

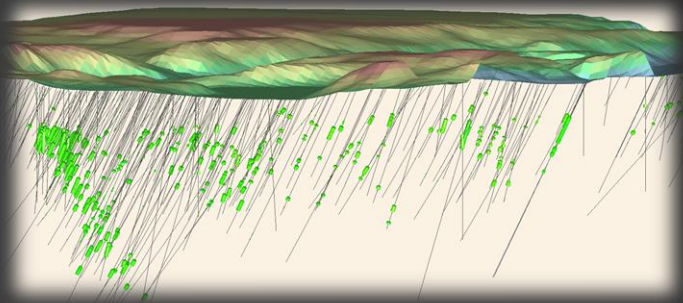
Mineral Resources Estimation for Deba Project

참여학생 : 박준혁 정수원 오세욱 지도교수 : 조상호

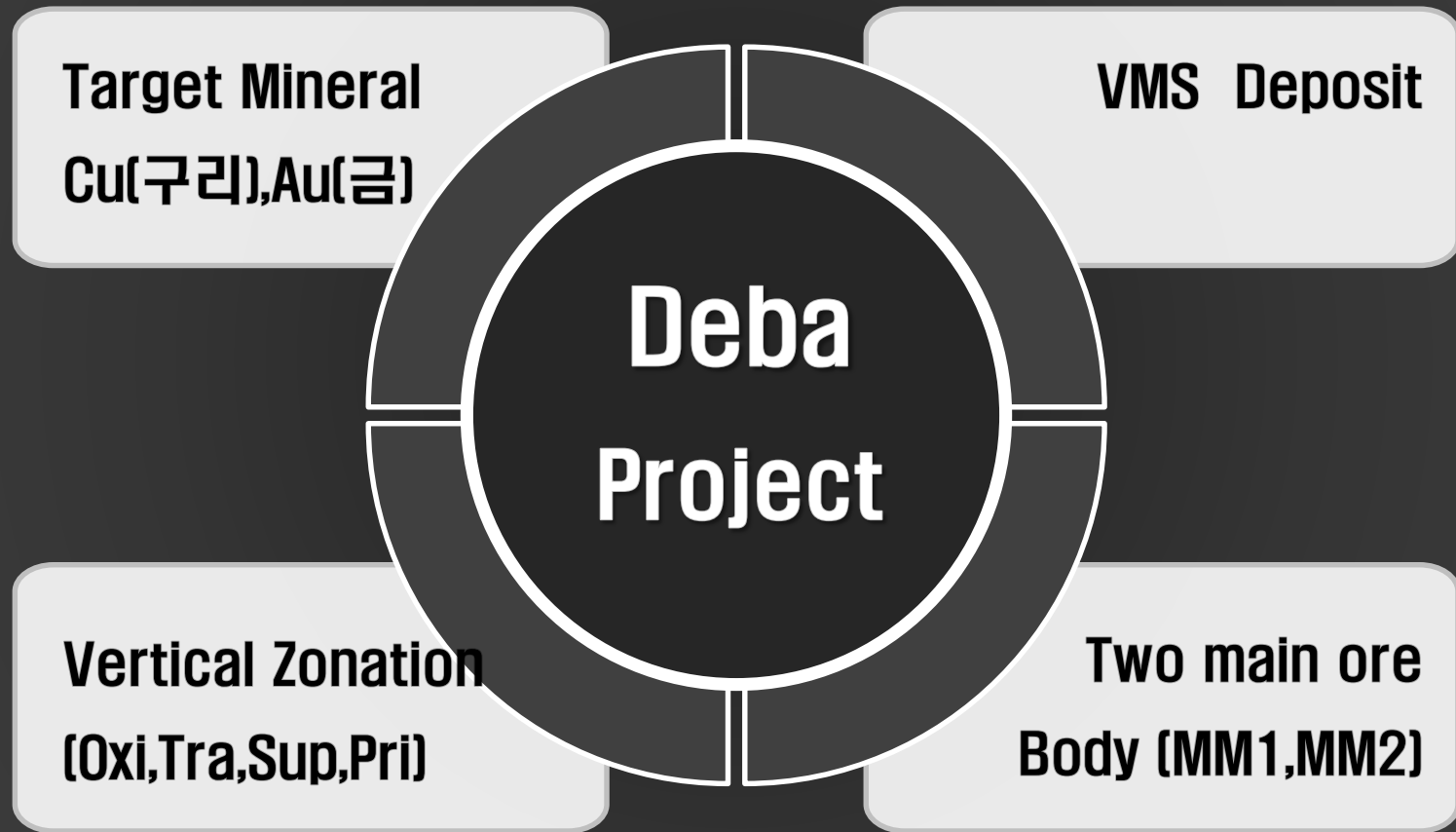
1 INTRODUCTION

CONTENTS

1. Introduction
2. Project Sample Database
3. Geological Interpretation
4. Basic Statistics
5. Geostatistical Analysis
6. Resources Estimation by JORC 2012



1 INTRODUCTION



Software used

MINESIGHT®



One of the most widely used mining software with Surpac, Vulcan
The software provide integrated solution including Exploration, Modeling, Design, Scheduling, and Production
Strong to scheduling program for mine operation (by LinkedIN Mining Engineer Society)

DIMINE®

Program developed by Chinese mining engineering faculties
The program is for domestic users



2 PROJECT SAMPLE DATABASE

Data Verification

프로젝트의 진행에 앞서 제공받은 자료들에 대한 오류검토 및 보정작업 실시

- ✓ Au 및 Cu의 품위 값 중 -99로 표기된 부분 다수 발견
 - ▶ Default 값으로 판단하여 평가에 반영하지 않았음 (Au, Cu 각 5,045개)
- ✓ Sample Length가 0으로 표기된 다수의 데이터 발견
 - ▶ 오류 값으로 판단하여 총 49개의 데이터 삭제
- ✓ 제공받은 Survey 데이터 중 시추공의 경사각에 대한 보정을 실시
 - ▶ 하향천공을 고려하여, 주어진 경사각을 음의 값으로 보정.

Exploration Results

- 20~40m 간격의 그리드를 따라 수직 및 경사시추가 실시되었음
- 암추 및 무암추 시추가 병행되었으며, 코어샘플분석 및 물리검층을 통한 Cu, Au, 암석비중에 대한 분석이 실시되었음.
 - ▶ 전체 353공의 시추공 중 DDH공 183공, RC공 58공, RC-DDH공 112공
 - ▶ 7개의 시추공에서는 목표광종이 검출되지 않음. (DDH-004~011)

시추공 길이 : 12~346m의 분포.

평균 길이 : 115m

총 연장 : 39,863m

평균 경사 : -60°

3 GEOLOGICAL INTERPRETATION

Topography

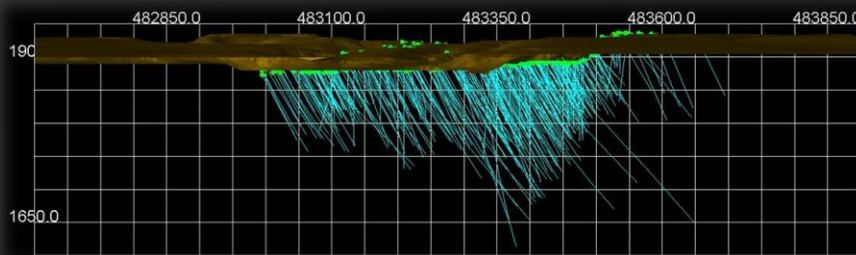
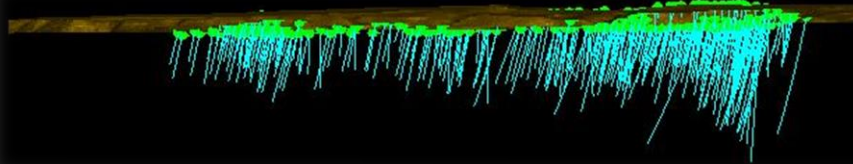
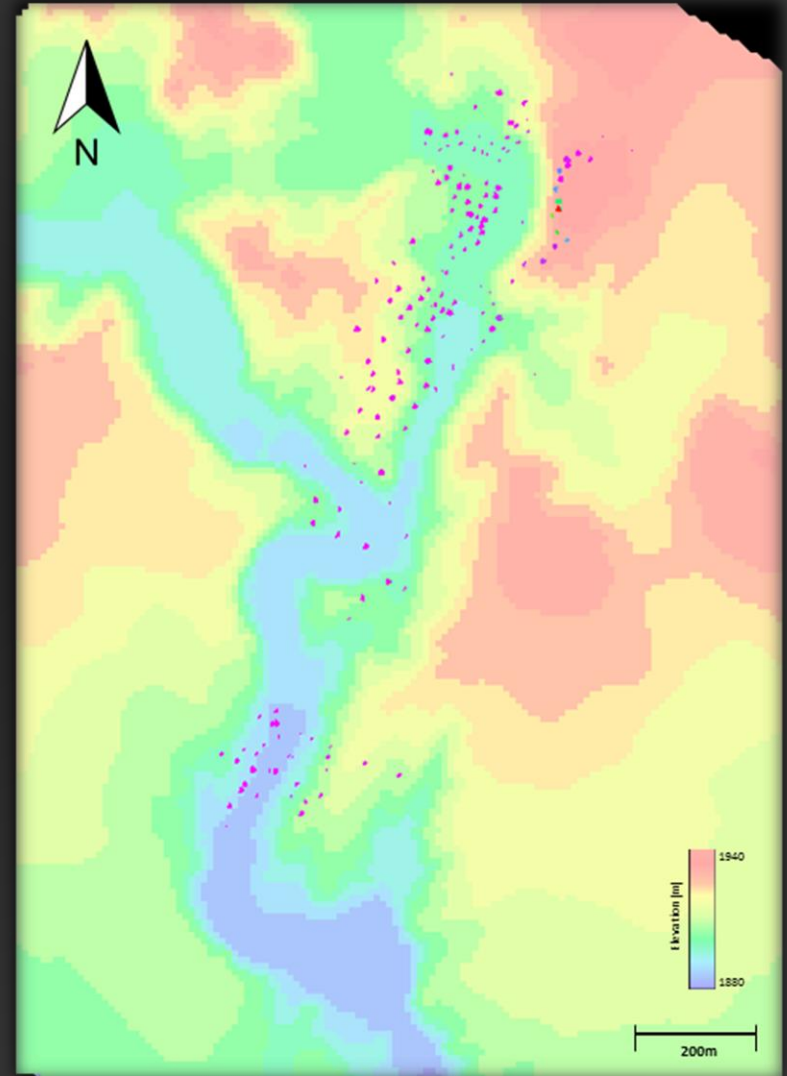
동서방향 연장 1,252m

남북방향 연장 1,731m

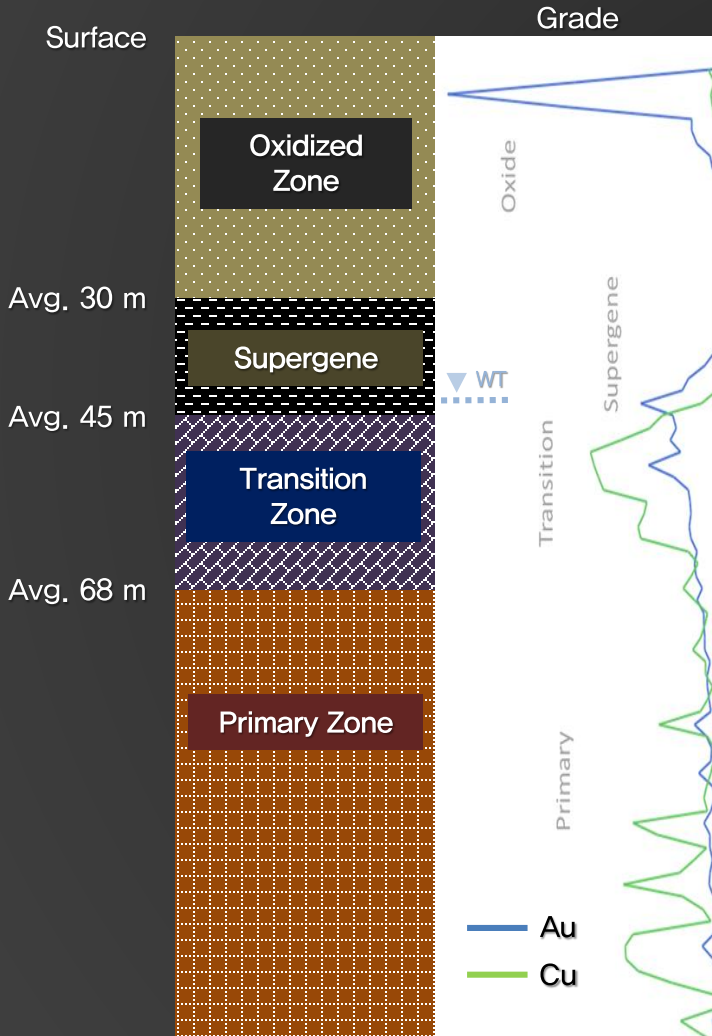
광구면적 : 약 220만 m²

고도분포 : 최대 60m 가량의 고도 분포차

- ✓ 중심부가 움푹 파인 협곡형태의 구조.
- ✓ 시추공 및 광화대는 협곡 지형을 따라서 발달해 있음.
- ✓ 협곡을 따라 shear zone이 분포하고 있을 것이라고 추정됨



Zonation & Weathering Boundaries



산출광물 및 특징

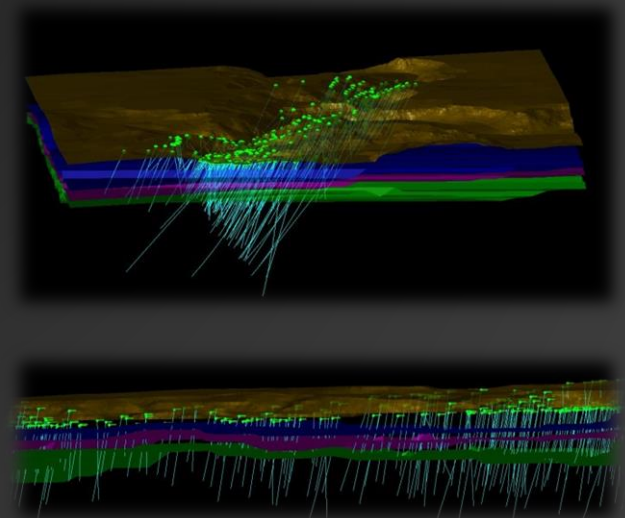
Gossan / leaching zone
 • Limonite, goethite
 High gold grade
 Low copper grade

Oxide & Sulphide ore
 • Cuprite, chrysocolla

Secondary sulphide ore
 • Covellite, Chalcocite
 Highest Cu Grade
 Below water table

Primary sulphide ore
 : Chalcopyrite

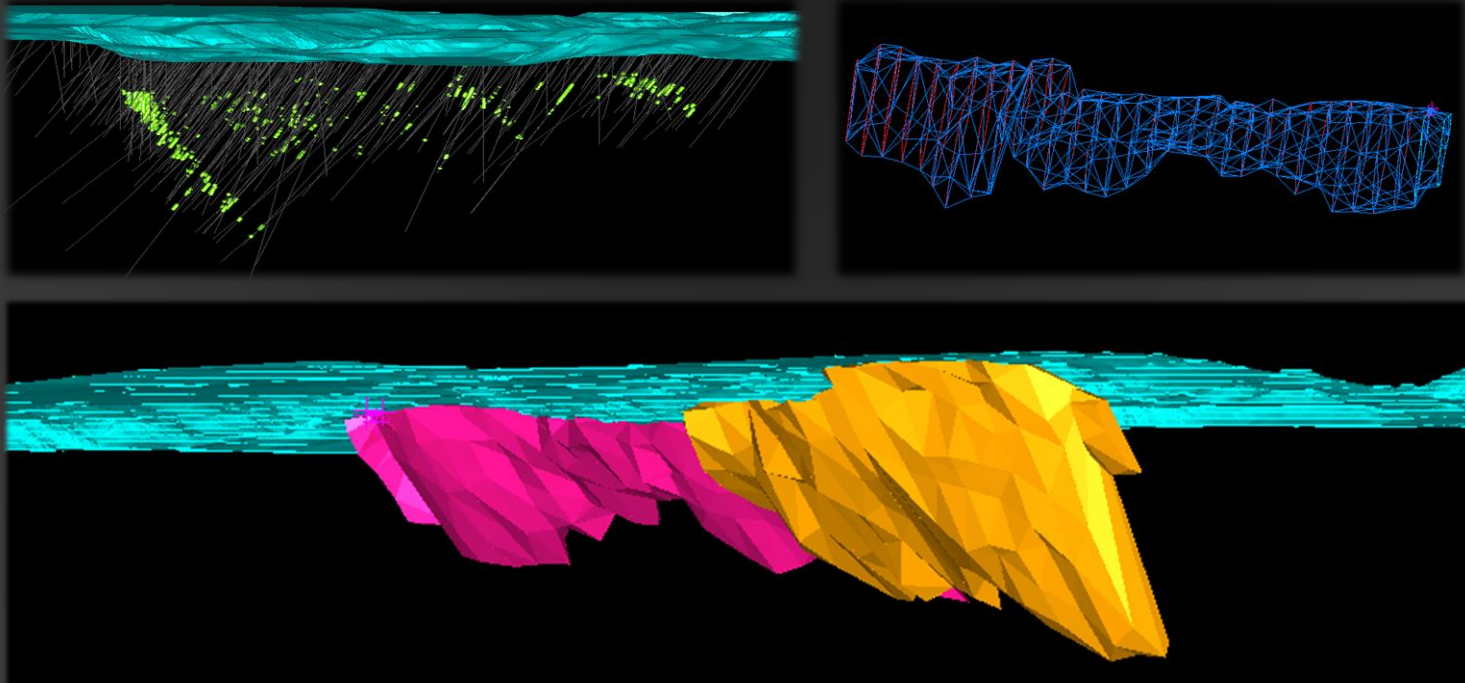
- ✓ VMS (Volcanic Massive Sulphide) 광상
- ✓ 단층대를 따라 관입된 광체가 지표와 접촉, 2차 부화대 (supergene enrichment) 형성
- ✓ Oxide, Supergene, Transition, Primary 네 개의 수직적 Zonation 분포
- ✓ 각 zone별 산출광물 및 특징이 상이하므로 도메인을 따로 나누어 분석해야 함



Geological 3D Modeling

주어진 조사자료를 토대로 3차원 광체 모델링을 실시 (단면도법 사용)
물리검층결과와 광체로 로깅된 부분에 대해 기초통계분석을 통한 검증 실시

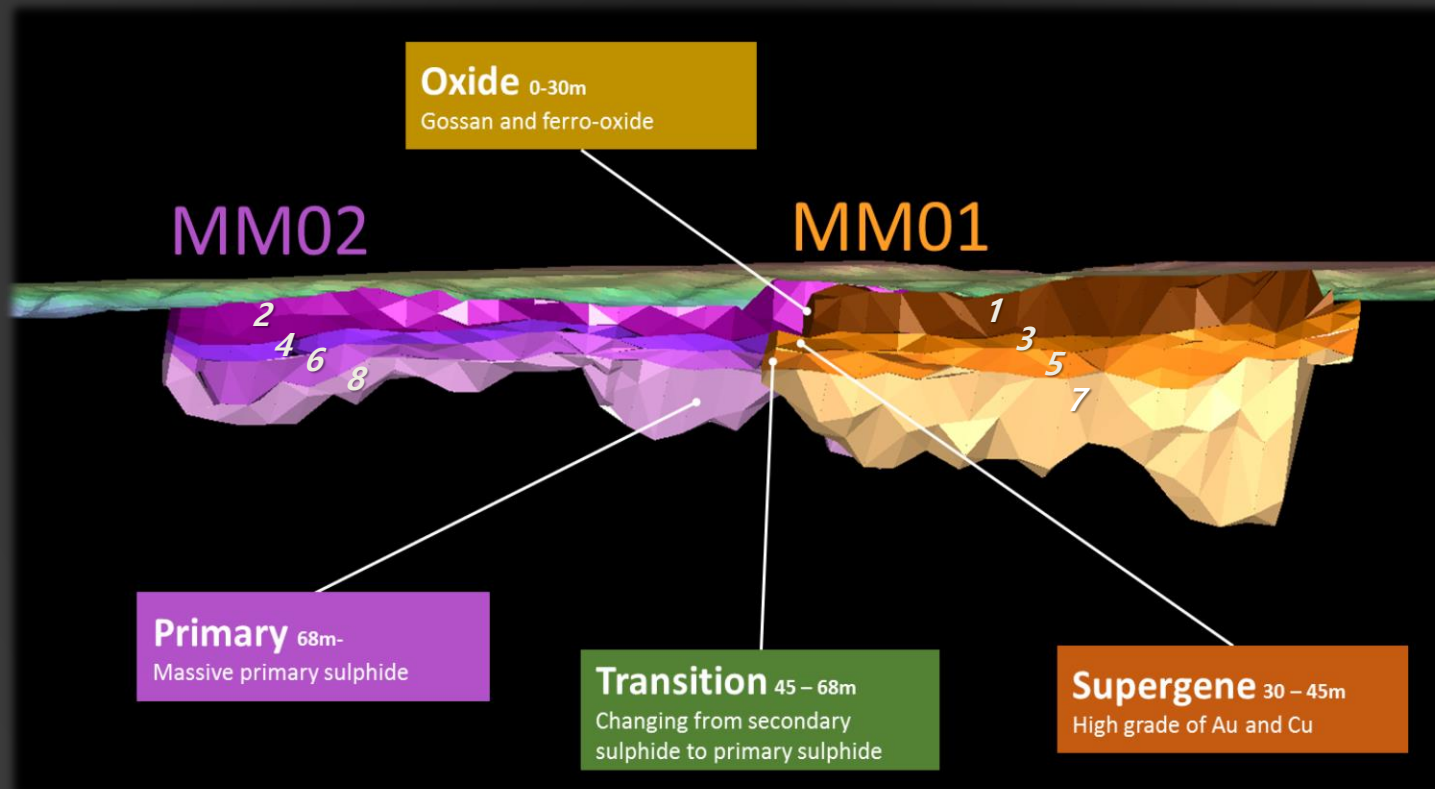
- ▶ 총 두 개의 Main Massive로 분류됨
- ▶ 30° 의 Azimuth와 -45° 의 Dip을 가지는 것으로 확인



Mineralization Domains

광화대 및 Weathering boundary를 기준으로 지질학적 Domain을 구분

- ▶ 총 8개의 지질학적 Domain을 분류
- ▶ 각 Domain에 대한 기초통계분석 및 지구통계분석 실시

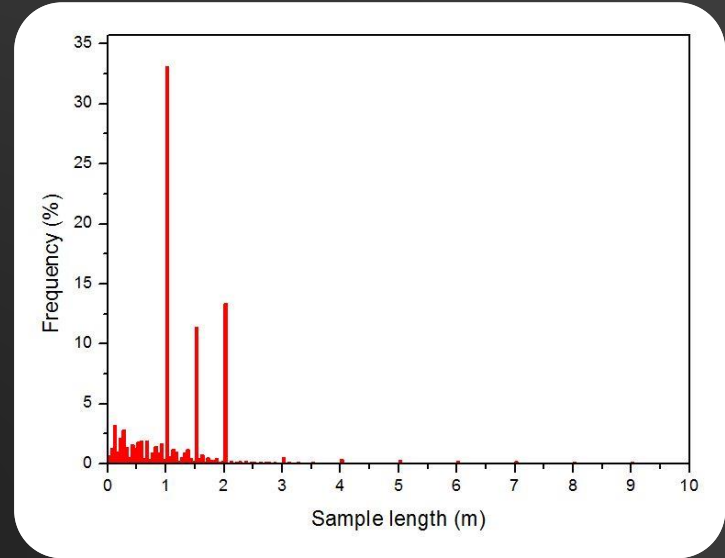


4 BASIC STATISTICS

Compositing

각기 다른 샘플 구간의 길이를 통일하고
품위를 환산하는 Compositing 실시

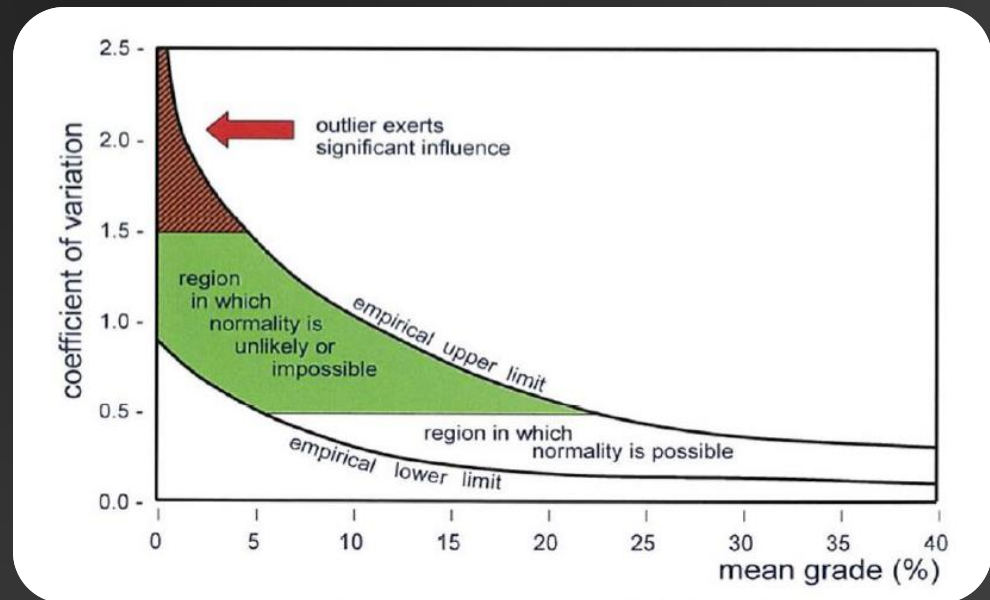
- ✓ Sample Length에 대한 통계분석을 실시하여 최빈도 값을 보이는 1m 길이의 값으로 Compositing 실시



Top-Cutting

Outlier의 제거를 위해 Top-Cut을 실시

- ✓ 1998년 Wellmar가 제안한 경험식을 사용하여 COV값에 따라 Top-cut의 유무를 결정하였음



Declustering

경사시추공의 경우 자료 값의 편향성을 보정하기 위해 Declustering 작업이 필요
 본 과제에서 주어진 시추공의 경우 평균경사가 -60° 의 분포를 보였고, Main Massive를 따라
 편중된 양상을 보였으므로 Declustering을 실시 하였음

✓ 최소의 Mean Value 값을 보이는 80x80x1 을 기준으로 Declustering 을 실시

	Cell Sizes	Mean value	Variance	Skewness	Cells	with 1 sample	with 2 samples	with 3 samples	with 4 samples	with 5 samples	with over 6 samples
MM01	10x10x1	3.35	39.50	2.89	1724	1435	249	28	6	6	0
	20x20x1	2.91	29.80	2.71	1514	1108	318	54	18	5	11
	25x25x1	2.81	26.81	2.62	1382	972	267	64	44	19	16
	30x30x1	2.95	30.32	2.73	1396	940	314	87	36	16	3
	50x50x1	2.43	21.44	2.99	1077	600	249	95	52	37	44
	80x80x1	2.50	21.02	3.03	872	405	196	109	59	31	72
MM02	10x10x1	1.16	5.62	7.96	1166	1004	157	5	0	00	0
	20x20x1	1.15	5.72	8.06	1113	910	188	13	2	0	0
	25x25x1	1.18	5.99	8.00	1039	794	206	27	10	0	0
	30x30x1	1.19	6.09	8.21	971	699	207	46	13	6	0
	50x50x1	1.17	4.04	4.34	818	480	209	88	35	5	1
	80x80x1	1.14	3.13	4.12	688	348	188	88	29	12	23

Statistical Analysis

Compositing 및 Top-cutting이 완료된 데이터를 대상으로 각 도메인에 따른 기초통계분석 실시

Au - Top cut							
Domain	Lithology	Zonation	Mean(ppm)	Min(ppm)	Max(ppm)	Standard Deviation	COV
1	MM01	Oxide	0.45	0.005	3.32	0.66	1.47
2	MM02	Oxide	0.26	0.005	1.6	0.38	1.46
3	MM01	Supergene	1.42	0.005	9.81	1.85	1.3
4	MM02	Supergene	0.81	0.005	6.57	1.18	1.46
5	MM01	Transition	2.23	0.005	25.68	2.93	1.31
6	MM02	Transition	1.31	0.005	11.62	1.82	1.39
7	MM01	Primary	1.26	0.005	18.31	1.79	1.42
8	MM02	Primary	1.59	0.005	16	2.20	1.38

Cu - Top cut							
Domain	Lithology	Zonation	Mean(%)	Min(%)	Max(%)	Standard Deviation	COV
1	MM01	Oxide	0.04	0.002	0.42	0.05	1.25
2	MM02	Oxide	0.03	0.001	0.26	0.04	1.33
3	MM01	Supergene	0.03	0.003	0.26	0.04	1.33
4	MM02	Supergene	0.03	0.001	0.17	0.04	1.33
5	MM01	Transition	7.37	0.003	49.41	9.36	1.27
6	MM02	Transition	1.13	0.004	7.69	1.64	1.45
7	MM01	Primary	3.65	0.002	45.56	4.99	1.37
8	MM02	Primary	0.82	0.003	9.90	1.22	1.49

5 GEOSTATISTICAL ANALYSIS

Variogram

Positive Skewness 데이터에 적합한 Pairwise-relative Variogram 적용 (Gringarten and Deutsch, 2001)

실험적 Variogram을 토대로 이론적 Variogram 모델 구축 (Spherical Model used)

- ✓ MM01, MM02 광화대별로 각각 Variogram 분석 수행
- ✓ Lag distance: Cu 10m, Au 5m
- ✓ GSLIB* 양식의 데이터 입력방식 사용
- ✓ Pairwise-relative Variogram 은 SRK, Chesser, South Hemisphere Mining, Edgewater 등 많은 컨설팅 회사들이 금 및 금/동 복합광체를 분석시 쓰이고 있는 방법 중 하나

Pairwise Variogram Equation

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} \left(\frac{2(Z(s_i) - Z(s_{i+h}))}{Z(s_i) + Z(s_{i+h}))} \right)^2$$

Where,

N(h)=분리거리상에서 짝지어진 샘플의 개수

Z_i = 점i에서 측정된 값

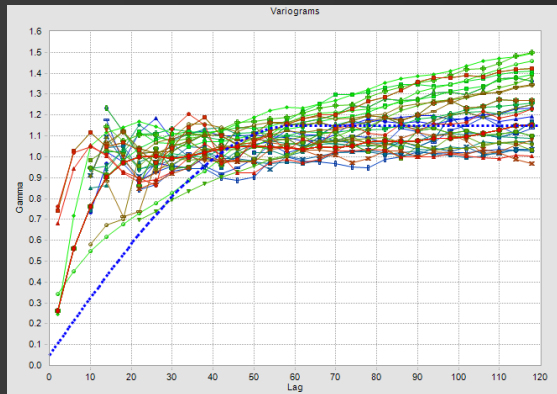
Z_{i+h}= 점 i+h에서 측정된 값

zone	element	lag (m)	nugget	sill	x-axis range (m)	y-axis range (m)	z-axis range (m)	x rot.angle (°)	y rot.angle (°)	z rot.angle (°)
MM01	Cu	10	0.4	1.36	205	22	205	256.8	65.3	78.8
	Au	5	0.4	0.94	35.2	71.5	102.5	101.3	62.4	-72.3
MM02	Cu	10	0.3	1.29	69	20.4	205	238.2	86.4	43.8
	Au	5	0.4	1.04	18.6	69.5	102.5	102.8	56.5	90

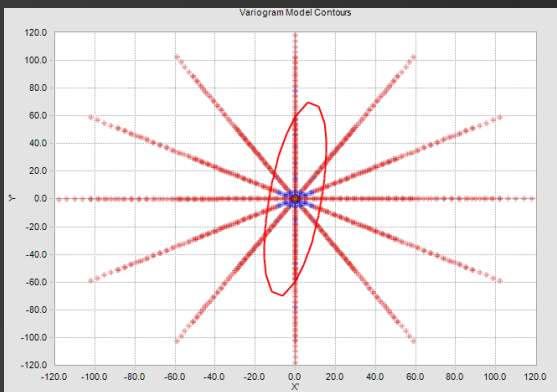
*GSLIB: Geostatistical Software LIBrary

Variogram

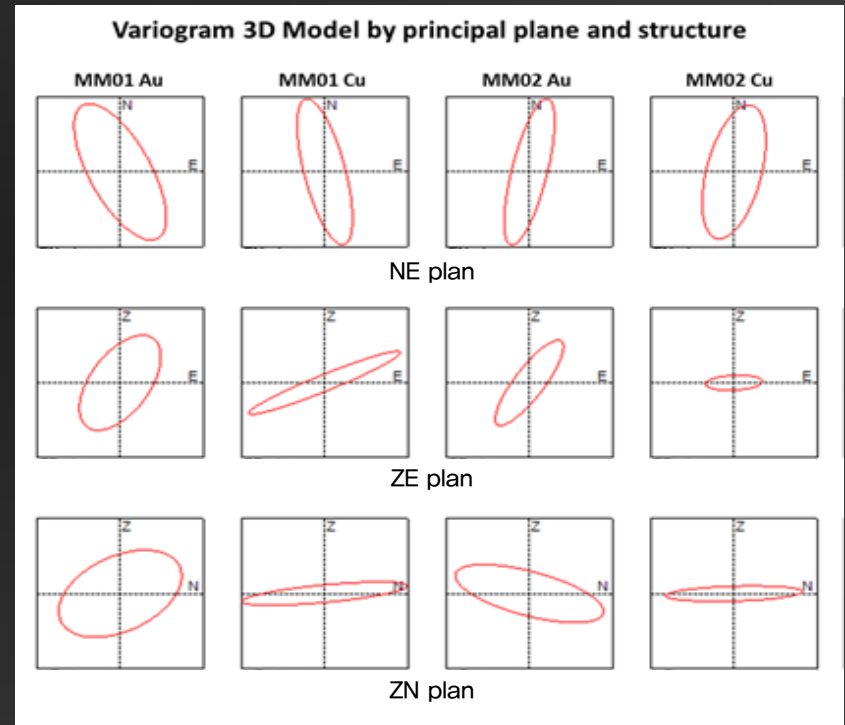
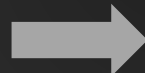
3D Auto Fit 기능을 이용하여 가장 적합한 Variogram 모델 도출



Find the 'Best-Fit' model



Rose Diagram



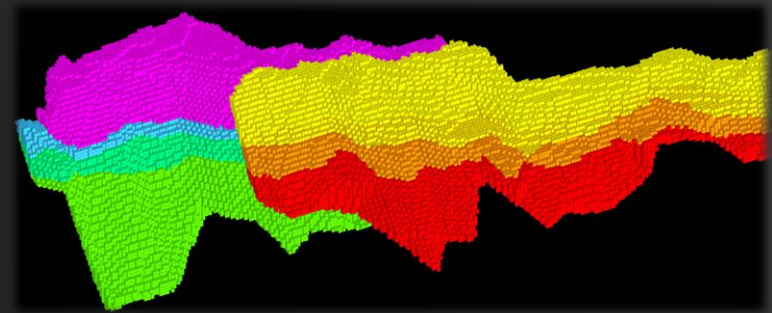
각 평면에 대한 Variogram 3D Model 도식

Ordinary Kriging

Block Model Creation

- ✓ Surface Mining 을 적용할 것이라고 가정하고 일반적인 벤치높이인 10m를 Parent Cell 크기로 지정
- ✓ 정확한 분석을 위해 Composite 길이인 1m를 Sub-Cell 크기로 지정

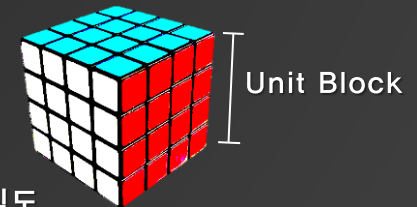
Blcok Model Dimension	Parent Cell Size (m)	Sub Cell Size (m)
X	10	1
Y	10	1
Z	10	1



QKNA & Discretization

- ✓ 값의 신뢰성과 지역적 편차를 줄이기 위해 interpolation시 참조하는 composite의 갯수 제한
- ✓ Quantitative Kriging Neighbor Analysis (QKNA)*에 근거하여 Min 3 Max 20으로 산정
- ✓ 편차를 줄이기 위해 4×4×4 discretization 실시

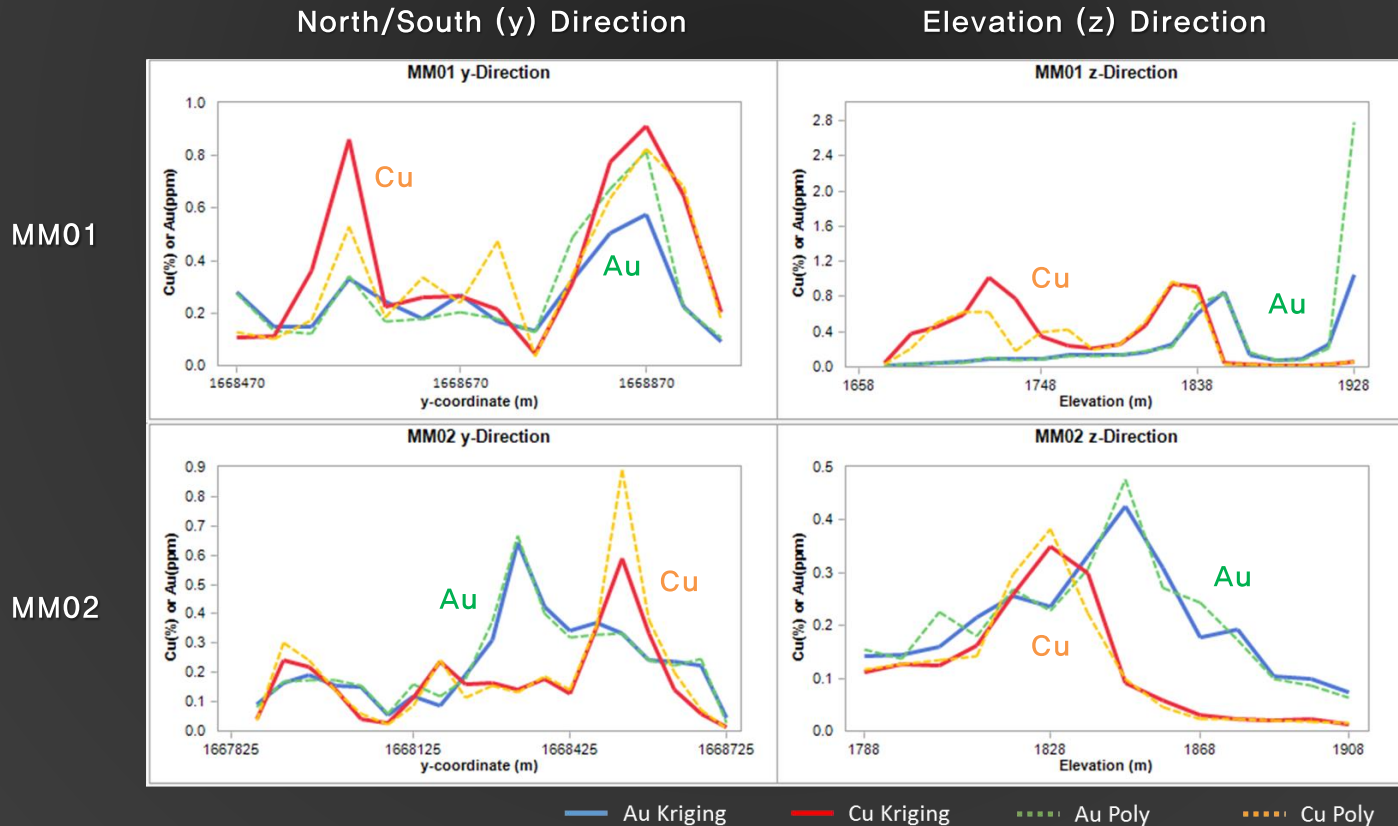
*QKNA: search distance, min. max. # of samples 등을 여러가지 시나리오를 두고 각 시나리오별 regression slope와 variance 등을 비교하여 최적의 값을 찾는 방법



4×4×4 discretization 모식도

Ordinary Kriging Model Validation

Cross Validation은 전반적인 경향성을 보기 힘들기 때문에 모델을 완전히 검증할 수 없음
 대안적으로, Swath plot 을 사용하여 모델 검증
 주변값을 이용한 polygonal grade assignment 값과 Ordinary Kriging값을 비교



6 RESOURCE ESTIMATION by JORC2012

Equivalent Copper Grade (EqCu%)

Cu, Au 복합 광체의 산물을 동시에 반영하는 지표로서 Equivalent Cu% 사용

$$Eqcu \% = Cu \% + 0.541 \times Au (g/t)$$

산출근거 (Appendix1 in detail)

	Reference	Price	Date
Cu	LME spot	2.60\$/lb	2015/3/9
Au	NYMEX spot	1160\$/troy oz	

Cutoff Grade

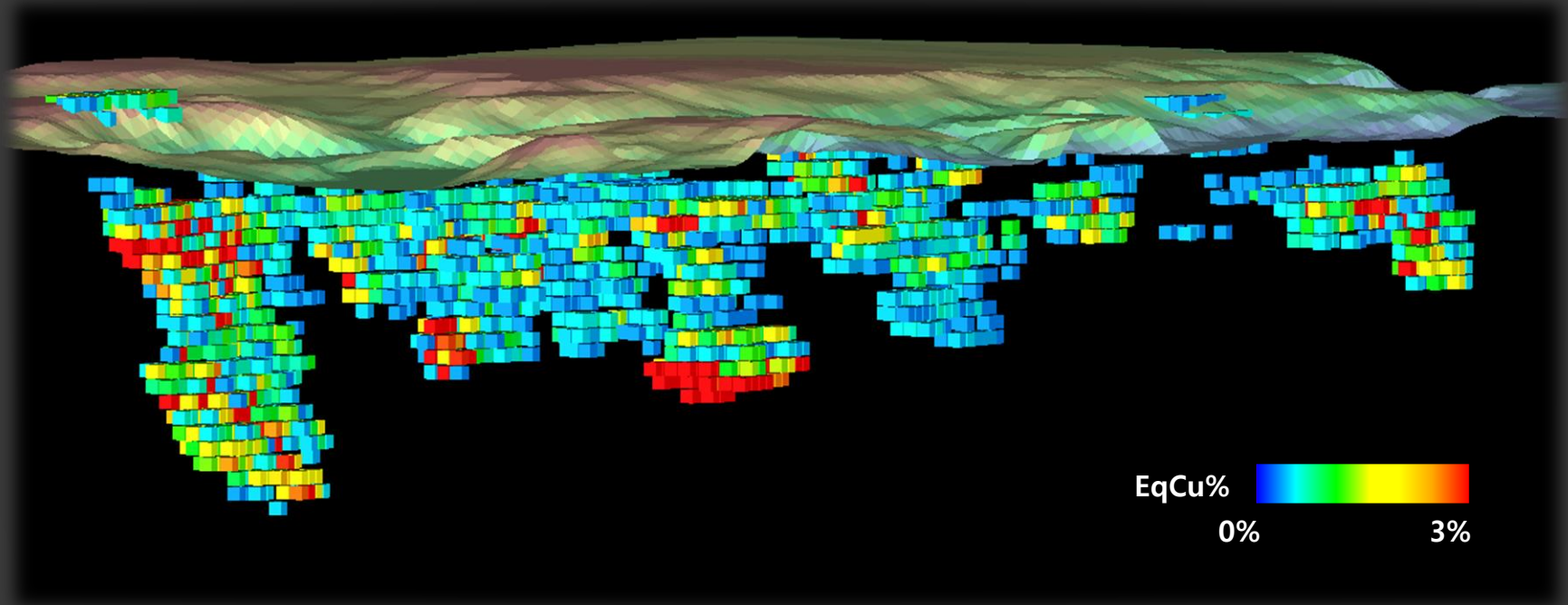
Kutchu, Surface Mine Design 3rd Edition (2011) 에 명시된 Break Even Cutoff grade methodology 이용

현재 Freeport McMoran社의 애리조나 open pit 광산에 사용되는 데이터 참조 (Appendix 2)

$$Cutoff Grade = Eqcu 0.3\%$$

Ordinary Kriging

Cutoff 0.3 Eqcu%



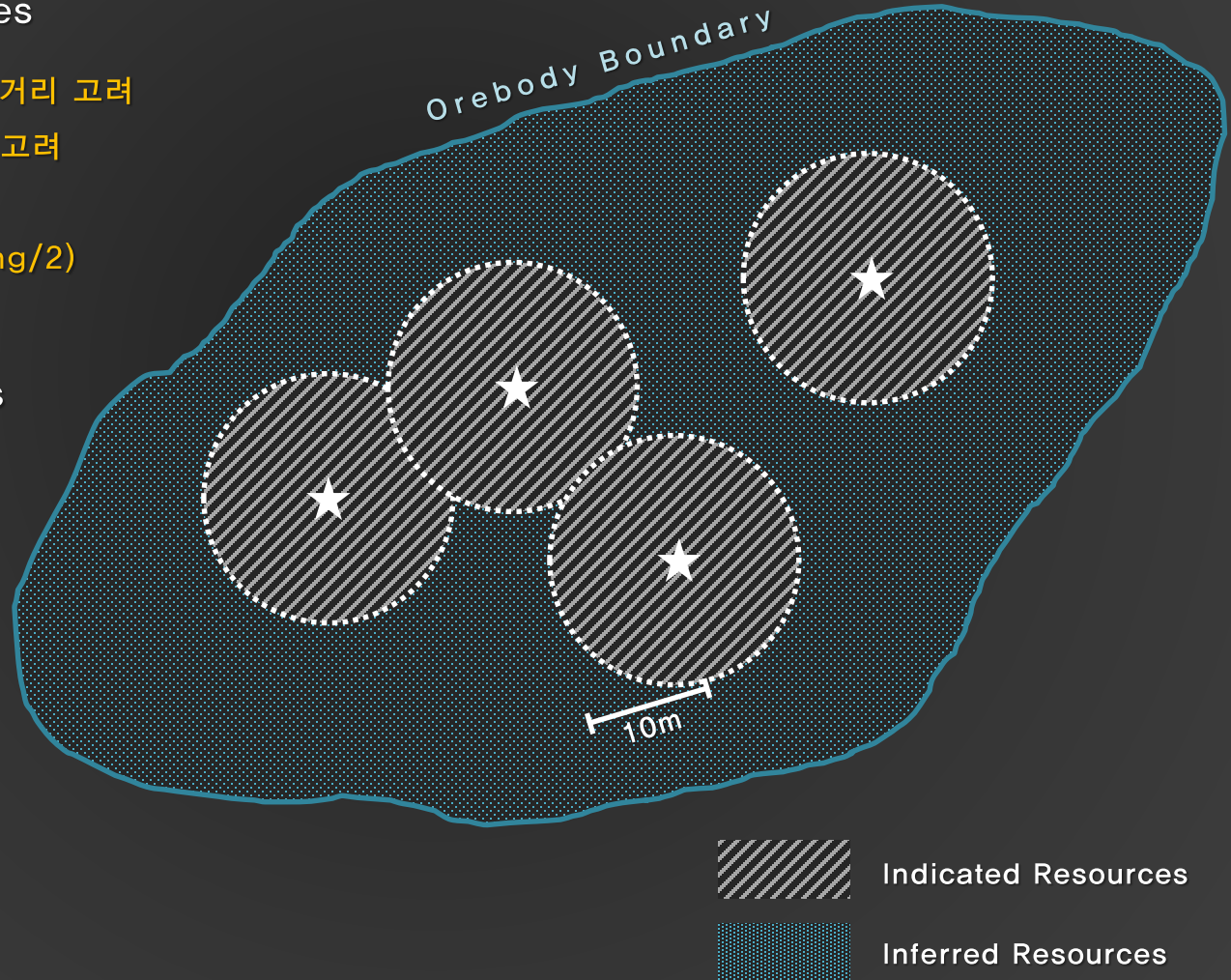
Resources Classification

Indicated Resources

- ✓ 참조 composite 거리 고려
- ✓ Orebody 연속성 고려
- ✓ 10m 기준
(drillhole spacing/2)

Inferred Resources

- ✓ 광체경계 고려
- ✓ 경계 내부

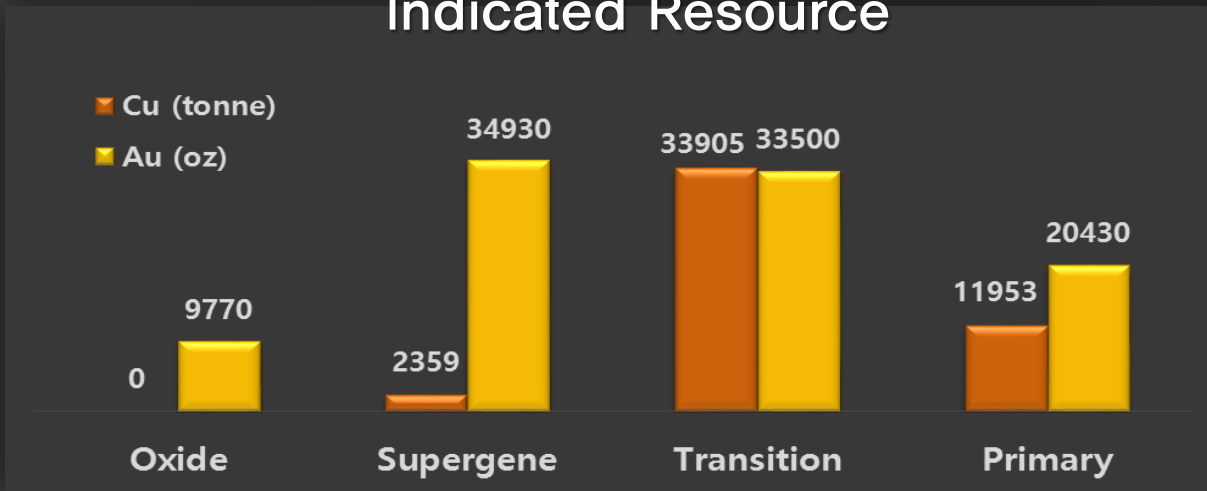


Resource Estimation and Grades

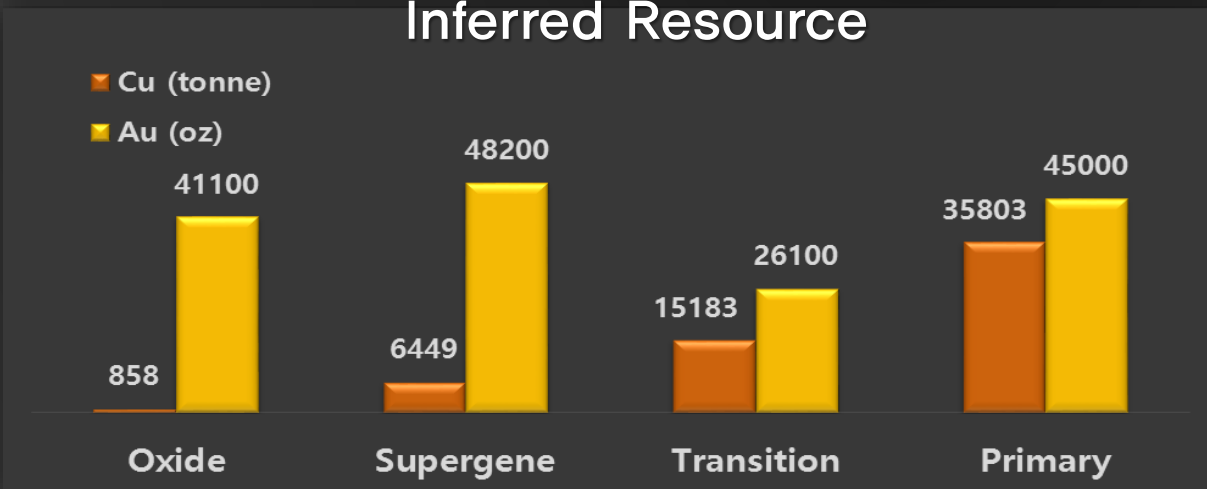
	Indicated						Inferred					
	Eqcu (%)	mass (kton)	Cu (%)	Cu (tonne)	Au (g/t)	Au (koz)	Eqcu (%)	mass (kton)	Cu (%)	Cu (tonne)	Au (g/t)	Au (koz)
Oxide												
MM01	0.87	141	-	-	1.53	6.93	0.9	472	0.1	377	1.5	22.0
MM02	0.79	64	-	-	1.37	2.84	0.7	490	0.1	392	1.2	19.1
Total	0.85	205			1.48	9.77	0.8	962	0.1	858	1.36	41.1
Supergene												
MM01	2.02	300	0.65	1937	2.53	24.39	1.7	527	0.8	4320	1.6	26.9
MM02	0.95	231	0.18	422	1.42	10.53	1.0	547	0.4	2134	1.2	21.3
Total	1.55	531	0.56	2359	2.20	34.93	1.3	1074	0.7	6449	1.4	48.2
Transition												
MM01	4.67	676	4.07	23592	1.09	23.70	2.0	536	1.6	8628	1.6	11.7
MM02	1.40	575	1.11	6380	0.53	9.80	1.2	771	0.9	6550	0.6	14.3
Total	3.17	1251	2.69	33906	1.03	33.50	1.5	1306	1.3	15183	1.1	26.1
Primary												
MM01	1.33	865	1.13	9779	0.38	10.58	1.6	1349	1.4	19293	0.3	11.7
MM02	0.99	388	0.56	2174	0.79	9.86	1.7	1321	1.3	16510	0.8	33.3
Total	1.22	1254	1.03	11953	0.58	20.43	1.6	2670	1.4	35803	0.7	45.0
Total	2.00	3241	1.74	48223	0.96	98.63	1.4	6013	1.0	58204	0.8	159.8

Distribution of Grade and Tonnage (Indicated Resources)

Indicated Resource



Inferred Resource



Total Resources

2.00 EqCu%

1.37 Cu%

Cu 106 ktonne

0.86 Au(g/t)

Au 258 koz

DIMINE 결과

1.76	1.32 Cu%	오차 13%
	Cu 122 ktonne	
EqCu%	0.80 Au(g/t)	오차 9%
	Au 238 koz	

Further Scenarios

	Indicated						Inferred					
	Eqcu (%)	Mass (kton)	Cu (%)	Cu (ktonne)	Au (g/t)	Au (koz)	Eqcu (%)	Mass (kton)	Cu (%)	Cu (tonne)	Au (g/t)	Au (koz)
EqCu 0.3%												
MM01	2.54	1982	1.98	39.24	1.03	65.64	1.55	2884	1.13	32.59	0.78	72.32
MM02	1.16	1258	0.72	9.06	0.82	33.17	1.28	3128	0.81	25.34	0.87	87.50
Total	2.00	3240	1.74	48.30	0.96	98.80	1.41	6012	0.99	57.93	0.83	159.82
EqCu 0.7%	Cu tonnage 6% ↓			Au koz 17% ↓								
MM01	3.5	1356	2.78	37.70	1.32	57.55	2.33	1685	1.77	29.82	1.03	55.80
MM02	1.72	689	1.13	7.79	1.09	24.15	2.07	1601	0.41	6.56	1.21	62.28
Total	2.90	2045	2.50	45.48	1.25	81.69	2.20	3286	1.52	36.39	1.12	118.08
EqCu 1.0%	Cu tonnage 13% ↓			Au koz 28% ↓								
MM01	4.09	1110	3.29	36.52	1.46	52.10	2.93	1201	2.32	27.86	1.12	43.25
MM02	2.06	496	1.14	5.65	1.19	18.98	2.62	1103	1.87	20.63	1.4	49.65
Total	3.46	1606	3.00	42.17	1.39	71.08	2.78	2304	2.13	48.49	1.27	92.90

Thanks, for your attention!

