

内 2-25

早稲田大学大学院理工学専攻

博士論文概要

論文題目

MINERALOGY, PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF
THE MAGNESIAN SKARN-TYPE MAGNETITE DEPOSITS
AT THE SHINYEMI MINE, REPUBLIC OF KOREA

(韓国新礼美鉱山のマグネシウムスカルン型磁鉄
鉱床の鉱物学、岩石学および地球化学的研究)

申請者

梁 東 潤

Dong-yaon YANG

資源および材料専攻資源工学研究

平成 2 年 12 月

新礼美鉱山は、スカルン型鉱床としては韓国最大級の磁鉄鉱鉱床、およびスカルン型亜鉛・銅・モリブデン鉱床からなる。この鉱山は1941年硫化物鉱床として開発された以来比較的高品位の硫化物鉱石を産してきたが、1980年代の始め、鉛・亜鉛価額が下落したうえ品位も徐々に低下し採掘は中断された。当時、毎年の生産量は亜鉛(Zn 46%)55,000トン、銅(Cu 12%)170トン、モリブデン(MoS₂ 50%)42トンであった。しかし、この鉱山は現在の鉱業権者の豊田鉱業株式会社により磁鉄鉱鉱山として1982年再開発され、この数年間の開発深度は標高540mの標準坑道から下部110mに及んでいる。この鉱山は品位40%以上の磁鉄鉱鉱石を年間約65,000トン生産している。また、最近活発な探査により既存鉱体の下部で6千万トンから1億トンの埋蔵量が予想される磁鉄鉱鉱床が新たに発見された。

この鉱山は、韓国において硫化物鉱石を産する重要な鉱山の1つであった為、過去多くの研究者によりこれに関する数多くの地質学的、鉱床学的研究がなされてきたが、しかし、その中で磁鉄鉱鉱床に関するデータはいくつかを除けば皆無に近かった。そのため、地質探査や試錐の計画を立てる事だけではなく選鉱や精錬工場における鉱石処理の操業にあたっていくつかの困難が生じてきた。

著者はこの磁鉄鉱鉱床の成因を究明するために、鉱床付近の地質調査を行うと共に、スカルン鉱物および鉱石鉱物に対する鉱物学的、岩石学的、地球化学的研究を進めてきた。1987年から鉱床付近と坑内の地質調査を開始し、採取した500個以上の岩石・鉱石試料について、顕微鏡・電子プローブマイクロアナライザ(EPMA)・X線回折計(XRD)・蛍光X線分析(XRF)などの諸方法を用いて研究を行ってきた。その結果、この磁鉄鉱鉱床がマグネシウム型スカルンのものである。すなわち、一連の鉱化溶液から晶出する珪酸塩鉱物や鉱石鉱物は母岩のMg/Caの比にコントローラされ、その比が高い場合にマグネシウム型スカルンと磁鉄鉱が晶出され、比が低い場合にカルシウム型スカルンと硫化物鉱物が晶出されたことが初めて明らかにされた。この論文は、新礼美鉱山の磁鉄鉱鉱床に関する研究結果を取りまとめたもので、9章から構成される。

第1章は“まえがき”で、本研究の目的と成果の概要、またこの論文の各章ことの概要が記載されてある。

第2章は、本鉱山の韓半島における地質学的位置および環境を明確にするために、その地質帯構造上の各部位を述べたものである。すなわち、本鉱山地域は先カンブリア時代の古期結晶質岩石類からなる京畿マシフと嶺南マシフとに挟まれた沃川帯非変成部の南縁に、且つカンブローールドビス紀の炭酸塩岩層(朝鮮累層群)の最上層部(オルドビス紀マッコル石灰岩層)にあたる。地質構造から見ると、本地域は沃川帯北東部のE-Wの軸を持ち、Nにプランチする新向斜南翼にあたる。

第3章は新礼美鉱山地域の地質と、火成岩と鉱床(スカルン鉱物を用いた)の年代測定結果を論じたものである。まず、鉱床が胚胎されたオルドビス紀のマッ

コル石灰岩層を下部苦灰質石灰岩層、中部苦灰岩層、上部石灰岩層の3つの地質ユニットに分け、各ユニットに対し詳しく記載した。また、梨木花崗岩、関係火成岩の斑晶質岩および新礼美花崗閃緑岩について述べるとともに、関係火成岩(花崗斑岩: 77.2 ± 1.7 Ma, 新礼美花崗閃緑岩: 74.7 ± 1.7 Ma)および鉱床の年代(金雲母: 76.7 ± 1.7 Ma)測定結果から両者はほぼ同年代であること、また得られた鉱床の年代は第2蓮花Zn-Pb鉱床のそれに近く、上東タングステン鉱床の年代よりやや若いことと、新礼美鉱床は後期白亜紀に仏国寺花崗岩活動に伴って形成されたことなどを明らかにした。

第4章では新礼美鉱山の地理的位置を明確にし、鉱山の開発史、開発状況、規模などを簡単に述べた。

第5章は新礼美鉱山の鉱床について述べたものである。新礼美鉱床はマッコル石灰岩層の炭酸塩岩と斑晶質岩または新礼美花崗閃緑岩との接触部に形成され、これは上部と下部磁鉄鉱鉱床および東と西の硫化物鉱床に区別される。これらの鉱床はパイプ状・レンズ状、塊状あるいは脈状であり、NNW性断層に沿って貫入した斑晶質岩と中部苦灰岩層および下部苦灰質石灰岩層の接触部と、上部石灰岩層との接触部にそれぞれに上部および下部磁鉄鉱鉱床と西硫化物鉱床が形成され、また新礼美花崗閃緑岩と下部苦灰質石灰岩層との接触部には東硫化物鉱床が発達している。

第6章では新礼美磁鉄鉱鉱床におけるスカルンの分類、晶出順序、累帯分布などを述べている。まず、この鉱床は成因的に変成スカルンと交代スカルンに大別され、前者は接触変成作用時、不純な苦灰岩、苦灰質石灰岩および石灰岩中に形成されたもので、主な鉱物は再結晶方解石と苦灰石、カンラン石、単斜輝石、金雲母、カリ長石、斜長石などである。また、方解石-苦灰石ソルバス地質温度計から算出した接触変成時の温度は540-600℃と推定される。一方、後者はさらに3つのスカルン型、マグネシウム型とカルシウム型、および中間型のスカルンに分けられ、各型の代表的スカルンはそれぞれカンラン石、単斜輝石、ざくろ石である。この中で磁鉄鉱を伴うのは下部磁鉄鉱鉱床のマグネシウム型スカルンと中間型スカルン、上部磁鉄鉱鉱床のマグネシウム型スカルンである。マグネシウム型スカルンの晶出順序は、4つのステージに分けられる。まずステージ1は累進的スカルン形成で示され、カンラン石、スピネルと早期の磁鉄鉱系列鉱物、単斜輝石とざくろ石などの晶出で代表される。引き続き、後退的変質作用の始まりであるステージ2ではヒューマイトグループ鉱物、金雲母、角閃石の晶出が目立ち、後期磁鉄鉱系列鉱物とMg-緑泥石の晶出で示されるステージ3では磁硫鉄鉱、閃亜鉛鉱などの硫化物も共に晶出される。最後のステージ4の前期には早期晶出スカルンに対し蛇紋石の交代作用が卓越しかつ後期は激しい炭酸塩化作用で特徴づけられる。このように、磁鉄鉱鉱化作用は上部磁鉄鉱鉱床と下部磁鉄鉱鉱床において共に2回あったことが確認される。早期のものは両者ともステージ1の同時期

であるが、後期の磁鉄鉱鉱化作用は下部ではステージ2に強く、ステージ3のスカルンと磁鉄鉱の晶出はほとんど見かけられない。しかし、上部磁鉄鉱鉱床ではステージ2の磁鉄鉱鉱化作用は弱く、むしろステージ3に卓越する。この違いは第8章の8-4で、磁鉄鉱鉱化作用時の天水の影響であることを明らかにした。

第7章は、本論文の重要な部分の1つであり、この研究を通じて新礼美鉱床からは初めて見出された鉱物を含め約30種類に及ぶ鉱物のうち、その主要なものについて産状、共生関係、化学組成などを述べたものである。まず、7-2では珪酸塩スカルン鉱物、特に早期磁鉄鉱鉱化作用に伴って晶出するカンラン石、また後期磁鉄鉱鉱化作用と関係のあるヒューマイトグループ鉱物、金雲母、角閃石、緑泥石などについて詳しく論じられた。7-3はこの章の中でも最も重要な部分であり、これまで選鉱場と精錬所においていくつかの問題をもたらした磁鉄鉱石中の不純物の正体を鉱物学的に明らかにしたものである。早期晶出の磁鉄鉱は、一般にかんらん石、スピネルを伴い、その組成は、 FeFe_2O_4 62.4-98.3 mol%、 MgFe_2O_4 10.0-30.3 mol% の範囲である。スピネルは、 FeAl_2O_4 24.1-34.5 mol% の範囲のスピネル-ヘルシナイト二成分系で表される。磁鉄鉱は通常スピネルの離溶体(0.1-10 μm)を包有し、その離溶体の組成は MgAl_2O_4 68.7-83.1 mol%、 FeAl_2O_4 6.2-21.3 mol%、 MgFe_2O_4 5.5-9.7 mol% の範囲である。この磁鉄鉱は後期晶出の磁鉄鉱に、しばしば交代され、後期磁鉄鉱の化学組成は MgFe_2O_4 - FeFe_2O_4 - MnFe_2O_4 の三成分系で示され、 MnFe_2O_4 成分が 28.2 mol% にまで増加する。早期マグネシオフェライトは早期磁鉄鉱の晶出とほぼ同時期に晶出し、磁鉄鉱と固溶体を形成する。その組成は MgAl_2O_4 59.1-70.7 mol%、 FeFe_2O_4 2.6-27.3 mol% の範囲であり、後期晶出のマグネシオフェライトは FeFe_2O_4 のほかかなりの MnFe_2O_4 成分を含有する。7-4と7-5はそれぞれ炭酸塩鉱物と硫化物鉱物について産状、化学組成を述べたものである。

第8章はスカルンと鉱床形成の物理化学的条件を推定したものである。まず、閃亜鉛鉱・流体包有物地質圧力計により、生成圧($P_s=P_f$)は0.6 - 0.7 kbと推定された。一方、流体包有物地質温度計により、早期鉱化作用: >500 $^{\circ}\text{C}$ 、後期鉱化作用: 350-500 $^{\circ}\text{C}$ 、酸素同位体地質温度計により、鉱化作用の温度範囲は400-610 $^{\circ}\text{C}$ と予想され、両者を考慮すると、その早期の温度が500-600 $^{\circ}\text{C}$ 、後期の温度は350-500 $^{\circ}\text{C}$ と推定される。8-4は酸素と酸素・水素同位体の研究の結果から鉱化溶液について論じたものである。すなわち、上述の温度範囲で鉱物と平衡にある鉱化溶液の $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 値の範囲は -2.4 ~ +11.3‰ であり、これは炭酸塩岩の緩衝作用の影響を強く受けたことを示す。また酸素水素同位体測定値は広い範囲のもので上部鉱体は天水の影響が大きく、下部のは小さいことを明らかにした。

第9章は、これまで述べてきたことを総括し、結論を記述したものである。