石鑛物이 粒狀

으로 또는 細脈網狀으로 鑛染되어 產出하는 底品位이나마 大規模의 鑛床을 通稱한 것이다.

斑岩鑛床이라 하여 岩石學的인 概念에서 母岩이 碎斑岩이나 斑狀構造를 갖는 岩石에 賦存限定하는 것은 아니며 酸性 내지 中性의 深成岩 및 半深成岩系列의 火成岩體가 母岩이며 또 鑛染(Disseminated)이라는 말도 原來의 意味를 떠나 金屬鑛物이 廣範하게 岩石의 조그만 裂隙(minor cracks)이나 節理를 따라 賦存하는것 까지 包含하고 있으며 鑛化作用을 받지 않은 新鮮한 岩體(Fresh or Barren Stocks)와 區別해서 이르면은 不과하다.

斑岩鑛床은 大體로 그 主鑛石鑛物의 產出에 따라 斑岩銅鑛床(porphyry copper deposits)과 斑岩輝水鉛鑛床(porphyry molybdenum deposits)으로 大別할 수 있다.

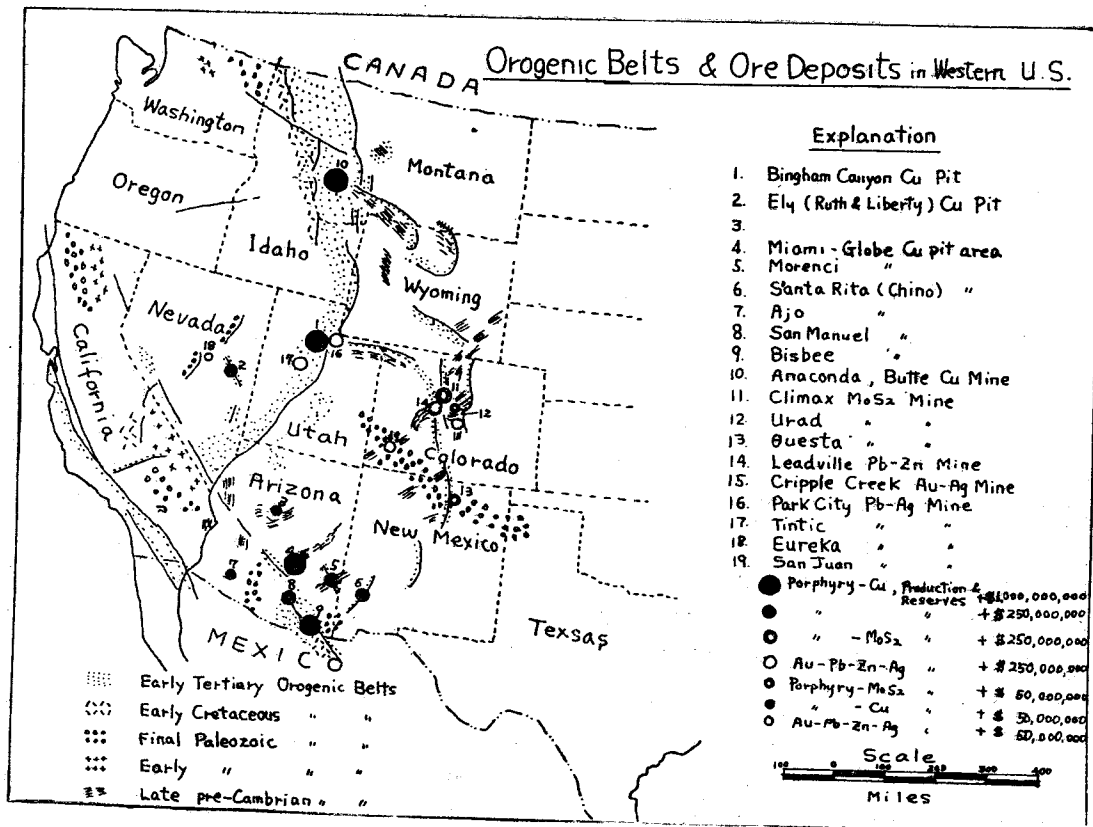


Fig. 1

斑岩銅鑛床은 銅이 主生産鑛石鑛物이며 輝水鉛, 銀, 金을 副産物로 生産하고 있으며 日 15,000 噸~100,000 噸 處理로 最底稼行品位는 0.65% Cu, 0.06~0.12% Mo 이다.

斑岩輝水鉛鑛床은 輝水鉛이 主生産鑛石鑛物이며 銅, 重石, 錫等을 副産物로 生産하고 日 5,000 噸~50,000 噸 處理하고 있다. 代表的인 斑岩輝水鉛鑛床의 하나인 Climax 鑛山은 日 原鑛石 35,000 噸 處理로 輝水鉛精鑛 250,000 Lb, 重石精鑛 4,000 Lb, 錫精鑛 120 Lb 를 生産하고 있으며 그 平均 給鑛品位는 0.25~0.3%Mo, 0.005~0.01% WO₃ 이다. 筆者가 見學갔을때 日 35,000 噸에서 50,000 噸 處理로 施設 擴張中이었다.

兩斑岩鑛床은 地質學的인 諸與件이 大體로 類似하므로 같이 斑岩鑛床으로 묶었다.

3. 分 布

斑岩鑛床은 美國의 西南部地方 即 콜로라도州(Colo), 유타州(Utah), 네바다州(Nev.), 아리조나州(Ariz.), 뉴멕시코州(N.M.)에 主로 分布되어 있으며 록키山脈(Rocky Mts)의 主脈과 와사

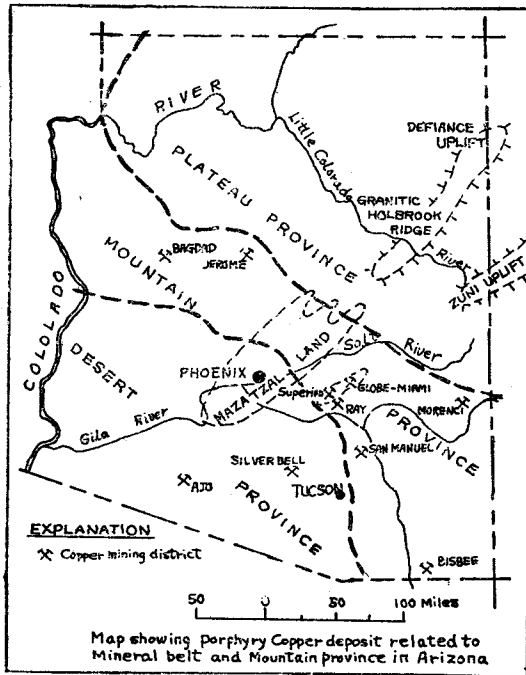


Fig. 2.

치支脈(Wasatch Range)을 外緣으로 하는 콜로라도高原(Colorado Plateau)의 外廓에 分布되어 있다. (Billingsley(2)).

斑岩輝水鉛鑛床은 콜로라도 高原의 東緣部에 (Climax, Urad, Ouesta 等), 斑岩銅鑛床은 西緣部에 (Bingham, Bagdad, Miami, Chino 等) 分布하고 있음이 特徵이다.

(Fig.1 및 Fig.2 參照).

4. 地質 및 鑛床의 特徵

一般的으로 斑岩鑛床附近一帶의 地質은 Precambrian의 變成堆積岩類(片岩 및 片麻岩과 花崗岩)와 이를 整合的으로 又は 不整合的으로 덮고 있는 古生代의 堆積岩層 主로 캄브리아—오도비즈(Cambro-Ordovician)의 石灰岩 및 도로마이트層과 미시시피—펜실바니아—페름기(Mississippian-Pennsylvanian-Permian)의 石灰岩, 砂岩 및 셰일層과 이를 貫入한 白堊紀末第三紀初의 火成岩이 岩瘤狀, 岩床狀 또는 岩脈狀으로 貫入하여 있고 火成岩 貫入以前 또는 以後 여러차례에 걸쳐 火山岩이 貫入 또는 噴出되어 있고 第三紀末—第四紀의 堆積岩層(砂岩, 셰일, 礫岩層)과 砂礫層 沖積層이 整合 또는 不整合的으로 덮여 있다. (Anderson(36, p. 3-16)

斑岩鑛床을 形成하는 母岩으로서 火成貫入體에 對하여 Stringham(36, p 35-40)과 Livingston(17)의 研究에 依하면 火山岩 및 半深成岩을 包含하여 深成岩體의 貫入時期 및 火成活動史는 크게

表 1

K-Ar Ages of Hydrothermal Phase compared with K-Ar. Ages of Plutons (From Livingston 17, p 32)

Deposits	Pluton K-Ar. ages, m.y.	Hydrothermal phase K-Ar Age m.y.	
1. Bagdad	73, 71	72	biotite
2. New Cornelia	62	73	"
3. Copper Cities	64	63	"
4. Safford	65	53	Sericite
5. San Manuel	69	69 65	biotite
6. Silver Bell	67	66 63	"
7. Esperanza	59*	61	muscovite
8. Pima	57*	61	biotite

二期로 區分되는바 古期火成活動은 백악기末—第三紀初(50~70 m.y Laramide)에 新期 活動은 第三紀中葉(10~40 m.y)으로 K-Ar 年齡測定에 依하여 밝혀졌고 兩期의 深成貫入體는 大部分 熱水變質作用과 鑛化作用을 隨伴하고 있으며 Laramide 의 마그마 活動期間中에 密接히 關聯되어 있음이 밝혀지고 있다.(表 1)

鑛床은 上記의 白堊紀末~第三紀初 Laramide 및 第三紀中葉에 貫入한 火成岩을 母岩으로 岩瘤全般에 걸친 熱水變質作用(Hydrothermal Alteration)과 初生鑛化作用(Hypogene mineralization)을 받은後 後에 二次富化作用(Supergene enrichment)을 받아 鑛床을 形成하고 있다.

斑岩鑛床에 關한 廣域地質 및 鑛床의 形成에 對하여는 Titley and Hicks 編著의 Geology of the Porphyry Copper Deposits 에 자세히 記述되어 있고 各 鑛床에 對하여도 別添參考文獻에 상세히 研究되어 있으므로 參考하기 바라며 省略한다.

여기서는 斑岩鑛床의 賦存을 限定하고 있는 一般의인 特徵 特히 岩石學의 限定(lithologic control)과 構造的 限定(Structural control)을 要約해 보면 다음과 같다.

(1) 鑛床은 大體로 카리長石(k-feldspar) 및 알바이트 내지 올리고클레이스(albite to oligoclase)의 花崗岩質岩體에 賦存되어 있다.

(2) 鑛床은 一條 또는 數條의 石英脈이 平行 또는 不規則하게 發達되어 있고 細脈網狀을 이루고 있다.

(3) 上記 岩體는 石英脈 및 細脈網狀을 中心으로 廣範하게 甚한 熱水變質作用을 받아 있다.

(4) 斑岩 銅鑛床은 二次富化作用(Supergene enrichment)으로 二次生成 銅鑛物이 主이다.

(5) 鑛床은 一條 또는 數條의 構造線(斷層)을 隨伴하고 있다.

(6) 構造線은 東西走向 및 45° 미만의 南傾斜의 드라스트斷層(thrust fault)(鑛床은 드라스트斷層之盤部에 發達하고 있음)과 南北走向 및 60°~90° 傾斜의 水平移動斷層(strike-slip fault)과 이에서 惹起된 張力小構造 即 破碎, 碎裂, 龜裂이 發達되어 支配하고 있다.

(7) 複合造山帶와 密接히 關係되어 있다.

(8) 構造 및 貫入接觸(tectonic or igneous contact) 또는 이의 複合으로 形成된 角礫柱(brecciated column)가 發達되어 있다.

5. 母岩의 熱水變質作用

(wall-rock hydrothermal alteration)

斑岩鑛床을 理解하고 研究하고 探鑛에 指針으로서 가장 重要한 鑛床學의인 主題는 母岩에 對한 熱水變質作用이다.

모든 斑岩鑛床은 廣範하게 強力한 熱水變質作用을 받았고 鑛化帶와 密接히 隨伴되어 있어 수메타에서 수백메타까지 母岩에 變質을 隨伴하고 있다.

그러므로 누구든지 斑岩鑛床을 調査하고 研究한 地質學者들은 母岩의 變質作用에 對하여 깊이 研究하였으며 變質作用의 類型 및 크기와 鑛化作用과의 關係는 各鑛床마다 差異가 있으나 母岩自體가 變質作用을 甚히 받았음은 一致하고 있다.

Sales(29)는 Butte, Montana 의 鑛床에서 鑛脈帶(ore vein zone)을 中心으로 하여 母岩에 對한 變質帶의 變化를 자세히 研究하였고 Schwartz (31, 32, 33, 34)는 火成岩의 變質作用과 大部分 斑岩鑛床에 對한 變質作用을 研究하여 많은 그의 論文에 綜合 發表되어 있어 變質作用에 對한 基礎的인 概念, 理論과 類型에 따른 鑛化作用과의 關係 등이 자세히 說明例示되어 있고 Burnham(4)와 Creasy(6)에 依하여 A.C.F. 및 A.K.F. diagram 을 應用하여 各 鑛床의 變質作用型을 綜合하여 系列化하여 鑛化作用이 어떤 變質作用型에 가장 優勢한가를 究明하였고 Hemley(11, 12) 및 Creasy (36)는 熱水變質作用의 過程에 있어 各 構成鑛物의 變質作用을 化學的 諸 反應을 中心으로 實驗을 통하여 諸變質鑛物生成을 研究하여 많은 공헌을 하고 있다.

다음에 熱水의 侵入에(여기서는 마그마에서 上昇한 熱水(ascending hydrothermal solution)) 依하여 母岩의 變質을 新鮮한 岩石과 比較하여 諸般 變化를 考察코자 한다.

5-1 物理的 變化(physical changes)

熱水變質作用을 받은 火成岩體의 母岩의 가장

普遍的인 現象은 ① softening ② bleaching 을 들 수 있으며 大部分 白色 내지 분필같은 양상을 띠우게 된다.

一般的으로 熱水の 侵入으로 再結晶作用(recrystallization)이 일어나 透水性(permeability)이 높아지며 色(Color)도 變한다. 堅固한 暗灰色의 石 英몬조나이트는 dull white 또는 grayish 한 퍼석 퍼석(soft)하고 漂白(Bleached)된 粘土모양 또는 滑石모양의 岩石으로 나타나고 있음이 特色이며 大部分의 一次的인 石理(primary texture)는 破壞되어 버리고 粗粒에서 細粒質 岩石으로 파괴되어 再結晶되고 있다. 그러므로 本來의 granitic, porphyritic 또는 diabasic texture 는 漸次的으로 破壞되고 初期에는 Pseudomorphism 이 가장 普遍的으로 觀察되고 後期에는 felted mass 또는 不

規則한 集塊岩으로 나타나고 있다.

여기서 特記할 事實은 熱水變質作用을 받은 岩石은 透水性 및 孔隙율(porosity)가 新鮮한 岩石보다 높으며 比重은 줄어든다는 것이다(表 2)

表 2. 母岩의 比重表(Schwartz, 31)

	Cactus Mine	O.K. Mine	Climax
新鮮한 岩石 (Quartz Monzonite)	2.72	2.64	2.52
變質받은 岩石	2.52	2.27	2.23

5-2 化學的 變化(Chemical changes)

表 3에서 例示된바와 같이 變質을 받은 岩石은 化學成分에 많은 變化를 일으키고 있다.

變質된 岩石은 Silica 는 현저히 增加하고 Alu-

表 3. Chemical Analysis of Altered & Fresh Rocks in Various Porphyry Copper Deposits.

Areas Samples Chemical Comp	General (1)			Ely, Nevada (2)						Bagdad, Arizona (3)			Castle-Dome, Arizona (4)			
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^b	2 ^b	3 ^b	4 ^b	5 ^b	6 ^b	1 ^c	2 ^c	3 ^c	1&4 ^d	3 ^d	4 ^d	5 ^d
SiO ₂	59.14	61.75	62.63	58.36	57.95	68.02	72.31	65.17	62.45	64.49	67.26	68.41	70.14	69.20	70.33	70.15
Al ₂ O ₃	15.34	15.81	14.30	16.96	17.52	12.72	11.33	17.19	14.04	17.43	15.89	16.57	13.91	14.33	14.53	11.77
Fe ₂ O ₃	3.08	2.26	1.81	3.11	3.14	0.39	0.17	0.16	8.18	1.84	0.88	1.16	1.93	1.03	0.50	1.00
FeO	3.80	3.52	2.46	2.87	3.07	2.80	2.53	3.55	0.36	1.65	1.44	0.53	1.99	0.99	1.03	0.96
MgO	3.49	2.74	1.21	2.07	2.05	1.38	0.86	1.40	0.76	1.93	2.30	0.43	0.65	0.73	0.59	0.43
CaO	5.08	4.17	3.19	6.35	6.46	1.51	0.13	0.00	0.11	3.47	1.18	0.16	1.87	0.25	0.32	0.23
Na ₂ O	3.84	3.12	1.29	3.52	3.34	1.39	0.56	0.10	0.19	4.48	3.10	0.78	2.65	0.72	1.02	0.28
K ₂ O	3.13	3.41	3.62	4.46	4.08	6.16	7.91	6.26	4.25	2.38	3.94	8.37	4.52	5.53	6.10	3.46
H ₂ O ⁻	1.15	1.54	2.27	0.47	0.48	0.95	0.40	2.12	2.04	0.44	0.23	0.14	0.14	1.75	1.08	0.02
H ₂ O ⁺										0.90	1.07	1.66	1.13	2.81	1.76	1.82
TiO ₂	1.05	0.73	0.63	0.67	0.75	0.38	0.35	0.63	0.46	0.46	0.37	0.32	0.59	0.66	0.51	0.43
P ₂ O ₅				0.36	0.42	0.12	0.25	0.11	0.25	0.19	0.17	0.13	0.21	0.13	0.13	0.03
MnO				0.17	0.17	0.03	0.01	0.01	0.00	0.09	0.04	N.D	0.12	0.01	0.02	0.01
FeS ₂													0.04	1.72	1.76	7.05
S				ND	ND	1.58	1.93	2.92	7.08		1.35	1.10				
Cu				ND	ND	1.10	1.38	0.24	1.21		1.05					
Bulk										2.7	2.6	2.6	2.65	2.3	2.3	2.8
S.G Powder										2.75	2.65	2.68	2.81	2.69	2.60	2.99

(1) From. Schwartz, (31) (2) From. New. Div. Div. of K.C. Corp. (3) Anderson, (1) (4) Peterson, (27)

1^a average of Igneous Rocks, Clark
 2^a " of 57 unaltered rock
 3^a " of 80 altered rock
 1^b Unaltered Monz.
 2^b "
 3^b Seri-alteration Monz.
 4^b "
 5^b Bio-ortho alteration Monz
 6^b "
 1^c Unaltered QM
 2^c Altered QM
 3^c Altered QM
 Qz-Orth-Ser (surface)
 1&4^d
 2 Unaltered QMP
 3 Altered QMP clay phase
 4 Altered QMP clay-ser phase
 5 Altered QMP Qz-Ser. phase

mina 는 比較的 조금 變化하고 Ferric oxide 와 Ferrous oxide 는 현저히 減少하고 Pottassium 은 현저히 增加하고 Sodium, lime magnesium 은 현저히 減少하고 있음이 特徵이다.

5-3 礦物學的 變化(mineralogical changes)

斑岩鑛床과 그 母岩에 있어 隨伴鑛物은 變質作用의 類型과 強弱에 따라 또는 母岩의 成分에 따라 各 鑛物의 組成은 差異가 많으나 主要 鑛物을 알파벳트 順으로 羅列하면 다음과 같다.

Alunite, Antigorite, biotite(hydrobiotite), calcite, (他 carbonates) chlorite, clay minerals (allophane, beidellite, halloysite, hydromica, kaolinite, montmorillonite etc.) epidote-zoisite, leucoxene, pyrophyllite, rutile, sericite 等이다.

이中 特記할 事實은 斑岩鑛床과 母岩의 變質帶에 一般的으로 가장 重要한 變質產物로 絹雲母 (sericite)와 粘土鑛物(clay minerals)이다. 이는 正常狀態에서 斜長石系의 長石에 主로 cracks,

cleavages 또는 粒子의 가장자리에 따라 初期의 侵入에 依해生成되고 있으나 後期에 生成되고 있다. 이는 熱水 溶液侵入의 初期에 있어 正長石은 比較的 安定狀態를 維持하고 있으나 變質作用이 더욱 強烈하게 進行되면 다른 鑛物과 같이 變質을 받게 된다.

黑雲母(Biotite)는 白雲母假像(muscovite pseudomorphs)로 變質되며 部分的으로 絹雲母化로 變質하며 綠泥石은 黑雲母의 變質過程中 早期產物로 나타나고 있다. 絹雲母는 또한 cracks 나 粒子의 가장자리에 따라 石英에도 侵入한다. 黃鐵鑛(Pyrite)은 一般的으로 絹雲母에 隨伴되어 鑛染되어 나타나고 있다. 또한 Jasperoid (fine-grained silica of hydrothermal origin)와 粘土鑛物이 後期產物로 生成된다.

그러므로 變質帶는 石英絹雲母黃鐵鑛의 集合體 또는 絹雲母 argillic 粘土鑛物 集合體로 나타남이 特徵이다.

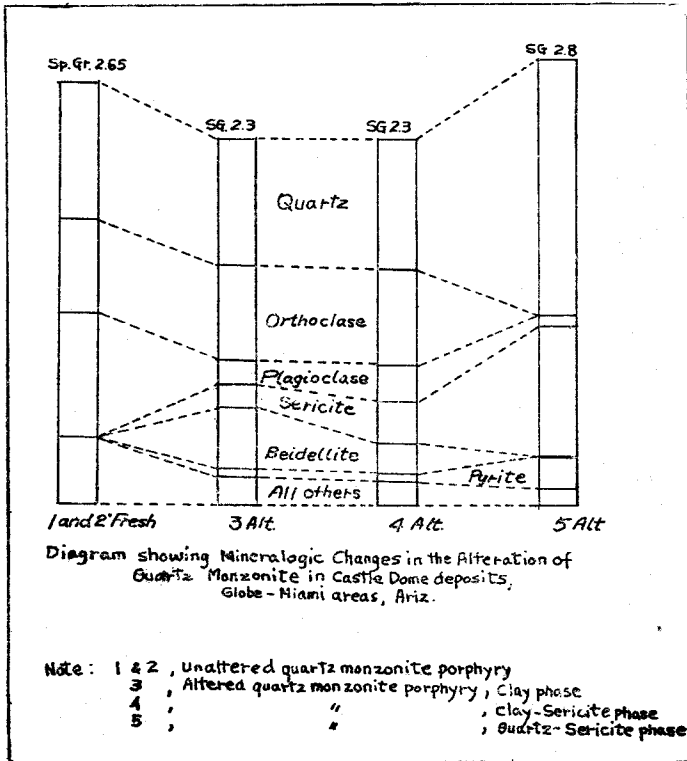


Fig. 3

各構成礦物の變化는 Peterson(27)이 Castle Dome deposits에 對한 研究 Fig. 3에서 例示된 바 新鮮한 岩石에서 變質된 phase에 따라 各構成礦物の 變質을 받아 生成된 礦物을 參考할 수 있다.

5-4 變質作用의 實驗(Experimental data on hydrothermal alteration)

Lindgren (16)은 斑岩鑛床을 mesothermal deposits로 規定하고 이는 成因的으로 貫入岩體와 關係가 있는 熱水溶液으로부터 中溫度(intermediate temperature)에서 生成되었다고 믿어 鑛化作用은 4,000~12,000 ft의 深部에서 175°C~300°C의 溫度에서 形成되었다고 生覺했다. 그後 Gilluly 9 p 529)는 Ajo 鑛床研究結果 마그마의 再結晶作用은 熱水溶液과 ore formation에 依한 교란없이 일어 났으나 鑛化作用時期에 걸친 深部는 Lindgren의 推定과 거의 一致하는 300~10,000 ft. 大略 6,000 ft(15 p. 78)로 推定하였다, 이것은 모든 花崗岩質岩에서 由來한 熱水鑛床(hydrothermal ore deposits)에 對한 最高 深部와 溫度는 花崗岩質自體가 容용할때의 溫度와 壓力에 依해 制限되고 있다고 說明할수 있다. 이에 對하여는 最近 fluid inclusions과 몇곳의 鑛泉(hot springs) 研究에서 ore-forming fluid의 性格에 關하여 極히 制限되고 있으나 概略的인 熱水狀態(hydrothermal condition)에 對하여 推理를 可能하게 해주

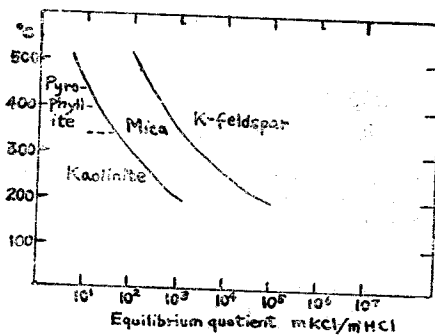


Fig. 4-1. Some stability relations in the system $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ Quartz present: 15,000 psi total pressure.

어 熱水鑛床 生成의 ore-forming fluid 明에 拍車를 加하고 있다.

또한 熱水變質作用에 適用할수 있는 溫度에 關한 geologic thermometry에 關한 研究는 Ingerson (33)에 紹介되어 있는데 그는 試錐孔, 鑛泉, 噴氣孔(fumaroles) 등에서 直接 測定研究하거나 岩石의 實驗的인 溶融研究 등으로 phase equilibrium 關係 即 溶點(melting point), 轉化(iuversion) 解離(dissociations) 分解(decompositions), 溶離(exsolutions), 共融(eutectics), 液體不溶分離(liquid immiscibility) 및 熱水合成(hydrothermal synthesis) 등을 包含하여 各 構成礦物의 生成溫度 및 環境에 關하여 貴重한 資料를 提供하여 주고 있다.

Ingerson(13 p. 361)에 依하여 發表된 두 鑛物 種의 exsolution temperature는 다음과 같다.

Bornite-Chalcopyrite	300°C
Bornite-Chalcopyrite	475°C
Bornite-tetrahedrite	275°C
Sphalerite-Chalcopyrite	650°C
Sphalerite-Chalcopyrite	350°C~400°C
Chalcopyrite-Chalcocite	480°C
Chalcopyrite-bornite	500°C
Chalcopyrite-Sphalerite	350°C~400°C

그리고 斑岩鑛床에 있어 熱水에 依한 石英(hydrothermal quartz)에 對한 fluid inclusion에 依한 研究結果 그 溫度는 82°C~420°C로 이는 熱水鑛床研究에 가장 貴重한 費料이다.

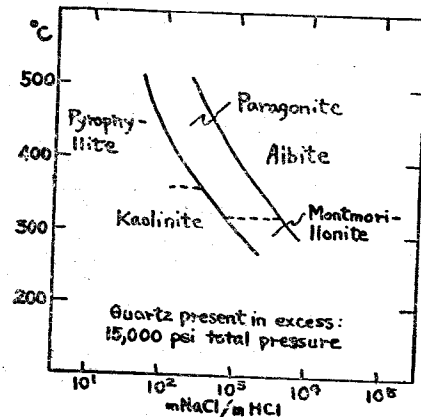


Fig. 4-2. Some stability relations in the system $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$

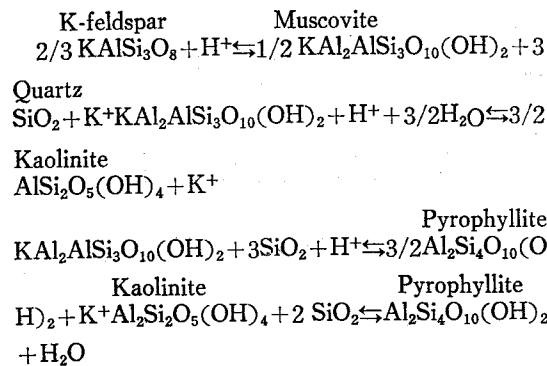
熱水變質作用研究에 가장 適合한 實驗研究는 美國地質調查所의 Hemley 와 Jones 박사에 依하여 試圖되어 最近에 發表되었다(Hemley 29. 30)

그들은 $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 와 $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 의 두 System 을 液相(aqueous phase)에서 壓力을 一定하게 유지 하면서 각각 다른 溫度에서 實驗한바 그 stability relations 는 第4-1圖와 第4-2圖와 같다. 여기서 equilibrium values 는 KCl, NaCl 및 HCl 의 initial molalities 의 變化에 따라 얻어지며 모두 equilibrium 에 到達하는데 까지 視察하였다. 大部分 實驗된 溶液은 石英을 가지고 equilibrium 狀態에 있었다. 本實驗方法은 ions ratio 보다 오히려 KCl 또는 NaCl 의 總 molar ratio 가 많은 영향을 미치고 있어 K^+/H^+ 또는 Na^+/H^+ 으로 簡單히 說明되고 있으며 熱水變質作用中 水素이온 對 K^+ 및 水素이온 對 Na^+ 가 熱水變質過程에 있어 PH_2O 와 T 관계와 마찬가지로 各變質鑛物의 Stability 에 絶對的인 factor 가 될을 새로히 指適하고 있다.

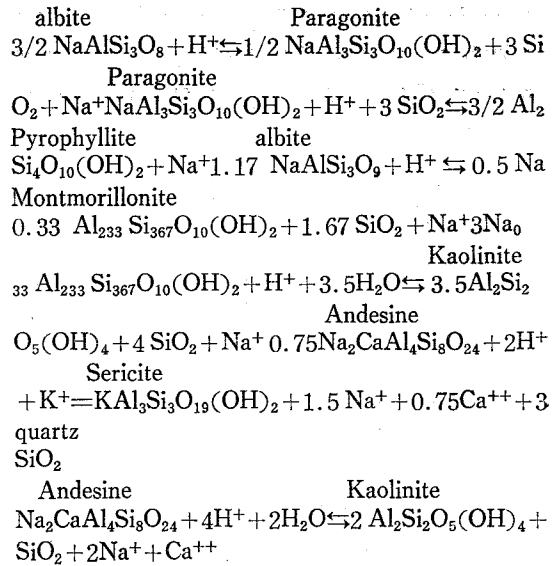
특히 아주 抵溫인 $50^{\circ}C$ 와 抵壓狀態下에서 視覺된 Kaolinite stability curve 의 境遇는 長石類가 粘土鑛物로 變質하는데 斑岩鑛床에 있어 supergene enrichment 의 狀態에서 pyrite oxides 가 sulfuric acid 를 生成하는 것과 비슷한 P-T 環境下이고 high H^+ 이 促進劑 役割을 하고 있음은 매우 重要하고 興味있는 事實이다.

K_2O 와 Na_2O System 의 化學反應 實驗은 다음과 같으며 이 化學反應式은 構成鑛物이 熱水變質을 받아 生成되는 鑛物과 變質相(alteration phase)을 理解하는데 도움을 주고 있다.

K_2O System (Fig. 4-1)



Na_2O System. (Fig. 4-2)



5-5 變質帶의 一般의 規範 (generalization of hydrothermal alteration zone)

熱水에 依한 母岩의 變質을 一般化한다는 것은 매우 어려운 문제이다. 이에 對하여는 여러 學者들이 現在까지 世界의 各 斑岩鑛床의 變質相을 整理하여 一般化하고 어떤 變質相이 鑛化作用과 가장 密接한 關係를 가지고 있는가를 究明하려고 여러가지 方法으로 試圖한바 있다.

Bonorino(3)와 Tooker(37)는 Front Range mineral belts 에 對하여, Lovering(19)은 East Tintic, Utah 에 對하여, sales(29, 30)는 Butte, Montana 에 對하여 Schwartz(31, 32, 33, 34)는 San Manuel 을 위시하여 大部分의 美國西部의 斑岩鑛床에 關하여 母岩의 熱水變質作用에 對하여 研究하였다. 이들은 모두 變質帶의 構成鑛物에 따라 熱水溶液의 channel way 를 中心으로 外緣으로 가면서 몇 개의 다른 Zone 으로 區分한바 大部分 Sales(29, 30)가 提示한 一般化에 同意하고 있으며 大部分 鑛床은 이 一般化된 即 變質帶를 反復하고 있거나 또는 그 中 어느 한 帶만 나타나든가 하고 있다.

即 Fig.6 에 圖示한 바와 같이

1. fault or structures and veins zone
2. Quartz-Sericite zone
3. Argillic zone

4. Marginal transition zone

5. Fresh zone

各帶에 對한 物理的인 變化相 鑛物學的인 變化相과 有用鑛物의 含有量은 第 6 圖에 例示된바 와 같다.

이외에 앞에서 잠간 說明한바와 같이 Burncam (4)과 Creasy(6)는 facies 概念을 適用하여 ACF. 와 AKF diagram 을 應用하여 變質相과 그 關係를 系統化하려고 試圖하였다. Creasy(6)는 斑岩 鑛床의 變質相을 ① propylitic ② argillic ③ potassic 으로 三大分하였고 Burnham(13)은 ① argillic ② phyllic 으로 二大分한바 argillic type 에 propylitic 을 sub-type 로 phyllic 에 potassic 까지 包含하고 있어 아주 類似하다.

이제 Creasy 의 分類를 보던

1. Propylitic alteration zone

이는 다음의 4 assemblages 로 나타나는 바

- ① Chlorite-calcite-kaolinite, ② Chlorite-calcite-tale
- ③ Chlorite-epidote-calcite ④ Chlorite-epidote 로 chlorite-calcite, epidote 가 가장 많이 觀察되며 Sp-hene, leucoxene 도 보편的으로 觀察되고 있음이 特徵이다. Propylitic zone 은 Sales 의 marginal

transition zone 과 구성광물로 보아 類似하다.

2. Argillic alteration zone

이 alteration zone 은 clay minerals(kaolinite 또는 montmorillonite 群 粘土鑛物)의 存在와 lime 의 強한 leaching 의 표적이 特徵이다. 이는 두개의 安定한 鑛物集合體로 나타나는데 muscovite-kaolinite-montmorillonite 와 muscovite-chlorite montmorillonite 이다. 이는 모두 石英과 黃鐵鑛을 含有하고 있다. 大體로 muscovite-kaolinite-chlorite-montmorillonite 의 4 相은 모두 安定狀態에 놓여 있으며로 hypogene meta component chalcopryrite 가 觀察되기도 한다.

이 zone 은 Sales 의 argillic zone 과 구성광물로 보아 類似하다.

3. Potassic alteration zone

이 alteration zone 은 quartz-sericite-pyrite 의 鑛物集合體로 特徵지워 지며 새로운 biotite 와 k-feldspar 가 key mineral 이다. potassic alteration 은 적어도 400°C~480°C 以上에서 일어나는 現象임으로 大部分의 점토광물 clay mineral 과 一次的인 Biotite. 및 k-feldspar 는 unstable 狀態임으로 clay minerals 은 있던 없던 上記 두 alteration

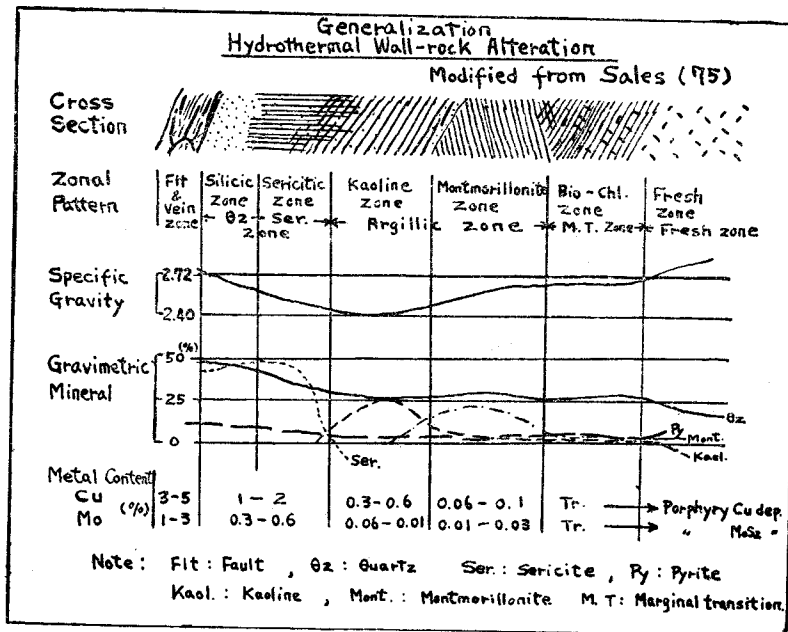


Fig. 5

zone와는 쉽게 區別된다. 이 zone에서는 hypogene chalcopyrite가 넓게 鑛染狀으로 Pyrite와 더불어 cracks, 粒子相互間의 가장자리를 따라 또는 二次的인 albite sericite, 또는 quartz seams을 따라 分布하여 Ajo, Bagdad나 San Maré의 鑛床에서는 二次富化作用의 영향없이도 開發되고 있다. 이는 Sales의 Quartz-Sericite zone과 一致하고 있다.

6. 鑛化作用 (mineralization)

代表的인 斑岩鑛床을 構成하고 있는 造岩鑛物은 一次, 熱水 그리고 二次的인 鑛物들의 複雜한 群을 이루고 있는 데 비해 鑛石鑛物은 比較的인 簡單한 集合體를 이루고 있다.

이들 鑛石鑛物들을 鑛化作用時期에 따라 一次 鑛化作用과 二次鑛化作用으로 나누어 그 特徵的인 것을 要約하고자 한다.

6-1 一次 鑛化作用 (Primary mineralization)

chalcopyrite ($CuFeS_2$)가 大部分의 鑛床에서 hypogene zone의 主 銅鑛石鑛物이며 初生的인 硫化銅 鑛物이다. Pyrite(FeS_2) 또한 硫化鑛物로서 거의 chalcopyrite와 비슷한 比率로 占하고 있고 이 두 硫化鑛物은 鑛染狀으로 그리고 fracture 또는 Cracks나 veinlet들에 coating되어 產出하고 있다. 大部分 수많은 veinlets들이 鑛染狀의 mass에 發達되어 있고 이 veinlets들은 Pyrite, chalcopyrite 그리고 少量의 molybdenite, (M_oS_2) 그리고 아주 微量의 galena, (PbS) zinc (ZnS) Silver (Ag)들을 隨伴하고 있다. 이의 初生 銅鑛石鑛物로 Bornite(CuS)가 chalcopyrite와 別個로 또는 共生하여 產出되고 있다. 一般的으로 molybdenite mineralization이 veinlets나 그 周圍에 아주 작은 粒狀으로 鑛染되어 있거나 變質帶에 散點狀으로 나타나고 있다. Climax 鑛床에는 veinlet를 따라 scheelite($CaWO_4$)가 隨伴하고 있다.

6-2 二次 富化作用 (Secondary enrichment)

이는 酸化作用과 地表富化作用(oxidation and supergene enrichment)을 包含하여 大部分의 鑛床에서 重要한 稼行對象이 되고 있다. 酸化 및 二次

的인 鑛石鑛物로는 輝銅鑛(chalcocite, Cu_2S)과 Covellite(CuS)가 主이며 이는 鑛體上部에서 下部

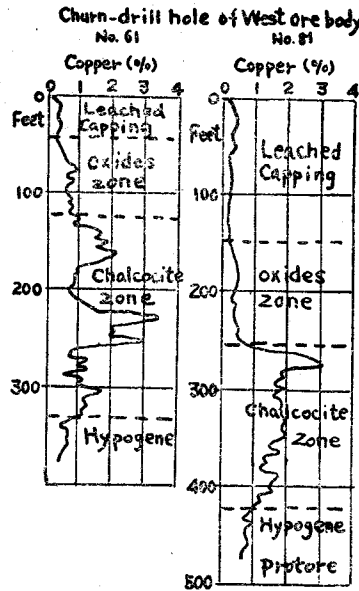


Fig. 6. Assay graphs of churn-drill hole, Bagdad mine.

로 가면서 그 品位가 떨어지고 있다. 이들 鑛石鑛物은 chalcopyrite나 Pyrite를 交代한 銅鑛石鑛物이며 酸化銅鑛物로 Cuprite(Cu_2O)가 chalcocite의 酸化鑛物로 隨伴하며 此外 malachite($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$) azurite ($2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$) Chrysocolla ($CuSiO_3 \cdot 2H_2O$), Chalcantinite($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)도 隨伴하며 自然銅도 產出하고 있다.

上記 二次銅鑛物中 chalcocite는 鑛染狀으로 veinlets나 變質帶에 分布하고 있고 酸化帶下部附近에는 Cuprite, chrysocolla, 自然銅이 分布하고 있는것이 普通이다.

6-3 帶狀分布 (Zoning)

筆者가 意圖하는바 여기서의 Zoning은 C.F. Park Jr의 Symposium of problems of postmagmatic ore deposition에 發表한 Zoning in ore deposits (Vol. 1 p. 47-51, 1963)과 on the definition of zoning and on the relation between zoning and paragenesis (Vol. II. p. 589-595) 概念과 定義에는 關聯없이 一般的으로 斑岩銅鑛床들을 開發하기 爲하여 地表에서 試錐調査로서 밝혀진 銅鑛

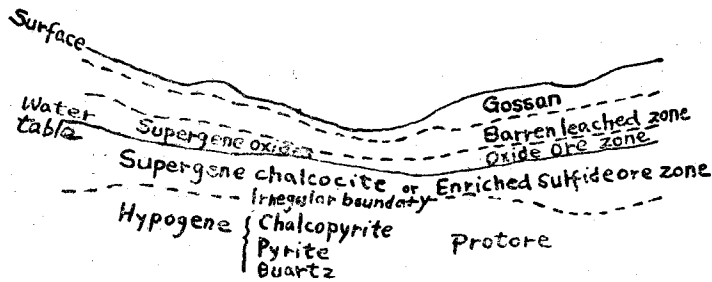


Fig. 7. Diagrammatic sketch Zoning of typical porphyry deposits.

石鑛物의 含有量과 種類에 따라 地表에서 即鑛床上部에서 下部로 가면서 特徵의로 나타나는 分布狀態를 묶어 나누어 봄으로 斑岩鑛床 產出狀態에 對한 理解에 기여코자 하는 것이지 Horizontal 이나 paragenesis 와는 關係가 없음을 밝혀둔다.

斑岩銅鑛床에 있어 一般의로 나타나는 zone 은 鑛床 上部에서(圖面 Fig.)

1. gossan 또는 limonitic zone
2. Leached capping zone
3. oxidized copper zone (Cuprite zone)
4. Supergene Copper enrichment zone(Chalcocite zone)
5. hypogene Copper zone(Chalcopyrite zone)
6. Protore.

上記 zone 中 主로 稼行對象이 되고 있는 copper zone 은 3, 4, 5 의 zone 으로 500 ft 에서 2000 ft 의 深度를 가지고 있으며 San Manuel, Bagdad 等은 主로 Chalcocite zone 을 Bingham, Morenci 等은 主로 Chalcopyrite zone 을 開發하고 있다. 또한 大部分의 鑛床은 100~200 ft 深度厚의 leached capping zone 이 分布되는바 이의 特徵은 거의 原來의 母岩의 樣相은 거의 찾아 볼수 없는 highly iron-stained, porous, siliceous mass 로 나타나고 있다. 이는 또 微量의 銅鑛石을 含有하고 있으나 甚히 酸化받은 一種의 酸化帶의 上部임으로 稼行 價値는 없으나 探鑛의 指針이 되고 있다. leached capping 에 對하여는 Locke(18)와 White(38)에 依하여 廣範圍하고 價値있는 研究가 發表되어 있는바 이에 對하여는 다음 探鑛指針項에서 略述하고자 한다.

7. 地化學(Geochemistry)

斑岩銅 輝水鉛鑛床에 應用되고 있는 地化學探鑛(geochemical prospectings or exploration)에 對하여는 Bloom (36 p. 111~119), Clarke(5) Hansuld(10), Kelley(14), Motoaki(22) Titiey(36), Wilson(39) 等에 依하여 斑岩鑛床 探鑛에 適用된 地化學的인 概念, 實驗 方法 等이 研究 發表되었다.

母岩으로부터 起源한 土壤들은 母岩이 原來含有하고 있는 相應量의 金屬含有量을 胚胎하고 있을 것이며 이 殘留土壤에 많은 影響을 미치고 있는 植物(vegetation)도 土壤이 含有하고 있는 金屬成分과 量에 따라 여러 變化樣相을 보여줄 것이고 地表및 地下水도 土壤內에 또는 風化된 岩石內에 여러 化學作用으로 金屬量을 leached away 시켜 母岩 成分에 많은 變化相을 惹起시킬 것이다.

이와 같이 地殼의 여러 部分에서 個個元素들의 分布와 移動에 따른 變化를 考察하고 이 分布와 移動을 限定하는 原理들을 究明 研究함으로서 鑛床 探鑛에 適用하려는 것이다. 이제 斑岩鑛床에 있어 銅 및 모리브덴의 地質學的인 特性들을 考察하고 實際 應用된 最近의 理論에 對하여 略述코자 한다.

7-1 銅(Copper)

地殼에 含有되어 있는 銅의 分布는 火成岩에 있어 超鹽基性岩 80 ppm, 鹽基性岩 140 ppm 酸性乃至 中性岩이 30 ppm 이며 平均 70 ppm 이고 堆積岩에 있어 石灰岩 5~20 ppm, 砂岩 10~40

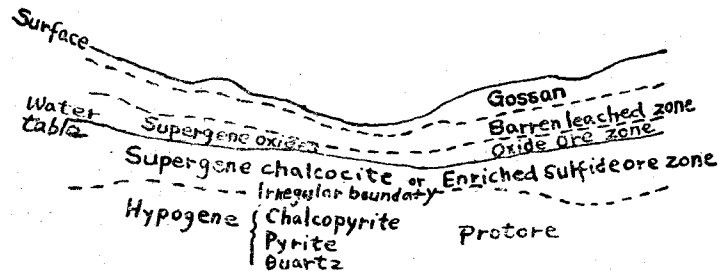


Fig. 7. Diagrammatic sketch Zoning of typical porphyry deposits.

石鑛物의 含有量과 種類에 따라 地表에서 即鑛床上部에서 下部로 가면서 特徵적으로 나타나는 分布狀態를 묶어 나누어 봄으로 斑岩鑛床 產出狀態에 對한 理解에 기여코자 하는 것이지 Horizontal 이나 paragenesis 와는 關係가 없음을 밝혀둔다.

斑岩銅鑛床에 있어 一般적으로 나타나는 zone 은 鑛床 上部에서(圖面 Fig.)

1. gossan 또는 limonitic zone
2. Leached capping zone
3. oxidized copper zone (Cuprite zone)
4. Supergene Copper enrichment zone(Chalcocite zone)
5. hypogene Copper zone(Chalcopyrite zone)
6. Protore.

上記 zone 中 主로 稼行對象이 되고 있는 copper zone 은 3, 4, 5 의 zone 으로 500 ft 에서 2000 ft 의 深度를 가지고 있으며 San Manuel, Bagdad 等은 主로 Chalcocite zone 을 Bingham, Morenci 等은 主로 Chalcopyrite zone 을 開發하고 있다. 또한 大部分의 鑛床은 100~200 ft 深度厚의 leached capping zone 이 分布되는바 이의 特徵은 거의 原來의 母岩의 樣相은 거의 찾아 볼수 없는 highly iron-stained, porous, siliceous mass 로 나타나고 있다. 이는 또 微量의 銅鑛石을 含有하고 있으나 甚히 酸化받은 一種의 酸化帶의 上部임으로 稼行 價値는 없으나 探鑛의 指針이 되고 있다. leached capping 에 對하여는 Locke(18)와 White(38)에 依하여 廣範圍하고 價値있는 研究가 發表되어 있는바 이에 對하여는 다음 探鑛指針項에서 略述하고자 한다.

7. 地化學(Geochemistry)

斑岩銅 輝水鉛鑛床에 應用되고 있는 地化學探鑛(geochemical prospectings or exploration)에 對하여는 Bloom (36 p. 111~119), Clarke(5) Hansuld(10), Kelley(14), Motoaki(22) Titiey(36), Wilson(39) 等에 依하여 斑岩鑛床 探鑛에 適用된 地化學的인 概念, 實驗 方法 等이 研究 發表되었다.

母岩으로부터 起源한 土壤들은 母岩이 原來含有하고 있는 相應量의 金屬含有量을 胚胎하고 있을 것이며 이 殘留土壤에 많은 影響을 미치고 있는 植物(vegetation)도 土壤이 含有하고 있는 金屬成分과 量에 따라 여러 變化樣相을 보여줄 것이고 地表및 地下水도 土壤內에 또는 風化된 岩石內에 여러 化學作用으로 金屬量을 leached away 시켜 母岩 成分에 많은 變化相을 惹起시킬 것이다.

이와 같이 地殼의 여러 部分에서 個個元素들의 分布와 移動에 따른 變化를 考察하고 이 分布와 移動을 限定하는 原理들을 究明 研究함으로써 鑛床 探鑛에 適用하려는 것이다. 이제 斑岩鑛床에 있어 銅 및 모리브덴의 地質學的인 特性들을 考察하고 實際 應用된 最近의 理論에 對하여 略述코자 한다.

7-1 銅(Copper)

地殼에 含有되어 있는 銅의 分布는 火成岩에 있어 超鹽基性岩 80 ppm, 鹽基性岩 140 ppm 酸性乃至 中性岩이 30 ppm 이며 平均 70 ppm 이고 堆積岩에 있어 石灰岩 5-20 ppm, 砂岩 10-40

pH	Predominant Speies	Proposed Prpducts	Designation
1.0	$Fe^{++} + 3HM_0O_4^- \rightarrow Fe(HM_0O_4)_3$		A
1.0~2.4	$Fe(OH)^{++} + 2HM_0O_4^- \rightarrow FeOH(HM_0O_4)_2$		B
2.4~3.2	a) $Fe(OH)_2^+ + HM_0O_4^- \rightarrow Fe(OH)_2HM_0O_4$		C
	b) $Fe(OH)_2^+ + OH^- \rightarrow Fe(OH)_3$		D
2.4~6.2	$Fe(OH)_3 + (3-n)HM_0O_4^- + (3-n)H^+ \rightleftharpoons Fe(OH)_n(HM_0O_4)_{3-n}^{(1)} + 3n(H_2O)$ or $Fe(OH)(HM_0O_4)_{3-n}^{(2)} + 3m(H_2O)$		

(1) X (2) Y

이는從來 Molybdenite(M_0S_2)는酸化作用에依하여黄色의 Ferrimolybdtite($Fe_2O_3M_0O_3 \cdot 8H_2O$)로變하여安定한唯一의 Molybdenite의酸化鑛物로남아있다고 믿어왔던것이 다시 Ferrimolybdtite는 pH와 Eh의支配條件에 따라上記諸反應에서얻어진여러酸化鑛物로存在함이알려져 Ferrimolybdtite에서 다시얻어진上記의 Proposed products들을 Akaganiite라命名하고 이 Akaganiite는 lepidochlosite gossan으로漸變함이 밝혀졌다.

一般的으로 Molybdenum의地殼에分布는火成岩에 있어超鹽基性岩 0.3(ppm)鹽基性岩 1.5 High Ca granite 1.0, law Ca granite 1.3이고堆積岩은 셰일 2.6 사암 0.2 石灰岩 0.4이다.土壤의平均含量은 2 ppm이다. 그리고 물에서 Molybdenum의 mobility를 보면 모리브덴含量的 pH에正比例하고 있다. Ward의測定에依하면 다음과 같다.

pH	Mo in water(ppb)
7.4	18
8.2	34
8.4	270
9.0	340

또한斑岩鑛床에 있어指示元素는 Molybdenum과化學的인諸特性이 비슷한 Rhenium(原子番號 75로周期率表에서 W.Mo.Mo. Tc에 싸여 있는元素)의檢出이探鑛에 공헌하고 있다. Fleischer(7.8)에依하면斑岩鑛床에 있어鑛染狀의 Molybdenite 粒子에對한 Rhenium含量은 다음과 같다.

Locality	Re(ppm)
Bagdad (U.S.A.)	0-50

Miami (")	150-688
Bingham (")	0-50
Nevada (")	1030
Cananea (Mexics)	100-150
Aigedozor(U.S.S.R)	780

Molybdenite의含有量은高温鑛床에서中温鑛床으로가면서增加하고있어斑岩鑛床型의探鑛에 좋은指示元素가되고있다.

7-3 地化學探鑛을爲한適用

앞에서筆者는銅및모리브덴에對한一般的인地化學的의特性和酸化帶에서의諸反應과流動性等에關하여考察하였다.最近에와서많은地化學者들에依해여러가지새로운事實들이 밝혀지고또한實際探鑛에適用하여 많은中温鑛床으로가면서增加하고있어 이는大體로中温의斑岩鑛床探鑛에 좋은指示元素가되고있다.

7-3 地化學探鑛의 새로운傾向

現在까지發表되고알려진地化學은우리에게實際野外에서試科採取方法과分析技術에關하여서가全部였다.最近에와서는現在우리가 다루고 있는環境即露頭에對하여酸化作用과여러가지二次的인地化學的 Rhenium dispersion 即水, 河床堆積物土壤, 植物等を通하여金屬의移動을支配하고 있는原理를理解하고자여러가지地化學的方法이試圖되어새로히 pH가適用되었다. 이는大部分의二次媒介物은모두共通的으로水液相의化學的인特徵을가지고있으므로着眼되었다. pH란 aqueous system의相對的인酸性度(acidity) 또는알칼리性度(Alkalinity) 들이고 Eh는 aqueous system의相對的인酸化 또는還元의 potential이다.紙面關係로 Eh의測定方法은다음機會에說明하기로하고여기서는 pH-Eh가實際探鑛에適用되고 있는一面을紹介하고자한다.

露頭나 또는半露頭(Sub-outcrop)에對한地化學研究는鑛化作用을 받은 Source와觀察된地點에서의試料相互間的鑛化作用을 받은環境과여러가지 dispersion media等 주로化學的인活動을다루어야한다.그럼으로써一次硫化鑛物의酸化作用과金屬이온의流動性이考慮되어야

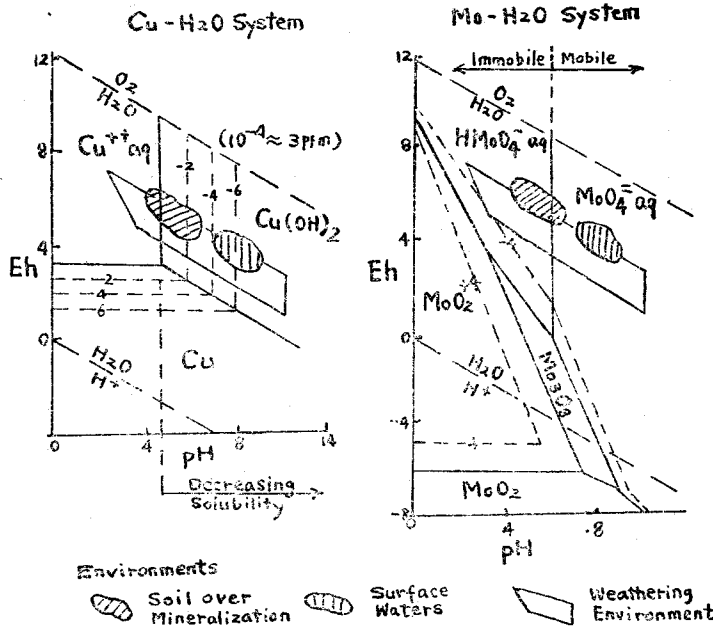


Fig. 9. Relative mobility of Copper & molybdenum in Dispersion media, Typical of Porphyry copper Deposit

한다.

Hansuld(10)의 연구에 의하면 9圖에서 보여 주는 바와 같이 斑岩銅輝水鉛鑛床地域에 있어 각각 다른 dispersion media 土壤과 地表水로 인한 mobilities 를 잘 說明해 주고 있다.

大體로 鑛化作用을 받은 母岩을 덮고 있는 酸性表土에는 大部分의 酸化된 銅들이 잘 leached 되기 때문에 強한 鑛化作用을 隨伴하고 있는 鑛床 바로 上部의 表土에서도 아주 낮은 銅 含有量이 檢出된다. 마찬가지로 알칼리성의 地表流水에서도 비록 銅의 溶解度(Copper solubility)가 아주 局限되어 있지만 drainage system 에서는 무시할 程度의 銅의 含有量이 檢出된다. 大部分의 酸化된 銅은 酸性鑛山水에 의해 溶液相으로 곧장 下部로 運搬되고 있다. 銅과 모리브덴의 安定度關係를 比較하여 보면 모리브덴은 不流動的(Immobile)인 데 反해 銅은 比較的 流動的이다. 故로 모리브덴은 本質적으로 酸性土壤에 固定하여 酸化모리브덴(Acid Molybdate)으로 產出되고 있으나 銅은 比較的 溶解하기 때문에 leached

away 되고 만다. 反對로 알칼리성 地表流水에서는 銅의 溶解도가 極히 制限되어 있는 反面 모리브덴은 比較的 流動的인 모리브데이트 음이온(molybdate anion)으로 產出된다. 故로 酸性表土에서 모리브덴 產出은 含輝水鉛斑岩鑛床의 探鑛을 爲한 試錐 타겟(targets)가 되며 알칼리성 地表流水內에서 모리브덴 檢出은 銅鑛床 鑛化作用의 地域 選定에 基礎資料가 되고 있다. 이는 다시 말해서 모리브덴은 普遍的으로 斑岩鑛床의 地化學探鑛에 있어 指示元素로 公認을 하며 이는 Eh-pH의 概念 適用을 가장 잘 說明해 주기도 한다.

8. 結 言

紙面 關係로 斑岩鑛床의 分布와 賦存을 크게 支配하고 있는 構造的 限定과 tectonic frame, igneous history 를 包含한 廣域 地質 및 鑛床賦存에 있어 鑛化作用 特히 二次的 地表富化作用과 酸化作用 등에 對하여 너무 簡略하였기에 다음 機會에 다시 補完하겠으며 地化學에 있어서도 Eh-pH

의 適用과 secondary dispersion 및 各 鑛物의 stability 等에 對하여도 다시 補完하여 될 生覺이다. 一般의 完全히 露出되고 開發되고 있는 斑岩鑛床에서 얻어진 geologic setting, alteration pattern 및 metal distribution pattern 等を 參考로 하여 廣範圍한 廣域 精密地質調査 地化學 및 物理鑛鑛을 並行하여 採取한 試料의 觀察 및 化學, 探械分析 等の 室內研究를 通하여 새로운 鑛床들

이 發見되고 있음을 볼 때 새로운 潛在鑛床을 찾는다는 것은 決코 쉬운일은 아니다 그러나 있는 것은 있다는 平凡한 眞理를 믿는다면 努力하고 언제나 解決이 될때까지 跳戰한다는 研究態度를 익혀 우리도 우리의 地質與件을 다시 檢討하여 우리 땅에서도 大規模의 斑岩鑛床을 찾아야겠다는 바람에서 졸속의 小稿를 紹介한다.

REFERENCES

1. Anderson, C.A. 1955, Geology and ore deposits of the Bagdad area, Yavapai, Ariz.: USGS Prof. Paper 278 P 103
2. Billingsley and Locke, A. 1941, Structure of ore district in the continental framework; AIME Trans. Vol. 144 P. 9-64
3. Bonorino, F.G. 1959, Hydrothermal alteration in the Front Range mineral belts, Colo.; GSA Bull. No. 70, P 53-90
4. Burnham, C.W. 1962, Facies and Types of Hydrothermal Alteration: Econ. Geol. Vol. 57, P 768-784
5. Clarke, O.M. Jr. 1953, Geochemical prospecting for copper at Ray, Arizona, Econ. Geol. Vol. 48, P. 39-45
6. Creasy, S.C. 1959, Some phase relation in the hydrothermal alteration rocks of porphyry copper deposits; Econ. Geol. Vol. 54, P. 351-373
7. Fleischer, M. 1959, The geochemistry of rhenium with special reference to its occurrence in molybdenite: Econ. Geol. Vol. 54, P. 1406-1413
8. _____ 1960, The geochemistry of rhenium Econ. Geol. Vol. 55, P. 607-609
9. Gilluly, J. 1946, The Ajo mining district, Ariz: USGS Prof. Paper 209 P. 112
10. Hansuld, J.A. 1965, Eh and pH in geochemical exploration, Annual General Meeting, Toronto, Trans LXIX, 1966, P. 77-84
11. Hemley, J.J. 1959, Some mineral equilibria in the system in $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$; Am. Jour. Sci. Vol. 1257, P. 241-270
12. _____ & Jones, W.R. 1964, Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism: Econ. Geol. Vol. 59, P. 538-569
12. Ingerson, E. 1955, Methods and problems of geologic thermometry; Econ. Geol. 50th Ann. Vol. P. 341-410
14. Kelly, W.C. 1958, Topical study of lead zinc gossans; New Mexico Bur. of Mines and Min. Res. Bull. 46 P. 80
15. Letowski, F. and others 1966, Application of potential pH diagrams for determination of the occurrence forms of trace elements in some economic mineral deposits; Econ. Geol. Vol. 61, P. 1272-1289
16. Lindgren, W. 1933, Mineral deposits, 4th edition, McGraw-Hill Book. Co. P. 930
17. Livingston, D.E. and others, 1968, Geochronology of the emplacement, and preservation of Arizona porphyry copper deposits, Econ. Geol. Vol. 63, P. 30-36
18. Locke, A. 1926, Leached outcrops as guides to copper ore; Baltimore, Williams and Wilkins Co. P. 175
16. Lovering, T.S. 1949. Rock alteration as a guides to ore; Econ. Geol. Mon. 1 P. 64
20. Meyer, C. and Hemley J. 1957, Hydrothermal alteration in some granodiorites 6th National Conf. on clay and clay minerals, P. 89-100
21. Morse, H.W. and Locke, A. 1924, Recent progress with leached ore capping; Econ. Geol. Vol. 19, P. 249-258
22. Motoaki, ato. 1960, Oxidation of sulfide ore deposits, Econ, Geol. V. 55