

古代 中國 銅錢의 金屬 組織 研究

(新安 海底 引揚 銅錢을 중심으로)

姜大一 · 林善基

目 次

I. 序 論	2. 銅錢의 合金 狀態에 대한 考察
II. 試 料	가) Cu-Sn 系 合金
III. 實 驗 方 法	나) Cu-Pb 系 合金
IV. 實 驗 結 果 및 考 察	다) Cu-Pb-Sn 系 合金
1. 銅錢의 顯微鏡 組織 分析 結 果	V. 結 論
VI. 參 考 文 獻	

I. 序 論

古代 銅錢의 材質에 관한 研究는 최근의 分析 化學의 발달에 따라 상당히 進歩를 거듭하고 있다.⁽¹⁻⁹⁾ 그러나 이와 같은 銅錢의 分析은 非破壞 分析法 또는 귀중한 試料의 材質을 損傷치 않는 程度의 微量의 試料을 採取하여 分析이 이루어지기 때문에 分析 結果의 解釋에는 試料이 不均質하여 定量性의 問題가 있어 정밀한 議論은 本질적으로 곤란한 問題가 있다.

古代 中國의 鑄造 銅錢은 15-16世紀 以前까지 Cu-Pb-Sn 系의 靑銅貨가 주로 製作, 使用되어 合金 中 主成分의 元素比나 鑄造 技術에 對應하여 여러 形態의 微細적인 偏析이 觀察된다. 또한 Cu-Sn 系 合金에 Pb를 添加 混入하여 鑄造性이나 被削性을 向上시키지만 이 경우 Pb의 含量이 많아지면 Cu-Sn 系 合金과는 완전한 固容體를 만들지 못하기 때문에 靑銅中에서 Pb가 樹枝狀晶(dendrite)의 粒界에 熔融鉛의 狀態로 凝固되어 偏析 現象이 일어나게 되고 元素의 含有量 및 鑄造 技術에 對應하여 마크로 偏析으로 觀察된다.

本 研究에서는 金屬顯微鏡을 使用하여 銅錢의 內部 組織 狀態를 調査함으로써 合金의 分布 狀態, 非金屬 介在物 狀態, 鑄造 技術등 新案 海底 引揚 古代 中國 銅錢에 대한 金相學의 研究를 實施하여 이와 類似한 古代 靑銅 金屬에 대한 基礎적인 資料를 얻고자 한다.

II. 試 料

本 研究에 使用된 試料은 新案에서 引揚된 古代 中國 銅錢으로써 유도 결합형 플라즈마 發光 분광 분석 장치(I.C.P)에 의해 化學 分析된⁽¹⁰⁾ 54鐘 가운데 代表的인 特性을 가진 銅錢 12點을 選定하여 使用하였다. 試料에 대한 種類別, 時代別, 化學組成을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. 中國 銅錢의 化學 組成

Sample No.	Name	Dynasty	Age (A.D)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Fe (%)	As (%)	Sb (%)	Ag (μm)	Ni (μm)	Co (μm)	Zn (μm)	Mn (μm)	Total (%)
1	Huo Quan(貨泉)	Xin	14	76.5	16.8	3.8	0.47	0.45	0.50	1400	700	480	46	(10)	98.8
2	Wuzhu(五銖)	Estern Han	40~219	80.7	8.3	4.5	0.18	0.36	0.46	1500	730	250	21	(10)	94.7
3	Kai-tong Yuan-bao (開通元寶)	Tang	621	64.1	23.4	7.4	1.43	0.74	0.16	460	1100	920	(50)	(10)	97.5
4	Kai-tong Yuan-bao (開通元寶)	Tang	865	68.1	19.5	10.6	0.31	0.26	0.14	900	840	300	51	(10)	99.1
5	Zhou-yuan Tong-bao (周元通寶)	Hou Zhou	955	70.4	14.6	10.7	0.60	0.53	0.29	1000	1000	220	23	(10)	97.3
6	Zhi-dao Yuan-bao (至道元寶)	Bei Song	995~997	66.4	18.8	9.5	0.01	0.08	0.05	790	440	(20)	(30)	(3)	94.9
7	Ming-dao Yuan-bao (明道元寶)	Bei Song	1032~1033	69.1	16.0	10.0	0.11	(0.03)	(0.03)	1100	370	(30)	(30)	(5)	95.3
8	Yuan-feng Tong-bao(元豐通寶)	Bei Song	1078~1085	65.1	22.9	8.2	0.01	0.03	0.04	180	110	36	24	(3)	96.3
9	Zheng-lung Yuan-bao(正隆元寶)	Jin	1158	76.8	5.8	13.4	0.46	0.17	(0.1)	790	790	84	1100	(10)	96.9
10	Da-ding Tong-bao(大正通寶)	Jin	1178	75.4	9.7	12.6	0.62	0.09	(0.03)	120	800	160	(30)	(10)	98.5
11	Shao-xi Yuan-bao (紹熙元寶)	Nan Song	1190~1194	53.2	42.5	2.20	1.13	0.06	(0.03)	290	290	340	100	(10)	99.2
12	Zhi-da Tong-bao (至大通寶)	Yuan	1310	70.1	18.9	7.7	0.09	0.24	0.15	310	60	60	430	(5)	97.0

III. 實驗 方法

新案海底에서 引揚된 古代 中國 銅錢(A.D. 14~1310)에 대한 内部의 金屬組織을 觀察하기 위하여 金屬顯微鏡(Metallurgical Microscope)을 使用하였다.

試料는 金屬顯微鏡 試驗工程에 의해서 그라인딩(grinding)試驗, Resin-mounting, Mechanical polishing을 하여 Ethyl Alcohol(純度 99.9%)에 洗滌하고, 乾燥시킨 後 Ferric chloride법⁽¹¹⁾(FeCl₃ 5g, HCl 2ml, Ethyl Alcohol 96ml)에 의해 腐蝕液을 製造하여 etching시켜 銅錢의 内部 組織을 觀察하였다.

IV. 實驗 結果 및 考察

1. 銅錢의 顯微鏡 組織 分析 結果

Table 1에 나타낸 試料 12點에 대한 化學 組成 中 金相學的 측면에서 微量成分은 제외하고 主成分인 Cu-Pb-Sn系 成分 만을 normalization하여 金屬顯微鏡에 의한 銅錢의 内部 組織을 分析한 結果 다음과 같이 判讀하였다.

Fig. 1은 비교적 急速 凝固 時에 생기는 樹枝狀(dendrite) 組織이 잘 발달되어 靑銅 合金의 전형적인 組織을 나타내고 있으며, 金屬 基地는 α 組織으로 되어 있고 鉛(Pb)은 球形으로 되어 전체적으로 微細하고 고루게 分布되었다. 또한 氣泡의 크기가 작고 均一하게 分布되어

있어 當時의 銅錢을 만들기 위한 精鍊 技術과 鑄造 技術이 相當히 우수하였음을 알 수 있다.(78.8Cu-17.3Pb-3.9Sn)

Fig. 2는 急速 凝固 時에 생기는 樹枝狀(dendrite) 組織이 일정한 방향으로 발달되어 있으며 樹枝狀 사이로 Pb-Sn 系 合金相이 形成되어 있다. Fig. 1과 같이 靑銅 合金의 전형적인 組織을 나타내고 있다. 金屬 基地는 α 組織으로 되어있으며, 鉛(Pb)은 球形으로 되어 전체적으로 微細하고 고르게 分布되어있다. 急冷 凝固로 인하여 外部와 內部는 組織이 다소 차이를 보이고 있으나 다른 元素量이 적고 相對的으로 Cu量이 많은 것으로 나타내고 있다.(86.3Cu-8.9Pb-4.8Sn)

Fig. 3은 전체적인 化學 組成 中 23.4%의 높은 鉛(Pb)量과 7.4%의 朱錫(Sn)量으로 인하여 거대한 鉛(Pb)의 塊狀인 相과 Pb-Sn의 熔融相 그리고 일부 Sn을 固溶한 基地로 구성되어 있다. 冷却 速度도 다소 느린 組織으로 凝固의 차이에 의한 收縮에 起因한 氣孔들이 널리 分布되어 鑄造 技術이 脆弱함을 推定할 수 있다.(67.5Cu-24.7Pb-7.8Sn).

Fig. 4는 전체의 化學 組成 中 Cu-Pb-Sn 系의 合金 組成 比率이 7 : 2 : 1인 銅錢 合金의 전형적인 形態로써 樹枝狀 組織이 나타나 있으며, Pb-Sn 系의 熔融相이 고르게 잘 分布되어 있으며, 일부 鉛(Pb)이 塊狀되어 있으나 비교적 微細한 것으로 觀察된다.(69.3Cu-19.9Pb-10.8Sn)

Fig. 5는 전체적인 基地 組織은 微細하나 氣孔이 크고 不純物 및 比金屬 介在物등이 크기가 큰 組織을 이루고 있다. Pb-Sn 系의 熔融相과 鉛(Pb)가 불규칙한 形狀으로 널리 混在되어 있다.(73.6Cu-15.3Pb-11.2Sn)

Fig. 6은 Fig. 4와 같이 전체의 化學 組成 中 Cu-Pb-Sn 系의 合金 組成 比率이 7 : 2 : 1이며, 銅錢의 組織도 비교적 고르게 分布되어 있으나 Pb-Sn 系 熔融相과 鉛(Pb)이 같이 존재하고 內部的 氣胞가 많이 分布되어 있는 것으로 보아 鑄造 熔融時 氣相 介在物이 다량 포함되어 있는 것으로 판단된다. 또한 基地 組織은 전체가 均一한 冷却으로 인하여 α 相으로 되어있다.(70.1Cu-19.9Pb-10.0Sn)

Fig. 7은 冷却 速度가 빠른 組織으로 樹枝狀이 잘 발달되어 있으며 氣孔은 中央部를 중심으로 모여있으며 外部는 粒子의 크기가 작고 微細한 組織으로 이루어져있다. Pb-Sn系 熔融相도 입자가 작고 고르게 分布되어 있으며, 鉛(Pb)은 獨立相을 이루고 있지 않으나 Pb-Sn系 熔融相에서 Pb함량이 많이 添加된 것으로 나타난 組織이다. 또한 成分 組成이 유사한 Fig. 5에 비하면 不純物 및 氣孔등이 작아 안정된 組織으로 나타나고 있으며, 鑄造 熔融 時 精鍊 技術 및 Cu-Pb系 熔融 時 鉛-(Pb)의 混合 技術이 우수한 것으로 관찰된다.(72.7Cu-16.8Pb-10.5Sn)

Fig. 8은 높은 鉛 (Pb)量과 늦은 冷法 速度로 인하여 內部에 鉛(Pb)이 많이 모여 있으며 氣孔도 많이 존재한다. Pb-Sn系 熔融相機도 발달되어 있지 않고 中心部에는 偏析 現象이 觀察되어 機械的 性質에서는 매우 脆弱한 組織을 나타내고 있다.(67.7Cu-23.8Pb-8.5Sn)

Fig. 9는 鉛(Pb)이 적고 朱錫(Sn)이 많아 主成分인 Cu-Pb-Sn이 8 : 0.5 : 1.5의 比率을 이루는 形態의 組織이다. 樹枝狀 組織이 고르게 나타나고 있고 基地는 α 組織으로써 樹枝狀 사이에 있는 Pb-Sn系 熔融相도 均一하고 微細한 組織이며, 收縮 現象이 약간 일어났을 뿐 鑄造 技術이 우수함을 알 수 있다.(80.0Cu-6.0Pb-14.0Sn)

Fig. 10은 전체의 化學組成 中 Pb量이 적고 Sn量이 많은 Fig. 9와 類似한 化學組成으로 잘 발달된 內部 組織을 나타내며 거의 같은 時期의 銅錢으로 同一한 鑄造方法에 의해 銅錢을 만든 것으로 판단되었다. 또한 冷却 速度가 빨라서 樹枝狀 組織은 여러 방향으로 核 成長을

이루고, 組織은 緻密하나 内部에 收縮孔이 形成된 것이 觀察된다.(77.2Cu-9.9Pb-12.9Sn)

Fig. 11은 觀察된 銅錢 試料 中 전체의 化學 組成으로 볼 때 鉛(Pb)의 量이 가장많은 42.5%와 朱錫(Sn)의 量이 가장적은 2.20%로 된 形態의 組織이다. 基地는 α 組織의 純銅이나 鑄造 技術 및 精鍊 技術이 微弱하고 鉛(Pb)가 크게 묻쳐있어 Cu-Pb系 合金에 따른 鉛(Pb)의 混合 技術이 부족하며 收縮孔과 氣孔이 크게 分布되어 있다. Fig. 11은 分析 對象 銅錢 試料 中에서 가장 뒤떨어진 鑄造 技術 및 精鍊 技術을 나타내고 있다.(54.3Cu-43.4Pb-2.2Sn)

Fig. 12는 觀察된 銅錢 試料 中 가장 後代(Yuan, A.D.1310)의 것으로 銅錢의 化學 組成은 Cu-Pb-Sn이 7 : 2 : 1로 전형적인 合金 組成을 이루고 있으며, 内部 組織도 비교적 微細하고 均一하다. 收縮孔이 있으나 微細하고 고르게 分布되어 있다. 類似 組成의 Fig. 6과 同一한 組織이다.(72.5Cu-19.5Pb-8.0Sn)

2. 銅錢의 合金 狀態에 대한 考察

가) Cu-Sn 系 合金⁽¹²⁻¹⁵⁾

Fig. 13의 Cu-Sn의 2元系 平衡 狀態圖에서 實用 青銅의 組成 範圍는 Cu側에 α , β , γ 의 固溶體와 δ (Cu₃₁Sn₈), ϵ (Cu₃Sn)의 金屬間化合物이 있음을 알 수 있다.

α 固溶體는 面心立方格子의 結晶으로서 Sn의 固溶度는 520~586℃에서 15.8%, 200℃에서 1.3%이다. Sn의 含量이 많아지면 798℃ 包晶 反應에서 β 相이 나타난다.

β 相은 體心立方格子로 586℃에서 $\beta \leftrightarrow \alpha + \gamma$ 의 共析 變態가 일어나며 體心立方形의 γ 相도 生成되게 된다. $\beta \leftrightarrow \alpha + \gamma$ 의 共析 變態가 나타나지만, ϵ 相의 變態는 대단히 느리고 强加工한 後 長時間의 燒入에 따라 처음으로 얻어지기 때문에 實際 鑄物에는 ϵ 相을 觀察할 수 없다. 따라서 實用 合金의 組織은 520℃ 이하에서는 溶解度의 變化가 없는 것으로 說明 되어진다.

青銅 鑄物의 成分 範圍 內에서는 凝固溫度 範圍가 대단히 넓기 때문에 Sn은 凝固 過程에서 晶出한 α 固相보다도 殘留 液相 中에 Sn이 상당량 批出되어 固液 界面에서 殘留 液相 側의 Sn濃度는 특히 높게 된다. 그러므로 鑄型 內에서의 冷却 速度에서는 α 固相 內에서 Sn의 擴散이 늦어져서 濃度는 初晶 α dendrite의 核 發生에 이어 成長의 初期보다도 終了에 가깝게 晶出한 α 相의 Sn이 높게 되어 明瞭한 dendrite 組織이 보이게 된다. 이러한 α dendrite 間隙에 Sn의 濃縮이 이루어짐에 따라 砂型 鑄物에서는 7%, 冷却 速度가 빠른 金型 鑄物에서는 5% 정도에서도 β 相이 晶出된다.

나) Cu-Pb 系 合金⁽¹²⁻¹⁵⁾

Fig. 14의 Cu-Pb合金의 2元系 平衡 狀態圖는 偏晶點 2液相 分離 範圍, 즉 液相에 있어서의 溶解度 限界가 있어 化合物은 存在하지 않는다. 따라서 Cu, Pb는 서로 전혀 固溶도가 없다. 常溫에서의 固溶 限界는 Cu에 Pb가 0.002-0.005%, Pb에는 Cu가 0.07% 以下이다. 亞 偏晶 組成(36% Pb以下)의 合金은 液相線 이상에서는 均質한 單一 液相으로 되어 이 均質 液相이 液相線 溫度로 純 Cu에 가까운 α 相을 dendrite狀으로 晶出한다. α dendrite의 核 發生 및 골격의 生成은 凝固의 初期에 終了하여 以後는 成長의 段階가 된다. 955℃의 偏晶 反應에서 36%의 殘留 液相이 α 固相과 87% Pb L₂ 液相을 生成하여 分離한다. 이 反應으로 거의 α 固相이 晶出한다. 여기서 生成한 α 成分은 獨자의 形상을 취하지 않고 既存의 α dendrite의 주위에 晶出하며, 分離된 Pb가 풍부한 L₂ 液相은 dendrite 間隙이나 각각의

dendrite의 가지사이에 갇히게 된다. 偏晶 反應이 終了하여 온도가 내려가면 L_2 液相은 溶解度 曲線에 의해 少量의 α 相을 晶出하여 326°C 에서 0.06% Cu의 共晶 組成이 되어 凝固는 終了하게 된다.

過偏晶 組成의 合金에서는 均質 液相이 冷却되면 그 液相 混合域 內에서 Cu가 풍부한 液相 L_1 과 Pb가 풍부한 液相 L_2 에 分離하여 그 液相이 共存하며 954°C 에서 L_1 液相만이 $L_1 \Leftrightarrow \alpha + L_2$ 로 분리하여 凝固가 開始된다. 이 α 固相은 亞偏晶 組成의 α 固相과 달라서 球形에 가까운 粒狀을 띤다. 분리된 Pb가 풍부한 液相은 α 粒子內에 아주 작게 갇히지거나 혹은 기존의 L_2 液相과 합쳐져 큰 凝集相으로서 α 粒界에 위치하게 된다. L_1 液相이 소실하여 偏晶 反應이 終了하면 殘留 L_2 液相은 溫度 降下와 함께 α 相을 晶出한다. 이 合金의 組織을 일정 상태로 관리하는 것이 어려운 것은 Cu 혹은 Cu基 固溶體와 Pb가 서로 固溶도가 0에 가깝고, 偏晶 反應과 그 液相 分離域이 있어 Pb가 풍부한 液相이 分離하는 것으로 이것을 조장하는 것은 긴 凝固 範圍 및 Cu와 Pb의 큰 比重差이다. 또한 이 合金系는 Pb의 逆 偏析 및 重力 偏析이 심하다. 이러한 偏析을 防止하기 위해 凝固 時에 冷却 速度를 빨리 하는 것과 혹은 他元素를 첨가한다.

다) Cu-Pb-Sn 系 合金⁽¹²⁻¹⁴⁾

Cu-Pb系 合金에 Sn을 첨가한 3元系 合金의 2液相 共存領域 組成의 變化를 Fig. 15에 나타내었다. Sn이 첨가되면 2液相 共存域을 넓힌다. Fig. 16은 Cu-Pb-Sn 3元系의 詳細로서 Sn 量의 增加에 따라 그 液相 分離 範圍(Cu側은 A B線으로 나타냄)은 液相에 있어 Pb의 均質 領域 範圍(線 A B의 左側)는 B(36% Pb)에서 減少의 傾向으로 나타난다. 2液相 分離 組成에서 완전하고 均質로 溶解하는 溫度를 線 A B의 右側의 等溫線으로 나타내었고, 또한 亞偏晶 組成의 液相面 溫度를 左側에 나타내었다.

Cu-Pb-Sn 系의 凝固 組織을 구성하는 α 相 및 Pb相의 形狀과 分布는 亞偏晶 組成의 Cu-Pb 2元系 合金에서는 α dendrite와 間隙에 半 連續적으로 分布되어 있는 Pb로 되지만 Sn의 存在에 따라 Pb는 不連續으로 되어 Sn 量의 증가와 함께 Pb는 球形으로 된다. 이것은 Sn의 첨가에 따라 Sn을 固溶한 α 相과 Pb와의 界面 狀態에 어떠한 影響을 주었다고 생각된다. 이렇게 形成된 合金의 Pb 分布는 두가지의 形式으로 分類되는데 하나는 不連續한 Pb를 가진 連續한 Cu基 相과 또 하나는 dendrite 間隙에 가늘고 길게 Pb를 분포하는 dendrite 狀 Cu基 相이다. 前者는 연속한 Cu基 相에 의한 強度를 가지지만 後者는 dendrite 間의 가늘고 긴 連續한 Pb 相이기 때문에 機械的 性質, 특히 疲勞 強度, 衝擊에 弱하다.

V. 結 論

新案에서 引揚된 古代 中國 銅錢(A.D. 14~A.D. 1310)의 金屬顯微鏡 觀察을 통한 金相學的 研究에서 얻은 結果는 다음과 같다.

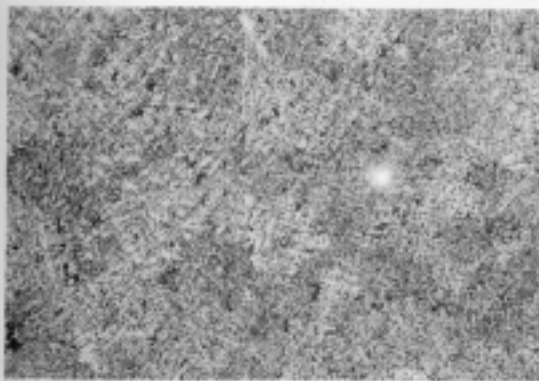
1. 古代 中國 銅錢의 化學成分은 전체 組成 中 Cu-Pb-Sn系 合金이 7 : 2 : 1로 含有되어 있으며 鉛(Pb)의 含量을 時代적으로 分類하면 初期에는 平均 水準을 이루다 後期(南宋, A.D. 1190~A.D. 1264)에는 5 : 4 : 1로 多量 含有 된 것으로 나타났다.

2. 顯微鏡 觀察에 따른 金相學的 측면에서 組織을 分類하면 위의 化學 組成에서 分類된 것과 같이 鉛(Pb)의 含量에 따라 組織도 變化되어 나타났으며, 鑄造 時 Cu-Pb의 현저한 比重 差로 두 液相으로 分離되어 Pb는 獨立相으로 뭉쳐져 球形의 組織 形態를 나타내고 있다.

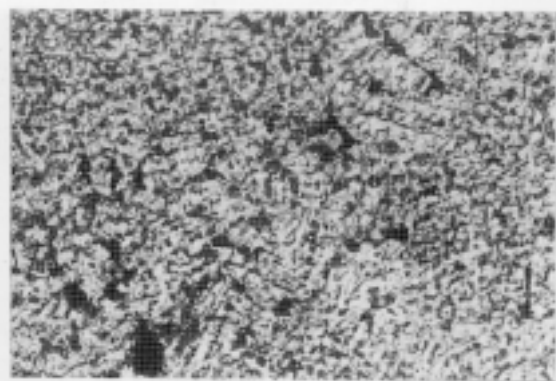
3. 銅錢의 鑄造 技術 및 精鍊技術은 初期에는 Cu-Pb-Sn이 7 : 2 : 1로 合金되어 잘 발달된 樹枝狀(dendrite) 組織이 形成되어 있으며, 氣孔이나 不純物등이 存在하지 않고 鑄物의 冷却 速度도 잘 이루어져 組織이 均一하고 微細하며 收縮 現狀도 나타나있지 않으므로써 優秀한 鑄造 技術 및 精鍊 技術을 나타내었다. 그러나 後代(南宋)에서는 Pb의 含有量이 많아 材質이 脆弱하고 氣孔, 不純物 및 非金屬 介在物등이 内部 組織에 나타나 當時 鑄造 技術, 精鍊 技術등이 微弱함을 알 수 있었다.

VI. 參考文獻

- (1) 水上正勝 : 志海若古錢の金屬組織, 「函館志海若古錢-北海道中世備若古錢の報告書一」, 市立函館博物館, p.20~32(1973).
- (2) 馬淵久夫, 山口誠治, 菅野 等, 中井敏夫 : 原子吸光法による東洋の古錢の化學分析, 古文化財の科學, 22, 20~23 (1978).
- (3) 馬淵久夫, 野津憲治, 西宋重義, 不破敬一郎, 井山弘幸, 富永 健 : 古代貨幣の化學組成, 日本化學會誌 5, 586~590(1979).
- (4) Kenji Notsu and Hisao Mabuchi : Simultaneous Multielement Analysis of Coins by International Symposium on the Conservation and Restoration of Cultural Property, p.111~124(1980).
- (5) 左野有司, 富永 健 : 中國古錢中の元素の偏析する研究, 古文化財の科學, 27, 12~17 (1982).
- (6) 佑野有司, 野津憲治, 富永 健 : 多變量解析法を用いる古錢の化學組成の研究, 古文化財の科學, 28, 44~58(1983).
- (7) 平尾良光, 泉谷明人, 入木謙二, 木村 幹, 馬淵久夫, : 前漢錢および模鑄錢の化學組成, 古文化財の科學, 29, 27~34(1984).
- (8) 腹部哲則 : 中國製古錢の分析研究, 千葉縣文化財センター研究紀要 10, p.407~428(1986).
- (9) Yu Dwun-Ping : Atomic absorption spectrophotometric Analysis of Ch'ing dynasty coins, Recent Advances in the Conservation and Analysis of Artifacts, James Black, Summer Schools press, p.119~124(1987).
- (10) 李昶根, 姜大一 : 新案沈沒船 引揚 中國 銅錢의 化學組成, 保存科學研究, 10, 1~44(1989).
- (11) George L, KEHC : The Principles of Metallographic Laboratory Practice, McGraw-Hill book(1949).
- (12) 鹿取一男 : 金屬と 合金, 工藝家のための 金屬ノート, p.44~50, アグネ (1985).
- (13) 日本鑄物協會編 : 青銅鑄物, 鑄物便賢, p.1296~1298, 丸善(1973).
- (14) 日本鑄物協會編 : 特殊合金鑄物, 鑄物便賢, p.1443~1445, 丸善(1973).
- (15) 和泉 修, 諸住正太郎, 寺澤正式 : 合金の狀態と組織變化, 金屬組織寫眞集 非鐵材料編, p.48~53, 丸善(1972).

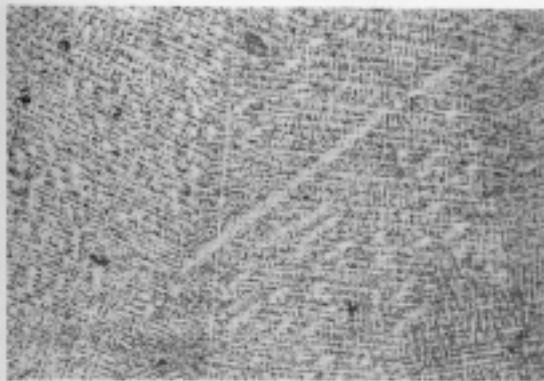


(a) $\times 200$ (횡단면)

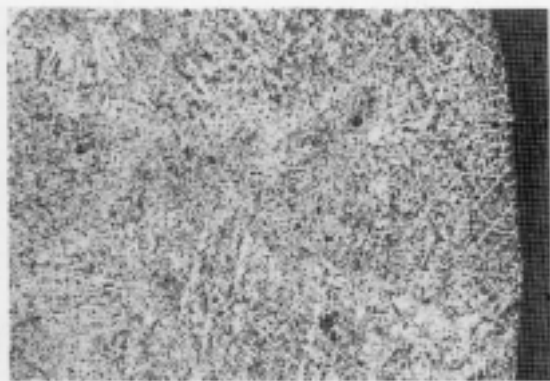


(b) $\times 200$ (종단면)

Fig.1 Huo Quan(xin, A.D. 14)

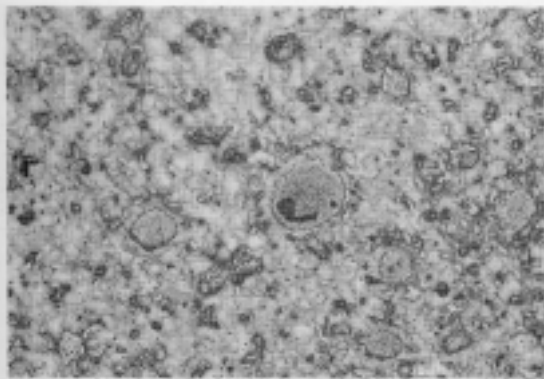


(a) $\times 400$ (횡단면)

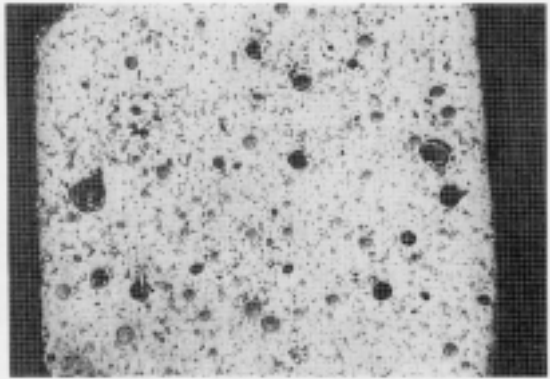


(b) $\times 100$ (종단면)

Fig.2 Wuzhu(Eastern Han, A.D. 40~219)

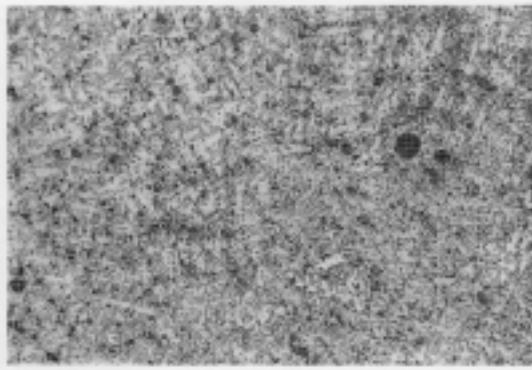


(a) $\times 200$ (횡단면)

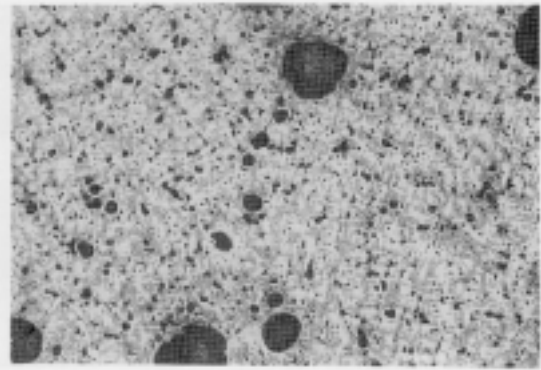


(b) $\times 100$ (종단면)

Fig.3 Kai-tong Yuan-bao(Tang, A.D. 621)

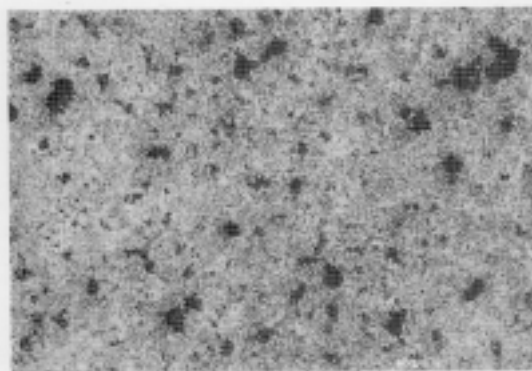


(a) $\times 200$ (횡단면)

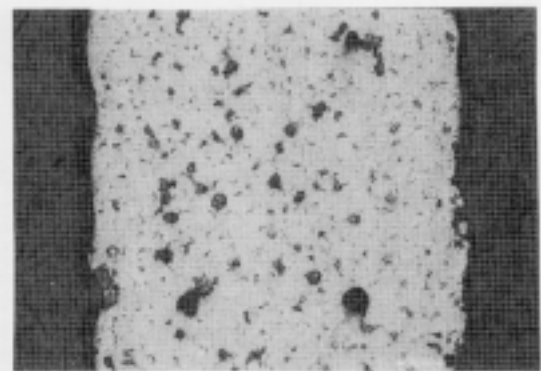


(b) $\times 200$ (종단면)

Fig.4 Kai-tong Yuan-bao(Tang, A.D. 845)

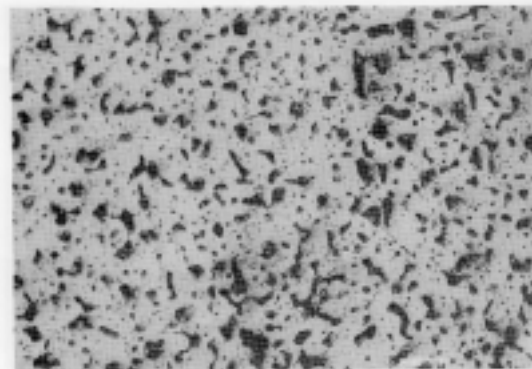


(a) $\times 200$ (횡단면)

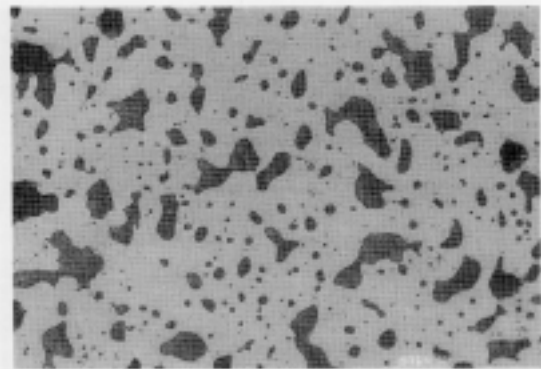


(b) $\times 100$ (종단면)

Fig.5 Zhou-yuan Tong-bao(Hou Zhou, A.D. 955)

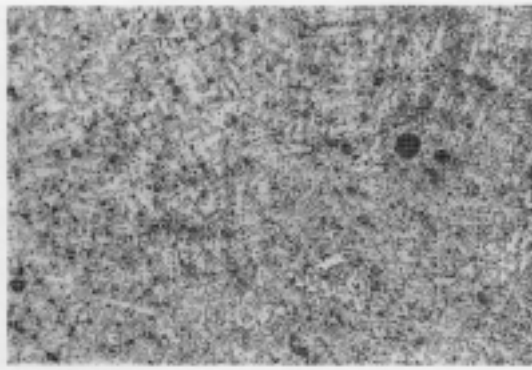


(a) $\times 100$ (횡단면)

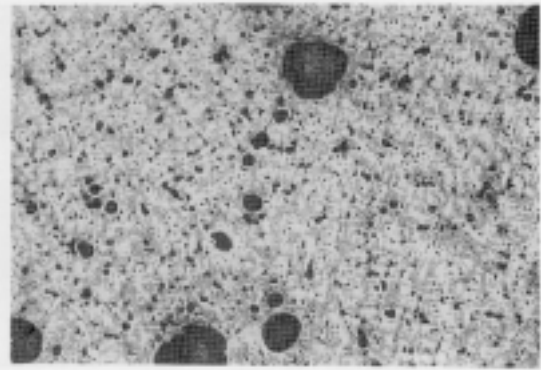


(b) $\times 400$ (종단면)

Fig.6 Zhi-dao Yuan-bao(Bei Song, A.D. 995-997)

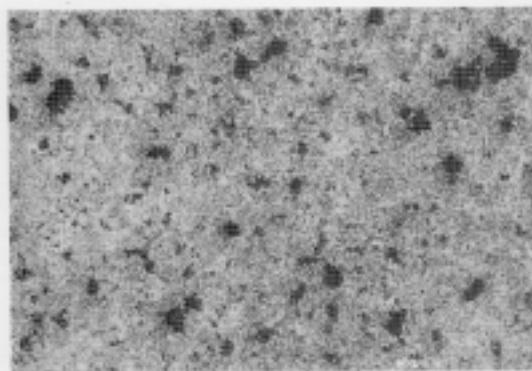


(a) × 200(횡단면)

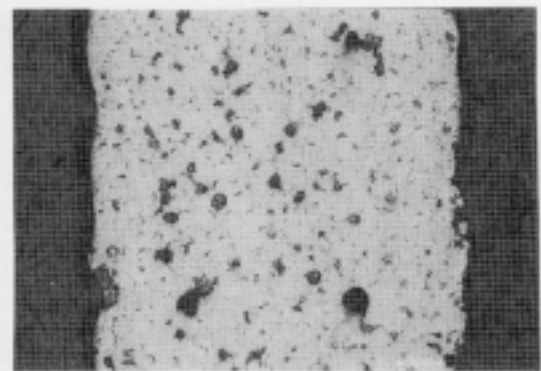


(b) × 200(종단면)

Fig.4 Kai-tong Yuan-bao(Tang, A.D. 845)

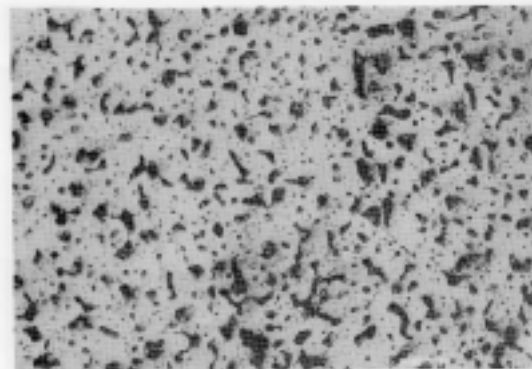


(a) × 200(횡단면)

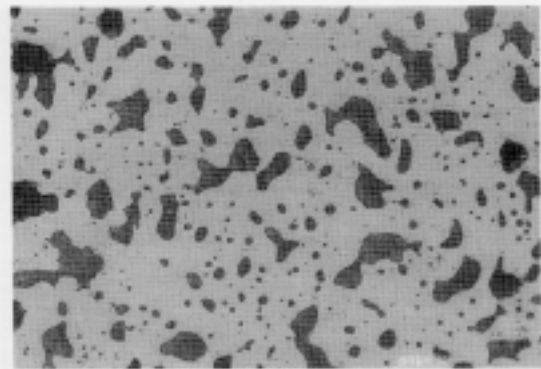


(b) × 100(종단면)

Fig.5 Zhou-yuan Tong-bao(Hou Zhou, A.D. 955)

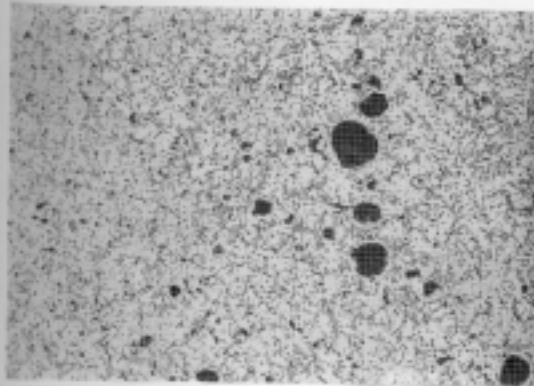


(a) × 100(횡단면)

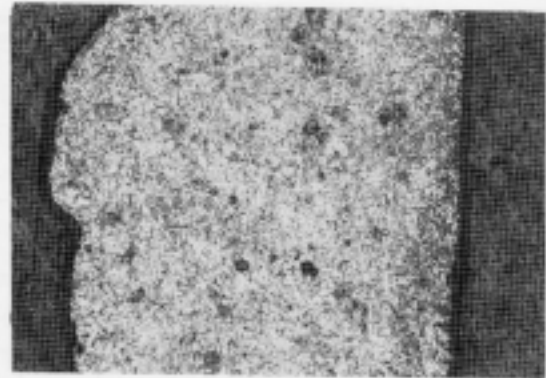


(b) × 400(종단면)

Fig.6 Zhi-dao Yuan-bao(Bei Song, A.D. 995-997)

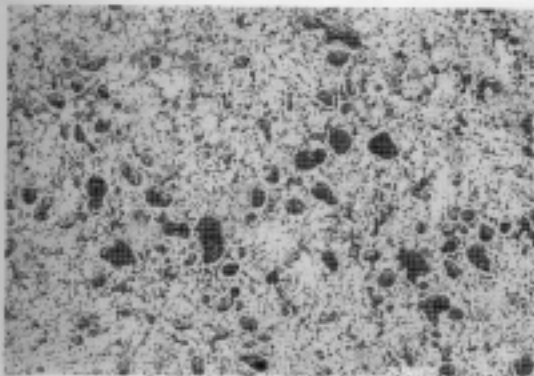


(a) × 200(횡단면)

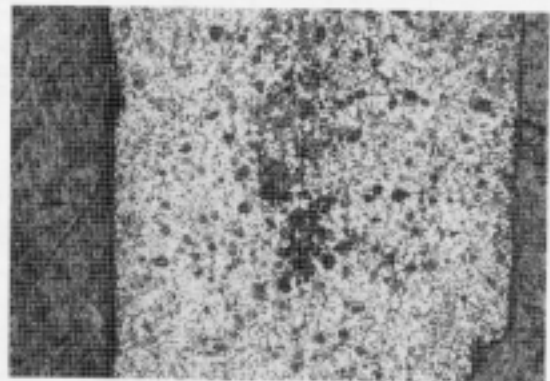


(b) × 100(종단면)

Fig.7 Ming-dao Yuan-bao(Bei Song, A.D. 1032~1033)

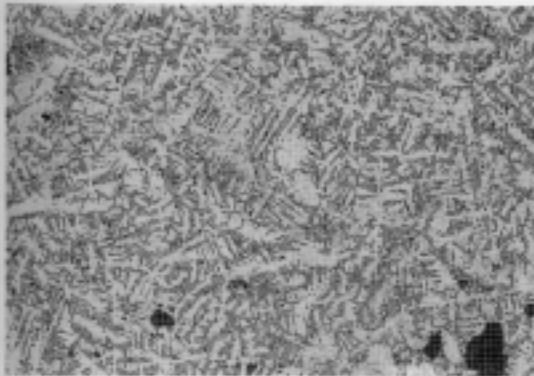


(a) × 200(횡단면)

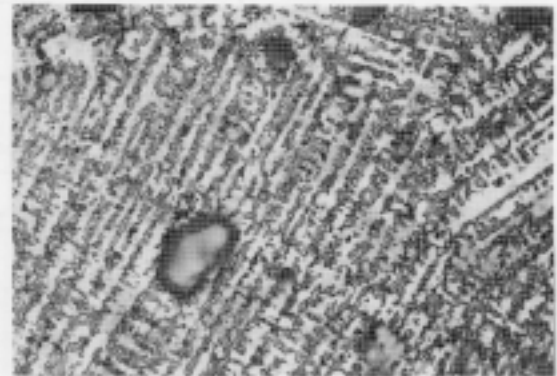


(b) × 100(종단면)

Fig.8 Yuan-feng Tong-bao(Bei Song, A.D. 1078~1085)

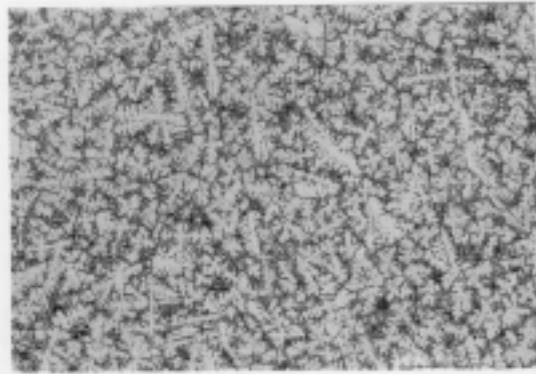


(a) × 200(횡단면)

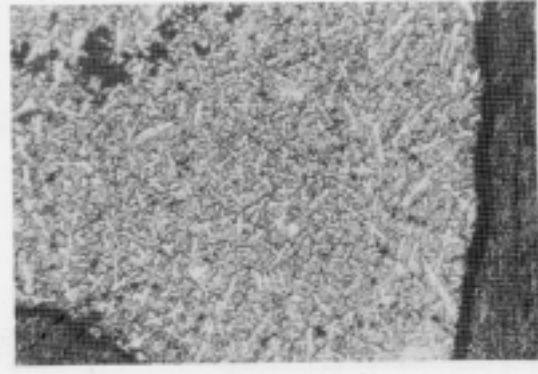


(b) × 400(종단면)

Fig.9 Zheng-lung Yuan-bao(Jin, A.D. 1158)

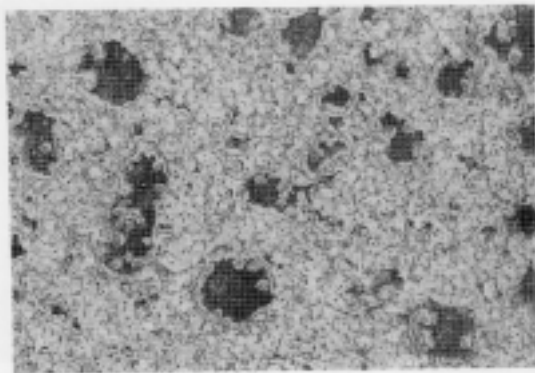


(a) $\times 100$ (횡단면)

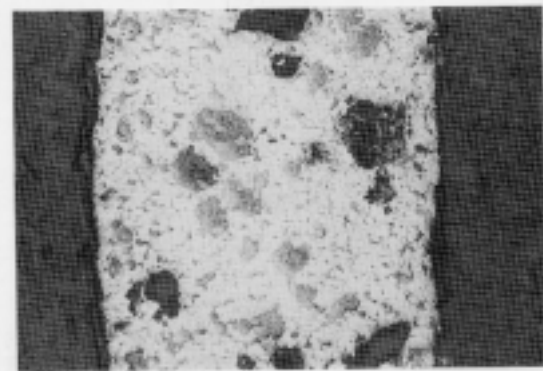


(b) $\times 50$ (종단면)

Fig.10 Da-ding Tong-bao(Jin, A.D. 1178)

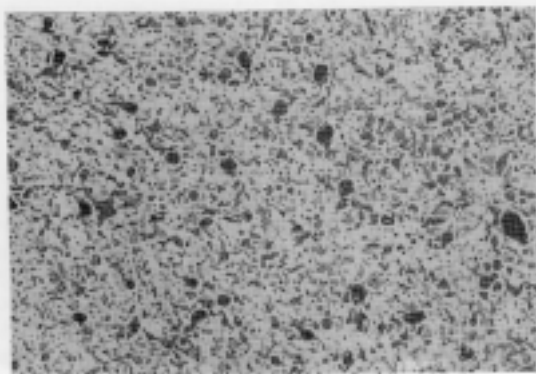


(a) $\times 200$ (횡단면)

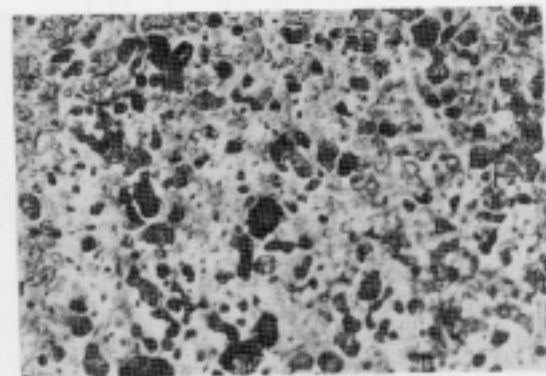


(b) $\times 100$ (종단면)

Fig.11 Shao-xi Yuan-bao(Nan Song, A.D. 1190~1194)



(a) $\times 200$ (횡단면)



(b) $\times 200$ (종단면)

Fig.12 Zhi-da Tong-bao(Yuan, A.D. 1310)

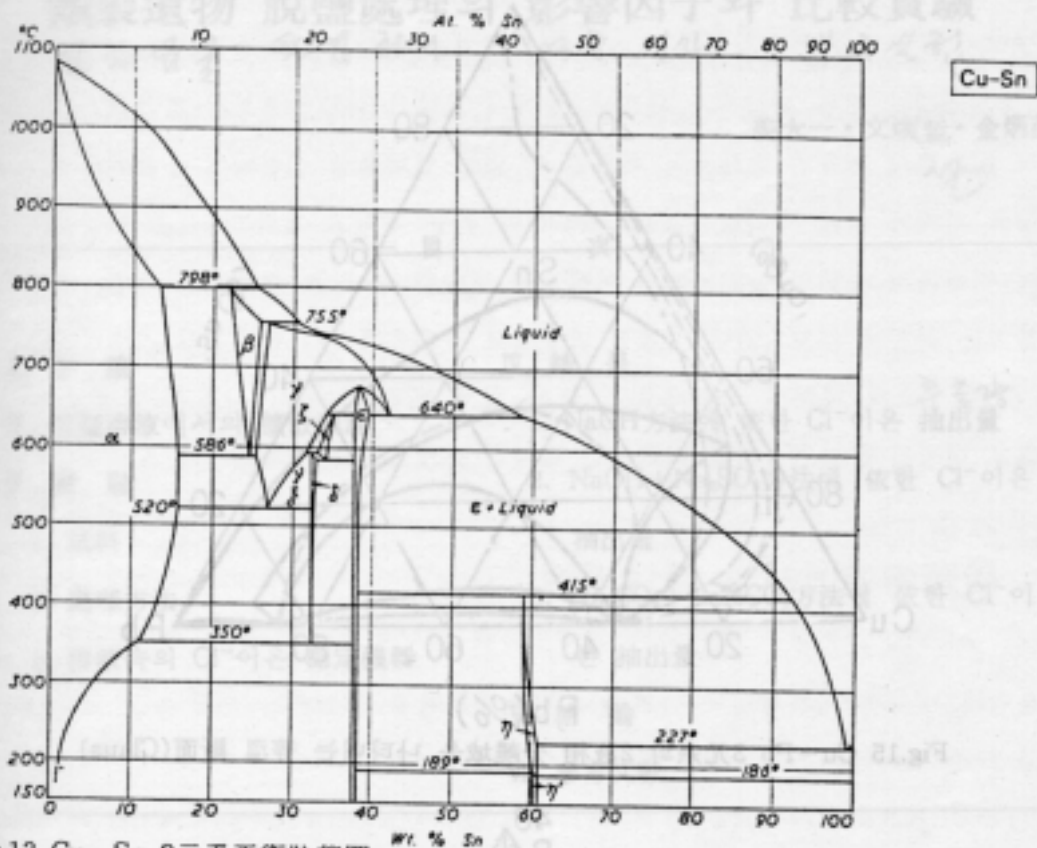


Fig.13 Cu-Sn 二元系平衡狀態圖

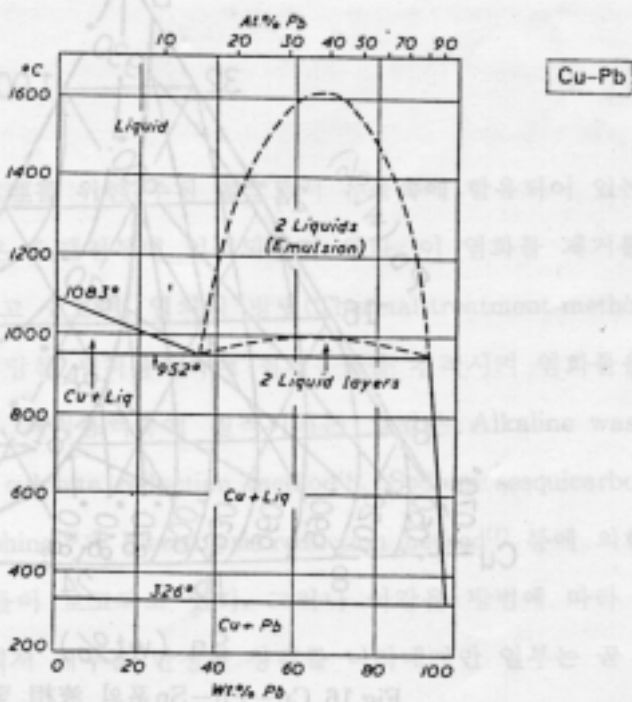


Fig.14 Cu-Pb 二元系平衡狀態圖

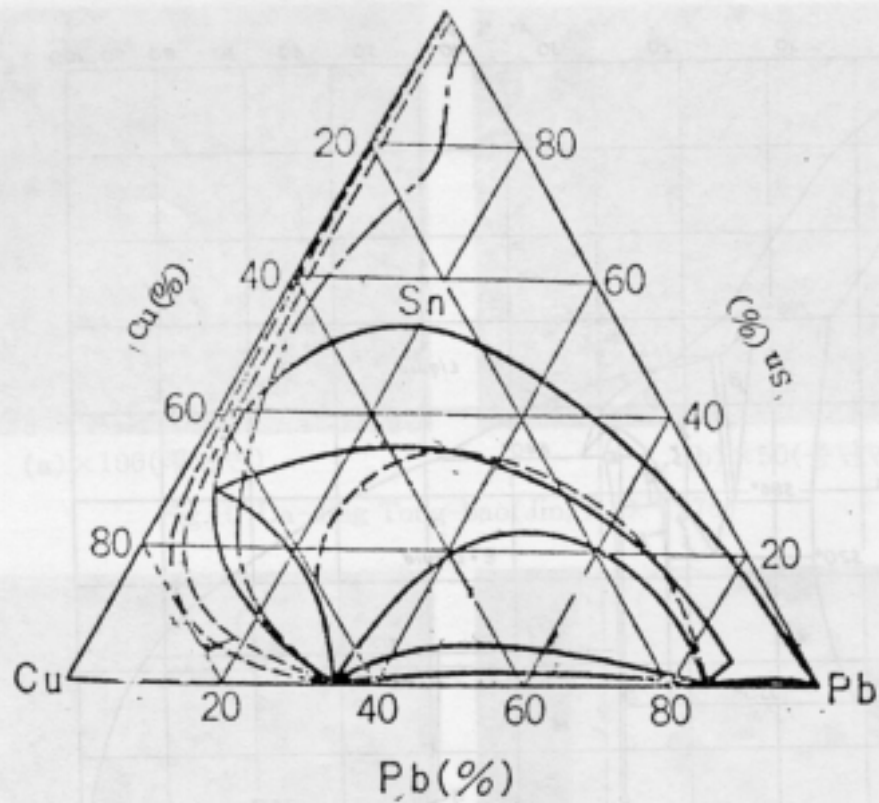


Fig.15 Cu-Pb 3元系の 2液相 分離域을 나타내는 等温 断面(Claus)

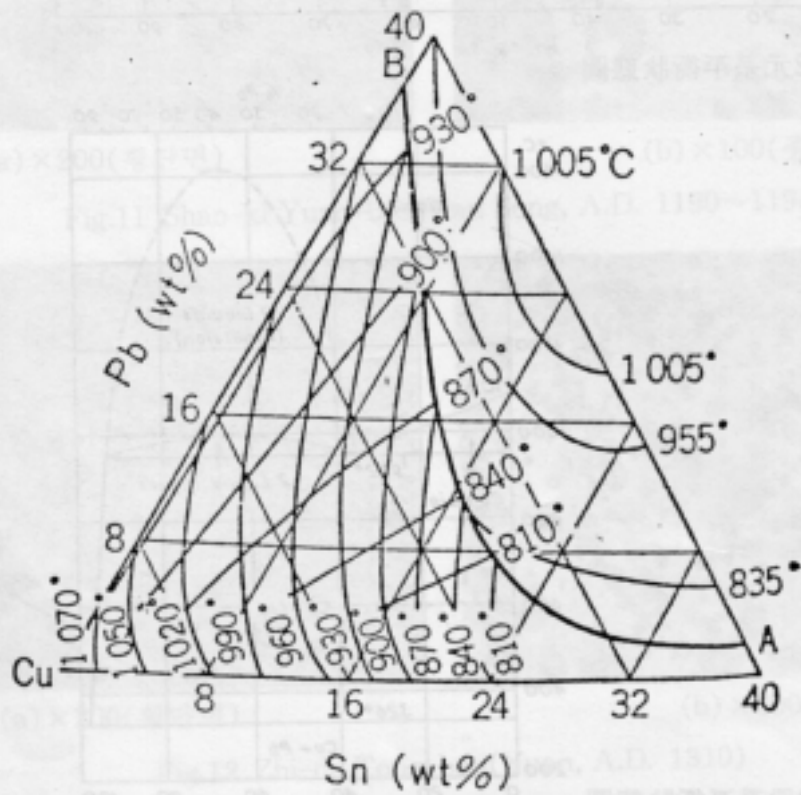


Fig.16 Cu-Pb-Sn系의 液相 및 分離表面