

乳劑中の AgX grain의 形態와 粒狀度에 關한 研究

吳 濟 雄

(釜山工業大學)

A study of the relations between the Silver halide Grain structure in Emulsion and the Granularity

Oh Je Wung

(Busan National University of Technology)

Abstract

In analysing the Image quality, one of the most important things to be considered is the granularity at a given emulsion speed.

To enhance the image quality, the granularity should be lowered by the suitable methods, such as controlling the design of emulsion, grain size and structure, the distribution state of grains in the emulsion, etc.

In this paper, the relations between the AgX grain structure and granularity are studied as a way of lowering granularity.

According to the results, it is found that the grain structure is a very important factor for determining the granularity characteristics.

1. 序 論

寫眞畫像은 그림, 印刷 및 電子 畫像等과는 다른 특수한 화상이라 할 수 있다. 따라서 이러한 寫眞畫像의 記錄材料인 所謂 感光材料를 제조하거나, 여기에 記錄된 畫像을 평가하는데 있어서는 여러가지 점들이 고려되어지며, 그 중에도 가장 중요한 것이 感光材料의 感도와 生成된 畫像에서 볼 수 있는 粒狀性 問題이다.

感도와 粒狀性은 현재의 感材를 利用하는 寫眞法에서는 서로 뗄수 없는 密接한 關係를 갖고 있어서 寫眞法이 開發된 以來 現在까지 계속 問題가 되고 있으며, 또 同時에 이들에 대한 많은 研究가 행해져서, 많은 것이 밝혀져 있다고 하겠다.

그런데, 여기서 말한 現在の 感材(寫眞材料)란 것은 感光性物質로서 AgX (Silver halides)를 binder 구실을 하는 gelatin 중에 suspension state로 分散시켜 寫眞乳劑(photographic emulsion)란 것을 만들고, 이것을 支持體(support) 또는 base像에 單層 또는 二層以上 塗布하여 感光層을 形成시켜둔 所謂 銀鹽感光材料를 말하며, 얻어지는 畫像은 銀畫像이다. 특히 이 感材의 乳劑中에 couplers를 添加하게 되면 color感光材料가 되며, 얻어지는 畫像은 色素像이다.

또한 여기서 말하는 寫眞法이란 바로 이 銀鹽感光材料에 光 energy를 作用시켜, 光化學反應(潛像生成)을 일으킨 뒤, 이를 化學處理(現像處理)를 통하여 이 光 energy의 效果를 增幅시켜 可視像을 形成시키는 方法을 말한다. 이러한 方法에 의하여 만들어지는 像은 銀像과 色素像으로 나눌 수 있지만 어느 경우이던 간에 그 像은 特殊한 畫像이라 할 수 있으며, 모두 粒子性이 問題가 된다.

그런데 粒狀度는 여러가지 要因에 따라 決定되어 짐이 알려져 있으므로, 여기서는 특히 乳劑中の AgX grain의 形態와 生成된 銀畫像의 粒子度와의 關係에 대해서만 主로 檢討하기로 한다.

2. 粒狀도와 關係되는 事項들에 對한 考察

2-1 粒狀性和 그 問題點

크게 擴大된 寫眞畫像을 보면, 光學濃度(optical density)가 集中된 點같은 것이 不規則的으로 分布되어져서, 不連續的인 濃度分布를 나타냄으로써, 視覺的으로 알갱이 같은 느낌을 주게되는데 보통 이것을 가리켜 粒狀性 (graininess)이라 부르고 있으며, 畫像을 어느 限界 以上 크게 擴大하지 않는 경우는 크게 問題될 게 없으나, 粒狀性은 像質을 低下시키게 된다. 粒狀性은 擴大에 따른 問題 以外에도 觀察條件, 눈의 解像力 等과 關係됨으로 그 程度를 測定하는데 있어서 問題가 있게 된다. 따라서 粒狀性은 心理的, 또는 生理的인 測度로서는 可能하나, 物理的 또는 客觀的 測度로서는 不適當하다. 이러한 問題點을 解決하기 위하여, 物理的 또는 客觀的 粒狀性的 尺度로서 粒狀度(granularity)란 것을 定하게 되고, 여러가지 種類의 粒狀度が 알려져 있다.¹⁾

本 研究에 있어서는 粒狀性的 程度를 check하는데 있어서 잘 알려진 RMS-Granularity를 利用하기로 한다.

2-2 粒狀性的 生成原因

粒狀性을 檢討함에 있어서는 우선 粒狀性的 生成 原因을 살펴 볼 必要가 있다. 銀畫像에서 볼 수 있는 粒狀性은 根本的으로 乳劑中에 生成된 像銀原子群 또는 像銀粒子的 不規則한 分布에 依하여, 決定되어 지는 光學濃度的 不連續性 때문에 發生하게 된다.²⁾

이것과는 對照的으로 網再現(Halftone reproduction)에 依하여 生成된 印刷畫像에서는 거의 粒狀性的 問題가 되지 않는다는 것은 粒狀性的 生成 原因을 밝히는데 도움이 된다. 즉, 網再現된 畫像에서는 tone을 이루는 dot의 size에는 差異가 있으나, 各 dot의 濃度は 同一하며 또한 dots의 分布가 規則的으로 配列되어져 있어 粒狀性을 느낄수 없는 것이 보통이며, 더우기 눈의 解

像力範圍 밖에서는 Continuous tone처럼 느껴지게 된다.³⁻⁴⁾

따라서 粒狀性의 原因이 畫像銀粒子的 分布와 濃度의 不均一性에 있으므로, 粒狀性의 程度는 銀粒子的 size와 銀粒子間의 인접한 간격, 銀粒子끼리의 겹침 등에 의하여 影響을 받게 될 것으로 생각되어 진다.

따라서 粒狀性を 檢討하기 위해서는, 乳劑의 平面的인 方向과 垂直的인 方向을 同時에 考察할 必要가 있을 것으로 생각된다.

2-3 粒狀性의 程度

粒狀性의 原因이 上述한 바와 같이 根本的으로 像銀粒子가 關係된다고 하면 像銀粒子的 母體는 乳劑中の AgX임으로, 粒狀度는 AgX와도 關係됨은 當然하다고 하겠다. 粒狀性의 程度는 AgX grain의 size와 密接한 關係가 있다는 것은 잘 알려진 事實이다. 例컨데 乳劑가 작은 AgX grains로 이루어진 低感度 感材에서 얻어지는 畫像의 粒狀性의 程度가 작다는 것은 一般的인 常識이다.

그러나 粒狀性은 根本的으로 現像銀, 즉 像銀의 grain size, 形態, 分布 등에 의하여 決定되어 진다고 하겠다. 現像銀粒子(像銀粒子)의 size와 形態는 AgX grain의 size와 形態에 關係됨은 勿論이지만, 現像에 依해서도 크게 關係된다. 특히 像銀粒子的 形態는 化學(直接)現像에 依한 filamentary type과 處理畫像에 依한 corpuscular type 두가지로 크게 나누어지며, covering power는 前者가 큰 것으로 알려져 있다.⁵⁻⁶⁾ 이것은 結果的으로 像銀粒子的 形態가 粒狀性에 影響을 준다는 것을 말한다. 實際 現像時 例컨데 化學現像을 행하는 경우, 物理現像도 약간 進行됨으로, 生成된 現像銀粒子的 形態는 이들의 混合形態가 된다. 現像銀粒子的 形態는 實際로 現像主劑의 種類에 따라 여러가지 形態가 나타난다.⁷⁾ 이것은 粒狀性에 影響을 준다는 것을 말한다.

한편 現像銀粒子的 size는 乳劑中の AgX grain size와 關係되지만 現像液의 種類에 따라서도 달라질 수 있다. 例컨데 溶解性現像液에 依하여 生成된 現像銀粒子的 size는 一般的으로 작으며, 소위 微粒子現像이란 이름으로 알려

져 있는 것이다. 이것은 現像液의 種類에 따라 粒狀性이 變하게 된다는 것을 말한다. 또한 現像銀粒子的 size는 乳劑中에 있는 AgX grain 각각의 現像程度에 따라 變할수 있다. 즉 하나의 AgX grain이 완전히 現像되어졌을 때와, 現像 中途에서 定着되어져서 現像銀이 生成되어 졌을 때는, 前者의 現像銀의 size가 크게 됨은 當然한 것이고, 이로 因하여 이들에 依하여 決定되어 지는 光學濃度에도 差異가 있게 된다. 現像程度는 露光効果와 關係되며 結果的으로 粒狀性에 影響을 미치게 된다고 할 수 있다. 現像銀粒子的 分布狀態, 즉 粒子間거리, 粒子끼리의 중첩 등도 粒狀性에 影響을 미친다고 볼 수 있다. 現像銀粒子的 分布狀態는 乳劑中の AgX grains의 coating weight와 露光時의 波長⁸⁾에 따라, 또 現像條件⁹⁾에 따라 影響을 받게 된다.

이처럼 粒狀性의 程度는 여러가지 要因에 依하여, 變하게 됨으로, 이러한 事實을 充分히 고려하여, 制限된 條件에서 本 研究를 進行하기로 한다.

2-4 粒狀度測定과 關係되는 問題點

粒狀性은 上記한 여러가지 要因에 依하여, 그 程度에 變化를 가져옴으로 粒狀度測定에 있어서도 몇가지 點을 고려할 必要가 있다. 우선 粒狀性은 視覺的으로 濃度の 變化에 따라 그 程度가 변하게 된다. 즉, 畫像의 highlight部나 shadow部 보다는 一般的으로 middle tone部에서 視覺的으로 보다 현저한 粒狀性을 느끼게 한다. 따라서 粒像度を 測定함에 있어서는 이 點을 充分히 고려하여 畫像의 特定濃度部分의 粒狀度を 求할 必要가 있게 된다. 즉, 粒狀度を 求하기 위해서는 測定基準이 되는 濃度を 定할 必要가 있게 된다. 그러나 基準濃度は 國家나 個人, 感材製造社, 感材의 種類에 따라 반드시 一定하다고는 할 수 없다.

Kodak Co의 경우를 例로 들면, B/W print film (or negative film)의 경우는 Base+Fog density를 除外한 즉, 乳劑層에 形成된 畫像濃度, Net diffuse density=1.0을 粒狀度 測定時의 基準濃도로 정하고 있으며, B/W Reversal film의 경우에는 Base+Fog+Net density, 즉 Total diffuse density=1.0으로 정하

고 있다.

粒狀度を測定함에 있어서는 보통 microdensitometer를 利用하게 되는데, 이때 이것의 aperture size에 따라서, 粒狀도가 變하게 됨으로, 濃度の 基準濃度 뿐만 아니라 Aperture size의 基準設定이 必要하게 되며 Kodak Co.의 경우는 $\text{dia}=48\mu\text{m}$ 의 circular aperture가 基準이 되고 있다.

本 研究에서는 Kodark方式인 Diffuse RMS-Granularity를 利用하려 하거니와, 이 경우에는 microdensitometer에서 測定되어 지는 濃度は 一般的으로 specular density임으로 이에 따른 補正이 必要하게 되며, 또 測定濃度の 빈도수가 粒狀度の 正確度を 높이기 위해서는 1000以上이 要求되어짐을 注目하게 된다.

한편 RMS-Granularity의 값은 microdensitometers의 機種에 따라서 差異가 있게 됨으로, 이에 對한 對策도 要求되어 짐을 付記한다.¹⁰⁻¹¹⁾

2-5 研究目的과 方法

本 研究는 乳劑中の AgX grain의 形態와 粒狀도와 의 相關性을 調査함으로써, 一定 感度에서 粒狀도를 改良할 수 있는 方法을 찾아보려는 것이 그 目的이다.

그런데 粒狀도는 上述한 바와 같이 여러가지 要因에 의하여 決定되어 짐으로, 이런 點들을 充分히 고려하여, 주어진 條件下에서만 粒狀도를 檢討하기로 하였다.

實際로는 現在 市販되고 있는 黑白感材를 samples로 하여, 이들이 粒狀度 問題를 어떻게 解決하고 있는가를 檢討하여, 이를 바탕으로 어떤 形態의 AgX grain이 粒狀도를 低下시키는데 効果的인가를 찾아내어, 이를 粒狀度 向上의 한 方法으로서 제시해 보려 한다.

3. 實驗과 結果

乳劑中에 있는 AgX grains의 形態와 粒狀度와의 關係를 檢討하기 위해서는 現像 前後의 感材의 乳劑 斷面을 觀察하고, AgX grains와 現像銀粒子的 形態를 調査함과 同時에 粒狀度와의 相關性을 밝히는 것이 基本이 된다고 하겠다.

그런데 粒狀度の 基本單位가 되는 現像銀粒子的 size나 形態는 上述한 바와 같이 여러가지 要因에 따라 變化하기 때문에 이러한 要因들을 根據하여 檢討를 行하기로 하였다. 實際로 行한 test方法과 그 結果는 다음과 같다.

3-1 試料의 選擇

本 研究는 現在 市販되고 있는 感材에서 粒狀度 問題를 어떻게 解決하고 있는가를 檢討하여 이를 바탕으로 粒狀度 向上을 企할 수 있는 AgX grain의 形態등을 檢討하려는 것이 그 目的임으로 적당한 感材를 試料로 選擇하는 것이 重要하다고 생각된다.

乳劑中에 size가 작은 AgX grains로 形成된 低感度感材의 경우는 生成되는 像의 粒狀度も 적기 때문에 특별히 어느 限界 以上 크게 擴大하지 않는 限에서는, 粒狀度は 별로 問題가 되지 않는다. 그러므로 이런 點을 고려하여 試料로서 現在 市販되고 있는 monochrome 感材中, 超高感度 이면서도 粒狀도가 改良되어 있다고 알려진 Kodak Co.의 T-max 3200($E1=3200$), T-max 400($E1=400$); Fuji Co.의 Presto 1600($E1=1600$), Presto 400($E1=400$)과 比較를 위하여 普通 感度に 속하는 Kodak Co.의 T-max 100($ASA=100$); Fuji Co.의 SS-Pan 100($ASA=100$) 합계 6種의 print films를 選擇하였다.

3-2 露光 및 現像

上述한 바와 같이 粒狀度는 照射光의 波長, 露光量 等과 現像劑의 種類, 現像條件 等에 따라 變하게 됨으로, 이를 防止하기 위하여 一定條件에서 test를 행하기로 했다.

먼저 sample films를 각각 一定 크기로 잘라서, test strip를 만들고 이것을 乳劑面을 glass step tablet에 密着시켜, sensitometer를 利用하여 同一한 露光條件에서 露光을 行했다. 露光을 完了한 test strips는 現像處理를 行했다. 現像劑로는 溶解性現像劑로서 잘 알려져 있는 D-76(市販 Kodak製)을 使用했으며, 現像溫度는 20°C를 公通으로 하였으나, 現像時間은 각 film maker에서 指定된 最適時間으로 tank現像을 行했다.

3-3 基準濃度の 設定

現像處理가 完了된 乳劑層의 斷面을 觀察함에 있어서, 乳劑層이 나타내는 모든 濃度部分이 斷面을 調査하는 것은 無意味하며, 따라서 粒狀度測定의 基準이 되는 濃度部分의 斷面觀察을 行하는 것이 極히 當然한 것이다.

本 test에서는 粒狀度 測定의 基準濃度を Kodak方式의 net diffuse density = 1.0 代身, Total diffuse density \cong 1.0으로 定했다. 이것은 (base+fog)diffuse density가 0.17~0.25로 봤을때 net diffuse density = 0.76~0.89로 Kodak Co.의 基準濃度보다 낮다. Total diffuse density를 基準濃度로 定한 것은 densitometer로 實際 測定되는 Total density이기 때문에 편의상 그렇게 정한 것이고, 어떤 意味로는 이것이 오히려 適當하다고 생각되었기 때문이다. 더구나 本 研究에서는 正確한 Kodak 方式에 의한 粒狀度を 구하는 것이 目的이 아니고, 相對인 粒狀度を 求하여 이를 比較하는 것으로 充分하다고 보아 Total density를 基準으로 한 粒狀度を 求하기로 하였다. 그런데 Test sample을 step tablet를 利用하여 露光을 行한뒤 現像된 각 step density를 測定해야 했기 때문에 正確히 濃도가 1.0되는 部分이 없었으므로 Total diffuse density = 0.90~1.07를 基準濃度로 定할 수 밖에 없었음을 밝혀둔다.

3-4 粒狀度 測定

本 研究에서는 Diffuse RMS-Granularity를 利用하기로 했으며, 測定値의 計算은 다음 式을 使用했다.

$$\text{RMS-Granularity}(\sigma) = 1000 \times \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}$$

단; D_i : microdensitometer의 tracing points의 濃度

D : D_i 의 平均濃度

n : Tracing points의 빈도수

위 식에서 1000을 곱한 것은 Kodak方式에 준한다. microdensitomter의 scanning aperture size는 Kodak方式에 준했으며, 본 test에 사용한 microdensitomter(Joyce Loebel Ltd)의 scanning aperture는 square type이고, effective size는 $45.2 \mu m^2$ 로 이것을 換算하면 circular aperture의 $dia \cong 48 \mu m$ 로 거의 Kodak方式과 一致한다.

Fig.1에 microdensitometer에 依한 濃度變化의 tracing curves의 一部를 表示하거니와, 高感度일수록 粒狀度가 增加하고 있음을 알 수 있다.

또한 上記한 式을 利用하여 얻어진 Diffuse RMS-Granularity를 表1에 表示한다.

表1에서 얻어진 Diffuse RMS Granularity(σ_f)의 값은 상당히 rough한 값이다. 그것은 빈도수 $n=1000$ 以上이라야 正確한 값을 얻을 수 있다고 보기 때문이다. 또한 여기에 나타낸 값들은 基準濃度를 上述한 바와 같이 Kodak方式과는 差異가 있으므로 Kodak方式에 依하여 求하여진 값들과는 반드시 一致하지는 않음을 밝혀둔다.

表1에서 注目되는 粒狀度の 값이 Tmax 400과 Presto 1600이 가장 크며, 특히 Tmax 400의 粒狀度は Tmax 3200의 粒狀度보다 그 값이 더 크다. 이것은 檢査部分의 濃도가 $\Delta D_f=0.89$ 로 Tmax 3200의 $\Delta D_f=0.76$ 보다 더 큰데

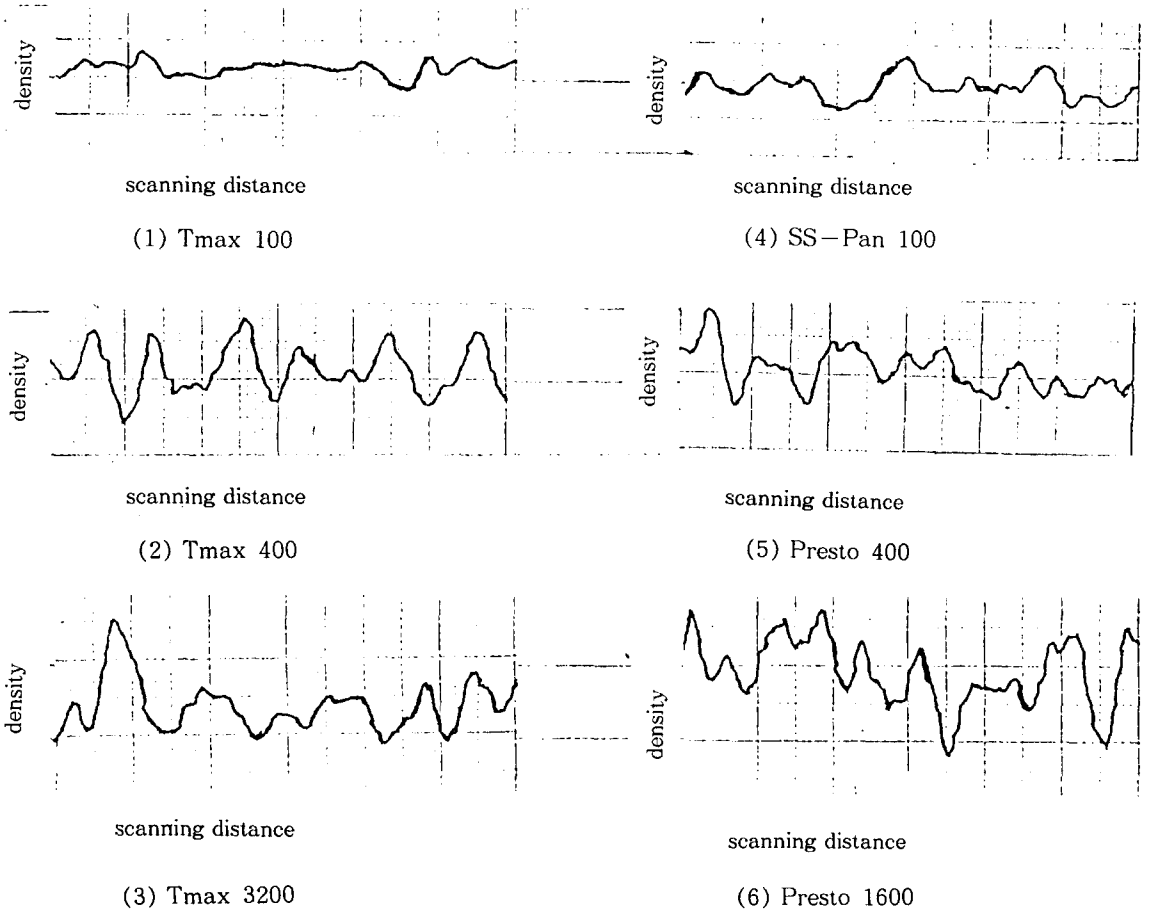


Fig.1 濃度變化의 tracing Curves

表1. 粒狀度 測定結果

感材種類	D_f	D_b	D_s	Q	ΔD_f	n	σ_s	σ_f	evaluation*
T-max100	0.97	0.17	1.31	1.35	0.80	94	14	10	Extremely Fine
SS-Pan100	1.03	0.25	1.39	1.35	0.78	97	24	18	Fine
Tmax400	1.07	0.18	1.41	1.32	0.89	88	37	27	Moderately Course
Presto400	1.03	0.18	1.42	1.38	0.85	113	30	22	Medium
Tmax3200	0.95	0.19	1.25	1.32	0.76	89	34	25	Moderately Course
Presto1600	1.01	0.20	1.35	1.34	0.81	103	39	27	"

where, D_f : Sample의 基準部分의 diffuse density

D_b : Sample의 base+fog diffuse density

D_s : Sample 基準部分의 microdensitometer traciny에

의한 濃度變化率의 specular density의 합의 平均濃度

$Q: D_s/D_f$ $\text{mean}Q(Q) = 1.36$

$\Delta D_f: D_f - D_b$

n : 測定빈도수(濃度變化點의 빈도수)

σ_s : Specular RMS-Granularity

σ_f : Diffuse RMS-Granularity = σ_s/Q

* Reference No.4, p.6

原因이 있다고 보여진다. 따라서 Tmax 3200, Tmax 400, Presto 1600의 σ_1 는測定部分의濃度を同一하게 했을 경우에는 거의 같을 것으로推測되어진다.

粒狀도가 가장 낮은感材는 Tmax 100으로, 現像銀의構造를 살펴보기 위하여電子顯微鏡觀察을行했으며, 얻어진現像像의電子顯微鏡寫眞中の 하나를 Fig.2에 표시한다.

이寫眞은 20,000倍擴大한寫眞으로 現像銀의粒徑이 약 400~500nm임을 알 수 있으며, 대단히 작은filamintary silver grains임을 알 수 있다.參考로各感材의negative로부터測定濃度部分을 20倍擴大해서 얻어진prints를 Fig.3에表示한다. 여기서도 Tmax 100에 의하여 얻어진print의粒狀도가 아주 낮다는 것을 알 수 있으며, Tmax 3200도感度に比해서는粒狀도가 비교적 낮다는 것을 알 수 있다.

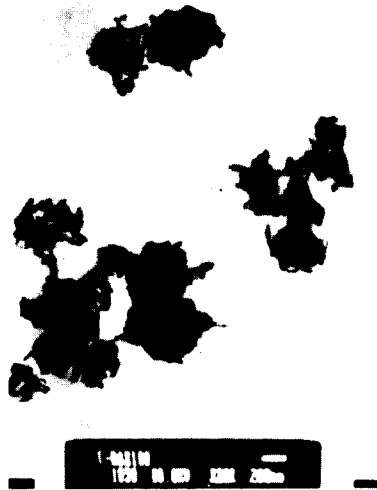


Fig.2 Tmax100film의 現像銀의 電子顯微鏡寫眞(20,000X)

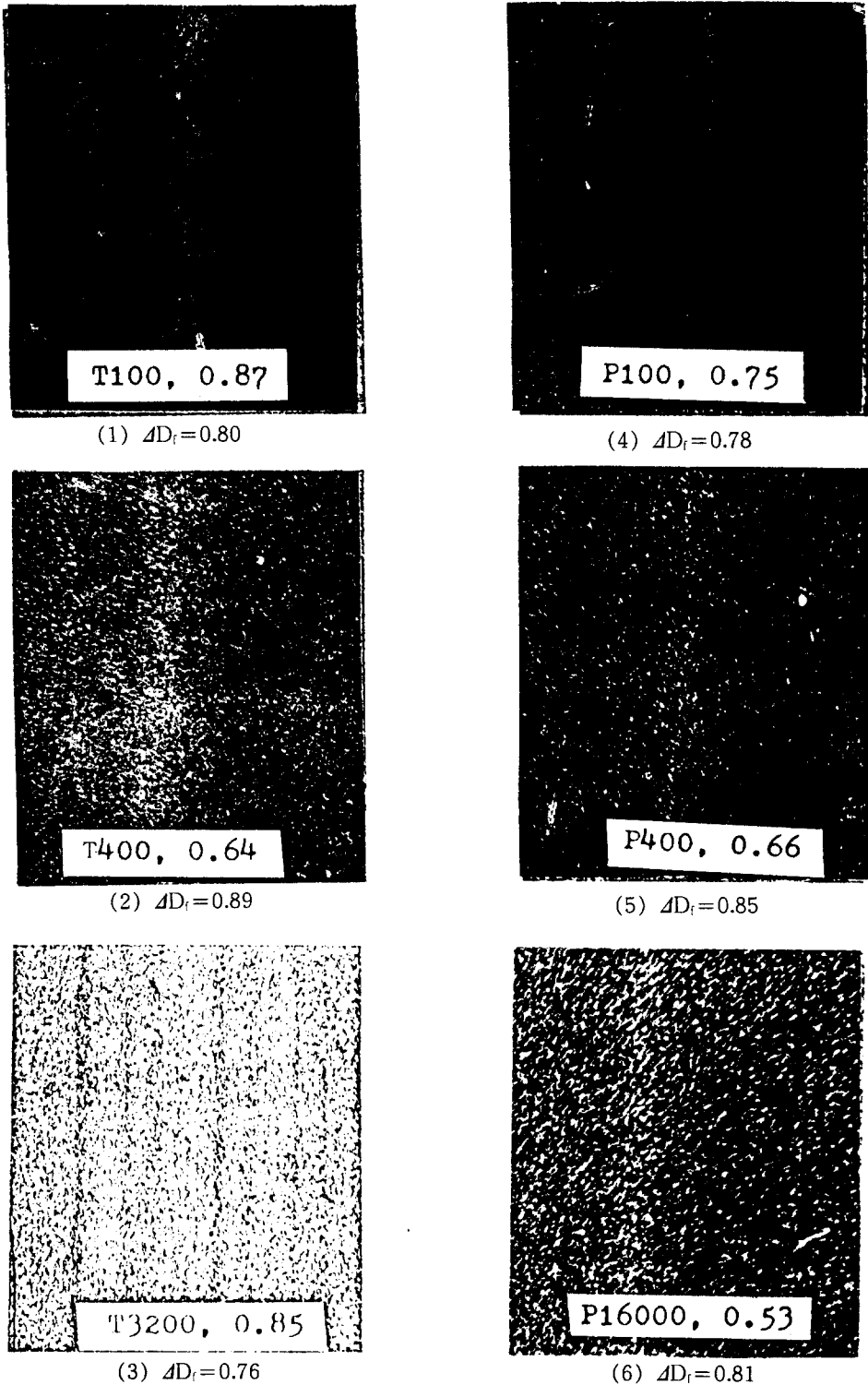


Fig.3 Sample negative($\Delta D_f = 0.76 \sim 0.89$)로 부터 20배 擴大하여 얻어진 prints.

3-5 乳劑斷面과 AgX grain 및 現像銀의 形態 檢討

각 感材의 乳劑斷面은 光學顯微鏡(倍率 380X)으로 다음과 같이 觀察하였다. 먼저 現像前의 sample films과 現像後 粒狀度 測定部分(基準濃度部分)의 negatives를 각각 3×15 mm의 작은 strip를 만들고, microtome을 利用하여 공히 명실에서 폭부분(3mm부분)의 단면(thickness $3 \sim 5 \mu\text{m}$)을 cut하여 이를 slide glass에 놓고 물을 한방울 떨어뜨려 乳劑層을 팽윤시킨 狀態에서 顯微鏡 觀察을 行했다. 따라서 아래에 제시한 顯微鏡寫眞들의 乳劑層의 size는 팽윤된 狀態의 것임으로 乾燥狀態의 實際的 乳劑層의 두께가 아님에 注意를 요한다. 또한 觀察時 生成되는 潛像銀은 무시하기로 했다. AgX grain이나 現像銀의 形態를 보다 자세히 觀察하기 위하여 電子顯微鏡을 利用했으며, AgX grain의 경우는 주로 高感度層에 있는 grains를 暗室에서 enzyme을 이용하여 gelatin에서 분리시켜 carbon replica를 만들어 透過電子顯微鏡으로 觀察했으며, 感材中 代表的 몇개에 대해서만 시행하였다. 이하 각 感材에 대한 그 結果를 살펴보기로 한다.

1. T-max 3200 Film(Kodak TMZ 5054): 上記한 方法에 의하여 T-max 3200 film의 現像前 乳劑斷面의 光學顯微鏡寫眞중의 하나를 Fig.4에 표시한다. 여기서도 알 수 있는 바와 같이, 이 感材의 乳劑層은 高感度層과 低感度層으로 構成되어 있으며, 그 두께의 비가 약 1:1 정도이다.

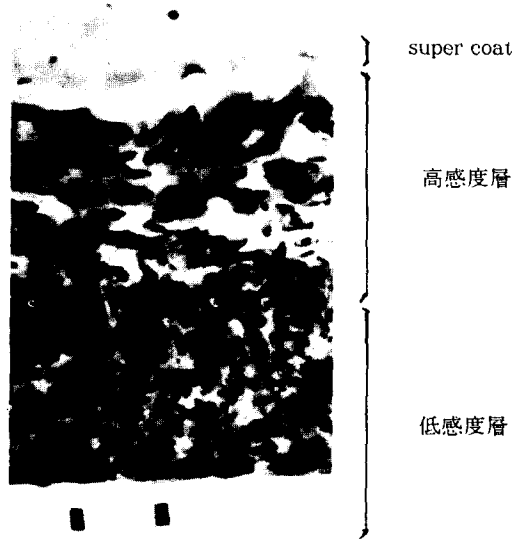


Fig.4 Tmax3200film의 乳劑斷面의 顯微鏡寫眞(380X).



Fig.5 Tmax3200film의 高感度層中에 있는 T-grains의 電子顯微鏡寫眞(10,000X).

高感度層에서 볼 수 있는 AgX grain의 斷面이 길쭉한 것은 粒子가 Tabular grains(T-grains)로 되어 있음을 가르키며, 그 size도 매우 커서 큰 입자의 粒徑은 $5\sim 7\mu m$ 정도로 생각된다. 한편 低感度層에 있는 AgX grains는 size도 훨씬 작을 뿐만 아니라 그 形態도 球形에 가까워 立方體나 8面體 形 일 것으로 생각된다. 이 感材에서 注目되는 것은 高感度層에 있는 대단히 큰 T-grains이다. 보다 자세히 觀察하기 위하여 電子顯微鏡을 利用하였으며 얻어진 寫眞중의 하나를 Fig.5에 표시한다. Grain중의 黑點들은 print-out silver로 생각되며, 여기서도 알 수 있는 바와 같이 grain size가 아주 크며, 表面的이 대단히 넓은데 比해서 두께는 매우 얇아서 aspective ratio가 대단히 크다는 것을 알 수 있다. 더구나 Fig.4에서 볼 수 있는 바와 같이 粒子의 平面이 base면과 대부분 平行으로 되어 있어서 露光時 projective area가 대단히 크게 된다. 이것은 바로 高感度化와 密接한 關係가 있음을 알 수 있다.

高感度層에 있는 AgX grains의 形態는 Fig.5에 나타난 형태가 대부분이었으나, 보다 size가 작은 것과 그 形態가 8面體나 杆狀인 것도 存在하고 있었음을 付記한다. 低感度層 중의 AgX grains의 量이 高感度層에 비하여 훨씬 많은 것은 濃度の 向上, 다시 말하면 高感度化를 위한 한 方法으로 생각되어 진다.

다음으로 Tmax 3200 film을 sensitometer를 利用하여 上記한 條件으로 露光을 행한 뒤 이를 D-76으로 $20^{\circ}C$ 에서 13.5分 現像하여 얻어진 粒狀度測定의 基準濃度部分($\Delta D_r=0.76$)의 negative의 斷面을 光學顯微鏡으로 觀察했으며, 얻어진 寫眞중의 하나를 Fig.6에 표시한다. 여기서도 알 수 있는 바와 같

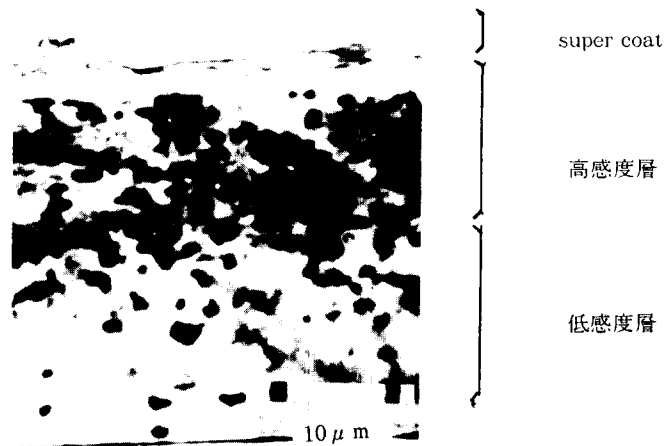


Fig.6 現像後 T-max3200film의 negative($\Delta D_r=0.76$)의 斷面顯微鏡寫眞(380X).

이 이 정도의 濃度($d=0.76$)에서는 高感度層 중의 AgX grains는 거의 대부분이 現像되어진데 반해서, 低感度層의 AgX grains의 現像된 정도는 별로 높지 않다. 그러나 비교적 base에 가까운 곳 까지 현상되어져 있어 露光效果가 대단히 크다는 것을 알 수 있다. 注目되는 것은 高感度層에 生成된 現像銀의 size가 原來的 AgX grain size보다 크지 않다는 사실이다. 이러한 사실은 高感度層중의 T-grains가 露光效果를 向上시킴과 同時に 生成된 畫像의 粒狀度を 低下시킨다는 것을 提示해 주고 있다.

2. Presto 1600: 이 感材의 乳劑層의 斷面顯微鏡寫眞중의 하나를 Fig.7에 표시한다. 이 感材의 乳劑層도 高感度層과 低感度層으로 構成되어 있음은 Tmax 3200의 경우와 같으나 高感度層의 두께가 低感度層의 두께의 약2배 정도나 되며 subbing layer(substratum)중에 靑紫色層이 있는 것이 特徵이라 할 수 있다. 高感度層중의 AgX grains의 形態는 球形에 가까우면서 비교적 크다. 보다 자세히 觀察하기 위하여 電子顯微鏡을 이용했으며, 얻은 電子顯微鏡寫眞중의 하나를 Fig.8에 표시한다. 不規則한 六角形 模樣을 하고 있으며, Fig.7에서도 알 수 있는 바와 같이 두께가 상당히 두껍다고 할 수 있다. 따라서 Aspective ratio가 큰 편이 못된다. grain size는 큰 것의 粒徑이 $1.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$ 정도로 생각된다. 이 정도의 grain size의 AgX가 高感度層에 이용된다는 것은 다분히 特殊한 AgX grains임을 추측해 한다.

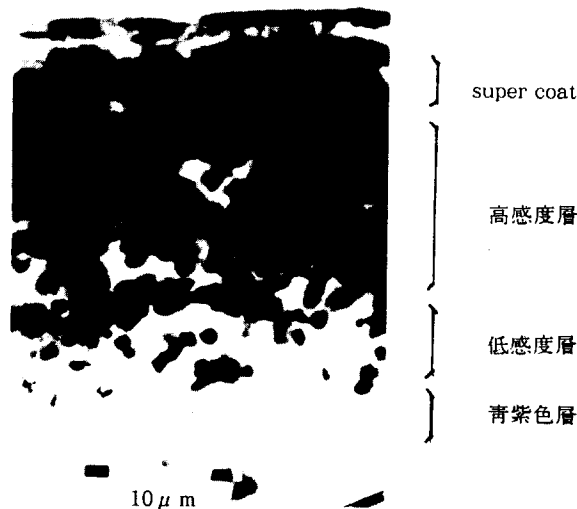


Fig.7 現像前 Presto1600film의 乳劑斷面顯微鏡寫眞(380X).



Fig.8 Presto1600film의 高感度層中の AgXgrains.(電子顯微鏡寫眞, 10,000X)

다음으로 粒狀度測定部分($\Delta D_t=0.81$)의 negative의 乳劑斷面을 檢査하였고, 그 乳劑斷面顯微鏡寫眞 중의 하나를 Fig.9에 표시한다. 現像은 D-76으로 20°C에서 7.5분간 행하였다. 觀察한 바에 의하면 Fig.9에서도 알 수 있는 바와 같이 乳劑表面에서 base쪽으로 갈수록 露光效果가 減少되고 있다. 高感度層의 表面에 가까운 部分의 AgX grains는 거의 現像되어졌으나 表面에서 떨어져 低感度層에 가까운 쪽의 AgX grains의 現像程度가 減少되어 있을 뿐만 아니라 低感度層의 AgX grains가 現像된 量은 相當히 적음을 알 수 있었다. 이것은 高感度層의 두께가 두껍고 AgX grains의 量도 상당히 많은데 그 原因이 있다고 보여지며, 이러한 乳劑의 設計는 高感度化를 위한 부득이한 수 단으로 생각되어진다.

高感度層에 生成된 現像銀의 size도 원래의 size(AgX grain size)보다 增加된 듯한 감을 주고 있다. 또한 現狀銀의 形態도 보다 球形에 가깝고, 現像銀



Fig.9 Presto1600film을 現像하여, $\Delta D_r=0.81$ 되는 部分의 乳劑斷面顯微鏡寫眞.

粒子的 분포도 T-max 3200에 비하여 더 不規則하고 국부적으로 集結되어져 있는듯 하다.

3. T-max 400 Film(TMZ 5053): 이 感材의 乳劑層斷面을 顯微鏡으로 觀 察해 보면 乳劑層이 高感度層과 低感度層으로 構成되어 있고, 그 두개의 비 도 약 1:1로 T-max 3200의 乳劑設計과 대단히 類似하다. 乳劑斷面の 顯微 鏡寫眞의 하나를 Fig.10에 表示하거니와 高感度層 中の AgX grains의 形態 가 T-grains로 되어 있는듯 하지만 T-max 3200의 경우처럼 確實하지가 않다. 그래서 高感度層 中에 있는 AgX grains를 抽出하여 電子顯微鏡觀察을

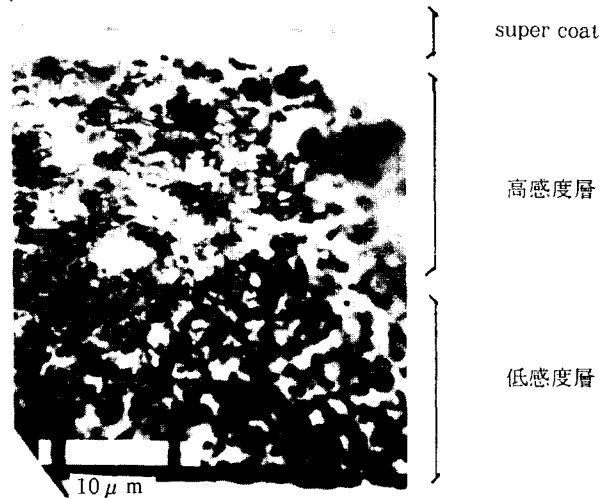


Fig.10 T-max400film의 現像前 乳劑層의 斷面顯微鏡寫眞(380X).

행하기로 하였으며, 얻어진 寫眞을 Fig.11에 표시한다. 이 寫眞에서 볼 수 있는 바와 같이 T-max 3200乳劑중의 T-grains의 size에 비하여 작은 T-grains와 보다 size가 작은 여러가지 形態의 grains로 乳劑層이 形成되어져 있음을 알 수 있다. 특히 T-grains 이외의 작은 AgX grains는 表面에서의 두께가 두꺼워 aspective ratio가 작다는 것을 알 수 있다.

이 感材의 高感度層의 AgX의 coating weight도 T-max 3200에 비하여 훨씬 많다는 것이 注目되어진다. 이것은 高感度化를 위한 設計로 推測되어지며, 이것은 粒狀度에 影響을 미칠것으로 생각되는 바이다.



Fig.11 T-max400film의 高感度層中에 있는 T-grains의 電子顯微鏡寫眞(10,000X).

다음으로 이 感材를 上述한 바와 같이 露光을 행한뒤 D=76으로 20°C에서 8분간 現像處理하여 얻어진 negative의 基準濃度部分($\Delta D_f=0.89$)의 乳劑斷面을 觀察하고 얻어진 顯微鏡寫眞 중의 하나를 Fig.12에 표시한다. 여기서 알 수 있는 것은 高感度層 중의 AgX grains는 대부분 現像되어졌다는 것과 生成된 現像銀의 size가 원래의 AgX grain size에 비하여 오히려 增加되어 있다는 사실이다. 한편 低感度層에 있는 AgX grains는 대부분이 現像되지 못하고, 定着時 除去되어져서 이들이 있던 자리가 氣泡처럼 低感度層의 gelatin layer 중에 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과는 上述한 바와 같이 高感度層 중의 AgX의 coating weight가 커서, 이로 인한 感度效果가 減少되었기 때문으로 생각되어 진다.

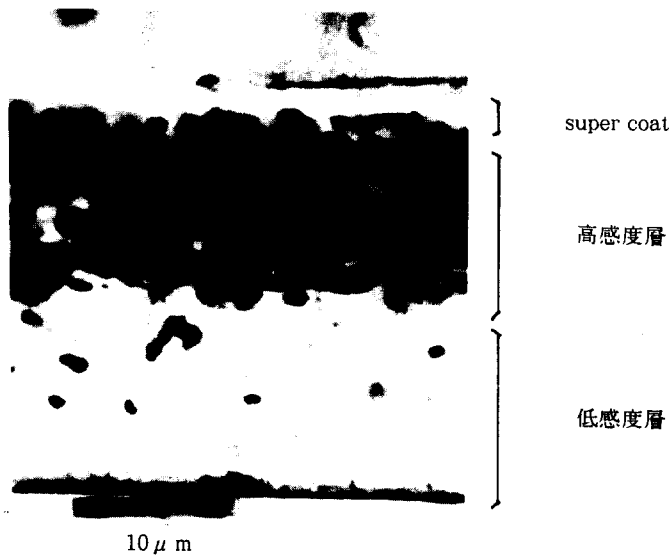


Fig.12 現像後 $\Delta D_f=0.89$ 部分의 T-max400film의 乳劑斷面

4. Presto 400 film: 이 感材의 乳劑斷面을 顯微鏡으로 觀察해 보면 거의 高感度層만으로 構成되어 있는것 처럼, 그 層의 두께가 低感度層에 비하여 두꺼운 것을 볼 수 있다. 이 層에 있는 AgX grain의 形態는 球形에 가까우며 8面體일 것으로 생각되어 진다. Fig.13에 이 感材의 乳劑斷面顯微鏡寫眞의 하나를 표시하거니와 乳劑層이 너무 심하게 팽윤되어 있어서, 低感度層이 잘 나타나지 않고 있다.

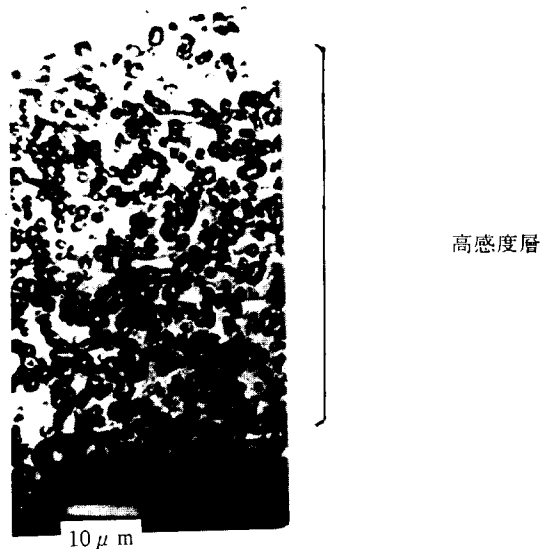


Fig.13 Presto400film의 乳劑斷面顯微鏡寫眞(380X)

그러나 이 感材를 現像(D-76으로 20°C에서 7.5분)하여, 얻어진 negative의 $\Delta D_r=0.85$ 되는 부분의 斷面을 觀察해 보면, 이 感材도 高感度層과 低感度層으로 構成되어 있음을 確實히 볼 수 있다. Fig.14에 그 斷面顯微鏡寫眞 중의 하나를 表示하거니와 여기서 注目되는 것은 高感度層의 두께가 低感度層의 두께보다 약 3배 정도나 두껍다는 것이다. 이런 設計는 高感度化를 위한 것으로 생각되나, 그 結果 低感度層 중의 AgX grains는 거의 現像되지 못하여, 이들이 있던 자리가 寫眞에서도 볼 수 있다. 이 感材의 設計는 대체로 Presto 1600의 設計와 대단히 類似하다는 것을 알 수 있으며 生成된 現像銀의 size는 Presto 1600에 비하여 훨씬 작다는 것을 볼 수 있다.

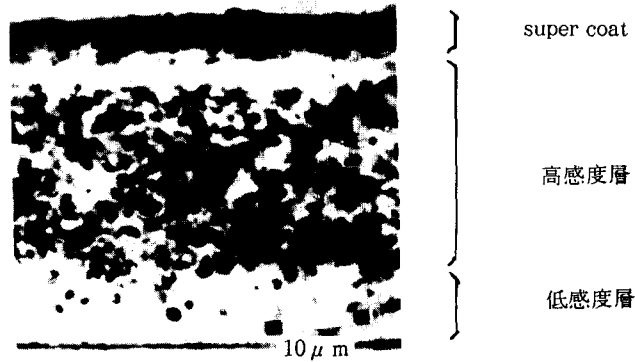


Fig.14 現像後 Presto400film의 $\Delta D_r=0.85$ 部分의 乳劑斷面顯微鏡寫眞(380X)

5. T-max 100 film(TMZ 5052): 이 感材 乳劑層의 斷面을 顯微鏡으로 觀察해 보면 Fig.15에서 볼 수 있는것 처럼 感光層이 卅層으로 되어 있는 것 같이 생각되어 진다. 感光層중의 AgX grain은 size가 작을 뿐만 아니라 그 形態도 球形에 가깝다. 보다 AgX grain의 形態를 자세히 보기 위하여, 乳劑層에서 AgX grain을 抽出하여 電子顯微鏡으로 살펴 보았으며, 얻어진 電子중의 하나를 Fig.16에 표시한다. 이 寫眞에서도 알 수 있는 바와 같이 이 感材도 size가 아주 작은(약 $1\mu m$ 이하) T-grains로 乳劑層이 構成되어 있음을 確認할 수 있다. 특히 T-grain의 두께가 극히 얇아서 電子顯微鏡 觀察時 이들 粒子들이 쉽게 포개어지는 傾向이 있었는데, 이것이 원인이 되어 光學顯微鏡으로 乳劑斷面을 觀察할때 Fig.15에서 볼 수 있는것 처럼 粒子가 球形에 가까운 形態로 나타난 것으로 생각되어진다. 이 感材를 露光을 한뒤, D-76으로 $20^{\circ}C$ 에서 9분간 現像處理를 행하여 얻어진 negative의 粒狀度測定時의

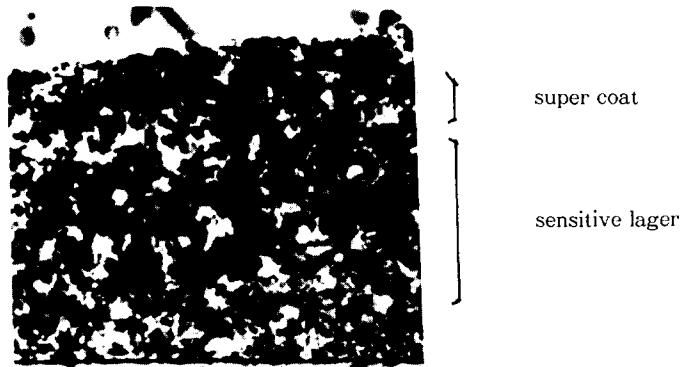


Fig.15 T-max100film의 乳劑斷面顯微鏡寫眞(380X)

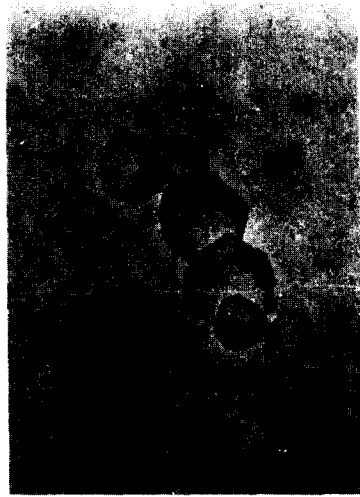


Fig.16 T-max100film의 乳劑中에 있는 T-grains의 電子顯微鏡寫眞(10,000X)

基準濃度($\Delta D_r=0.80$)部分의 乳劑의 斷面을 顯微鏡으로 觀察하였다. 이때 얻어진 寫眞중의 하나를 Fig.17에 표시한다. 이 寫眞에서도 感光層이 單層으로 되어 있는듯 하지만 確認할 수는 없었다. 단지 現像前後 斷面寫眞에서 共通인것은 지금까지 살펴본 感材와는 달리 保護層의 두께가 매우 두껍다는 것이다. 生成되어진 現像銀粒子的 size가 아주 작고, 그 분포도 비교적 균일하다. 이것은 이 感材의 粒狀性은 아주 良好하다는 사실을 提示해 주고 있다고 하겠다. 또한 이 정도의 濃度($\Delta D_r=0.80$)에서도 表面에서 base면 까지, 感光層에 있던 AgX grains가 거의 均一하게 現像되어져 있다는 사실은 T-grains의 特性上, 露光效果가 극대화된것 임을 提示해 주고 있다고 생각되어진다.

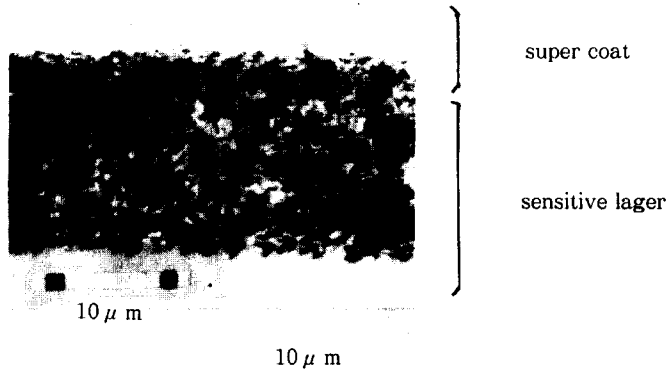


Fig.17 現像後 T-max100film의 $\Delta D_T=0.80$ 部分의 negative乳劑斷面顯微鏡寫眞(380X)

6. SS-Pan 100 film: 이 感材의 乳劑斷面을 顯微鏡으로 觀察했을때 感光層이 高感도와 低感도의 2개의 층으로 構成되어 있음을 確實히 알 수는 없었다. 얻어진 乳劑斷面顯微鏡寫眞중의 하나를 Fig.18에 표시하거니와 여기서도 알 수 있는 바와 같이 高感도層과 低感도層의 구별이 確實하지 않는 대신, AgX grain의 size가 약간 큰 것과 적은 것이 mix되어진 듯한 層構造를 하고 있다.

이 感材를 露光液 D-76으로 20°C에서 7분간 現像을 한뒤 얻어진 negative와 $\Delta D_T=0.80$ 部分의 乳劑斷面을 顯微鏡으로 檢査하였다. 얻어진 顯微鏡寫眞중의 하나를 Fig.19에 표시하거니와 여기서도 感光層이 2개인지는 確認하기가 곤란했다. 이 寫眞에서도 알 수 있는 바와 같이 生成된 現像銀의 size들이 비교적 크며 그 像銀粒子 끼리의 間隔도 넓고, 또한 그 분포도 상당히 不規則하다.

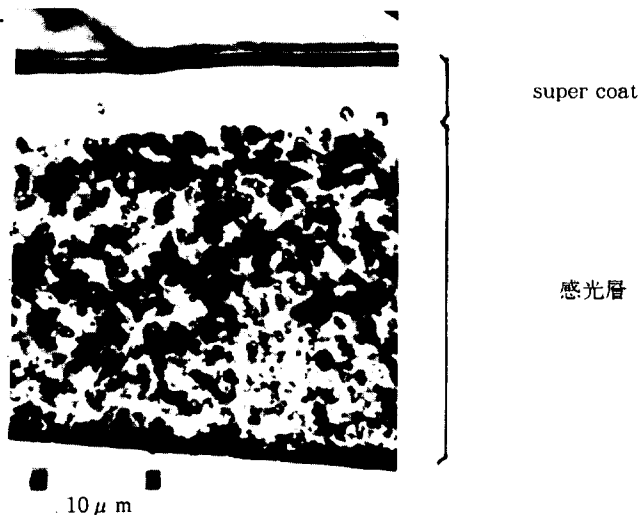


Fig.18 SS-Pan100film의 乳劑斷面顯微鏡寫眞(380X)

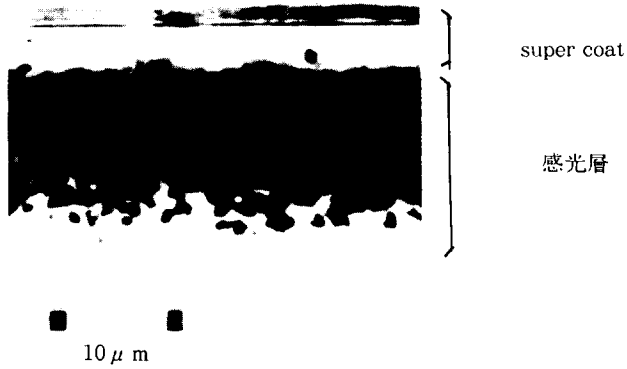


Fig.19 現像後 SS-pan100의 negative에서 $\Delta D_r = 0.8$ 되는
부분의 乳劑斷面顯微鏡寫眞(380X).

4. 結 論

粒狀度は 基本的으로 高感度 感材에서 問題가 된다고 볼 수 있다. 實驗한 結果를 바탕으로 高感度化와 粒狀度の 對策을 檢討하고 이를 바탕으로 本 研究의 結論을 맺을까 한다.

1. 高感度化: 感材의 感度を 向上시키는 要因으로서는 AgX grain의 size 를 비롯하여 그 形態, 增減度, 乳劑層중에서의 이들의 배향(orientation), 乳劑의 設計方式등을 들 수 있다. 現像銀의 量은 AgX grain의 size가 클수록 그 만큼 많아지게 되어 光學濃度도 그 만큼 增加될 것임으로, 高感度化에 가장 큰 影響을 미칠수 있는 것이 grain size일 것이다. 그러나 AgX grain의 形態 및 이들의 乳劑層內의 orientation도 소위 projective area의 濃度を 決定하기 때문에 感도와 密接한 關係가 있게 된다.

本 實驗을 통해서도 이러한 사실들은 確認되어졌으며, 市販되고 있는 感材들이 高感度化를 위하여 上記한 要因을 잘 이용하고 있었음을 또한 確認할 수 있었다.

예컨대 T-max 3200과 Presto 1600의 경우를 살펴보면 T-max 3200의 경우엔 高感度層은 size가 대단히 큰 얇은 板狀의 T-grains로 주로 構成되어 있고, 이 grains의 대부분이 base면과 平行으로 orientation되어 있어, projective area가 대단히 커서 露光效果가 극대화되어 있음을 알 수 있다.

低感度層엔 size가 보다 작은 AgX grains로 되어 있으며, 그 量(coating weight)은 高感度層 AgX grain의 量보다 훨씬 많다. 高感度層과 低感度層의 두께의 비는 약1:1 정도이고 高感度層이 주로 얇은 T-grains로 構成되어 있음으로 해서 比較的 低感度層 깊숙히 入射光이 도달 될 可能性이 많다. 이러한 T-max 3200의 設計는 高感度化를 위한 대단히 理想的인 것으로 생각 되어 진다. Presto1600의 경우엔 역시 高感度層과 低感度層으로 構成되어 있으나, 그 두께의 비가 약 2:1로 高感度層이 低感度層 보다 약2배 가량 두껍고, 그곳에 포함된 AgX의 量도 T-max 3200의 高感度層에 비해서 많음을

알 수 있었다. 이 感材의 高感度層 중의 AgX grain의 形態는 넓은 表面은 變形된 6角形으로 보이며 그 두께가 상당히 두껍다는 것을 알 수 있으며, 그 粒徑도 T-max 3200의 T-grains에 比하여 훨씬(약1/2정도)작다. 이런 形態의 grains는 T-grains에 比하여 aspective ratio가 훨씬 작다. 그런데도 高感度層에 있다는 것은 이 粒子들이 高度로 感光效果를 向上시킨 特殊한 粒子, 예컨대 core-shell type grain같은 것이라고 생각되어 진다. 이 感材의 低感度層은 이 感材의 高感度層 중에 있는 AgX grain보다 약간 작거나, 거의 같은 grains로 되어 있으며, 그 量은 高感度層 보다 훨씬 많음을 觀察할 수 있다. 結果적으로 이 感材의 경우는 高感度層에 grain size와 aspective ratio가 작은 대신 극도로 感光效果를 向上시킨 特殊한 AgX grains를 多量 利用함으로써 高感度化를 促進과 同時에 生成된 像銀의 contrast를 向上시킬 수 있도록 設計되었음을 추측할 수가 있게 된다. 그러나 이러한 設計로 高感度層의 두께가 두꺼워져 低感度層의 感光作用을 減少시키는 結果(Cf. Fig.9)를 가져오게 됨을 면할 수 없을 것으로 생각되어 진다.

이 두가지 感材에서 共通의인 것은 두께의 比에 있어서 差異는 있지만 모두 高感度層과 低感度層으로 나누어 設計되어져 있다는 사실이다. 그런데 어느 경우에 있어서도 低感度層의 低露光部에서는 거의 現像銀이 生成되지 않는 반면에, 高露光部에선 이 層에 있던 AgX가 거의 전부 現像되어져 있어, 高露光部の 濃度增加를 가져 오므로 結果적으로 感度の 向上에 寄與한다고 볼 수 있지만은 오히려 低感度層은 高感度を 위하기 보다는 畫像의 contrast 向上에 보다 더 寄與하게 된다고 생각되어 진다.

2. 粒狀度: 乳劑中の AgX grain의 size가 작을 경우엔 粒狀度が 낮아진다는 사실은 본 test에서 確認할 수 있었다. 따라서 粒狀度を 낮추려면 AgX grain size를 작게해야 한다는 것은 基本이지만, 高感度を 위해서는 grain size를 크게 하거나, 感光性を 극도로 向上시킨 작은 size의 grains를 大量 利用해야 함은 위에서 살펴 본 바 있다. 그런데 AgX grain size가 크게 되면 粒狀度も 增加된다는 것은 당연한 것이지만은, grain size가 크더라도, 特定한

現像液에 의하여 現像했을 경우엔 現像銀의 size가 오히려 작아 질수 있어서 結果적으로, AgX grain의 形態도 粒狀性和 매우 關係된다는 것을 본 test를 통해서 알 수 있었다. 예컨데 T-max 3200의 경우, 路光後 溶解性現像液인 D-76을 이용하여 現像된 畫像의 粒狀도가 grain의 size에 比하여 훨씬 낮게 나타나고 있으며, Presto 1600의 경우는 grain size가 T-max 3200의 T-grains에 比하여 粒徑이 약1/2정도로 작지만 粒狀도는 오히려 T-max 3200보다 높거나 거의 같아졌다는 사실이다. 따라서 다음과 같은 가정을 할 수가 있을 것이다.

T-max 3200 film의 경우 乳劑중의 T-grains가 露光된뒤 現像處理가 進行되면 주위의 팽윤된 gelatin에 의하여 속박된 狀態에서 원래의 AgX grain size와 비슷한 size의 現像銀을 生成하게 되겠지만 이때의 現像銀粒子的 크기는 D-76과 같은 溶解性現像液의 作用으로 한개의 큰 粒子로 生成되기도 하겠지만, 오히려 몇개의 보다 작은 銀粒子로 분할되어 질 것으로 생각된다. 그것은 現像이 進行될때 AgX grain 全體에서 同時に 均一하게 現像이 進行되지 않고, 現像銀이 生成되어진 곳에서 부터 現像이 進行되기 때문이다. 그 過程을 model로 표시하면 Fig.20과 같을 것으로 생각된다.

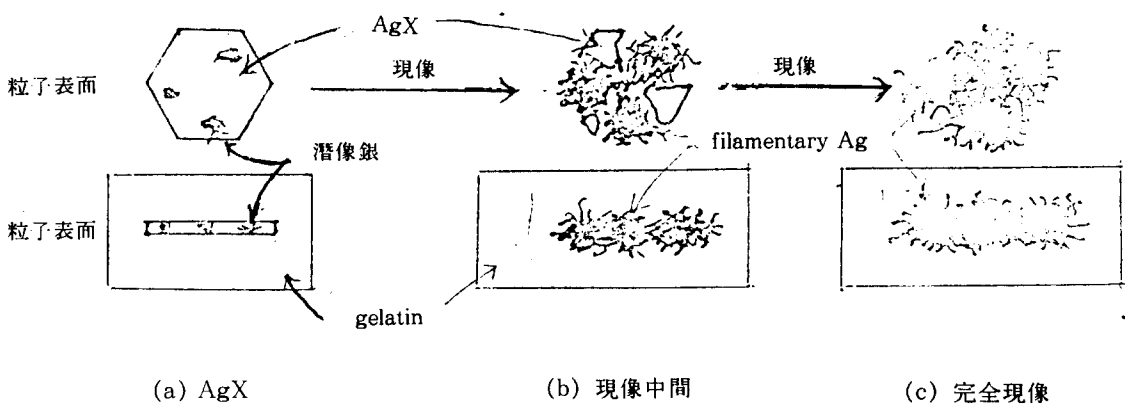


Fig.20 露光된 T-grains의 現像進行에 따라 生成되는 現像銀粒子的 形態

T-grain의潛像部分에서 現像이 개시되면, 이 部分을 中心으로 現像銀이 生成되어 몇개의 銀粒子 units가 생기게 되고, 現像이 더욱 進行됨에 따라 銀粒子 units가 성장하게 되어 粒徑이 더욱 커지게 되고, 두께도 T-grain의 두께보다 더 增加하게 되는 반면, D-76에 의한 AgX의 溶解로 인하여 T-grain(AgX)의 두께는 더욱 얇아지게 되고, 結局에는 T-grain이 파괴되어 질 것으로 생각되어 진다.

그 結果 T-grain에 의하여 生成된 現像銀은 size가 큰 한개의 粒子가 되기 보다는 세분화되어 보다 粒徑이 작은 몇개의 銀粒子의 集團으로 構成되어 진다고 생각되며, 粒狀度 低下의 原因이 된다. 한편 Presto 1600 film의 경우는 粒徑이 T-max 3200 film의 T-grains에 비하여 약 1/2정도로 작고, 두께는 몇 배나 더 두꺼운 AgX grain으로 高感度層이 構成되어 있다. 지금 作圖의 편의상 粒子의 形態가 立方體形態라고 하고, 그 現像過程을 가정해 보면 다음과 같을 것으로 생각된다.

Fig.21에서 AgX grain이 完全히 現像되어졌을 때, 生成된 現像銀粒子의 形態를 보면 T-grains의 경우는 약간 두터워지기는 했어도 板狀인데 반해서 보다 球形에 가까울 것으로 생각되며 그 size는 母體인 AgX grain의 크기와 거의 같을 것으로 생각된다. 따라서 이 경우는 한개의 銀粒子로 될 뿐 粒徑이 보다 작은 몇개의 銀粒子 units로 분할되지는 않을 것으로 보이며, 따라서 粒狀度は 母體의 AgX grain size에 의하여 決定되어 질것으로 推測된다.

그런데 위의 두가지 경우에 있어서 注目되는 것은, AgX grain이 完全히 現像되지 않는 狀態에서 定着을 행하여 處理를 完了하게 되면 어느 경우이던 공히 粒徑이 보다 더 작은 세분된 銀粒子의 生成이 可能해져서 粒狀도가 減少되어 진다는 사실을 確認할 수가 있을 것으로 믿어진다.

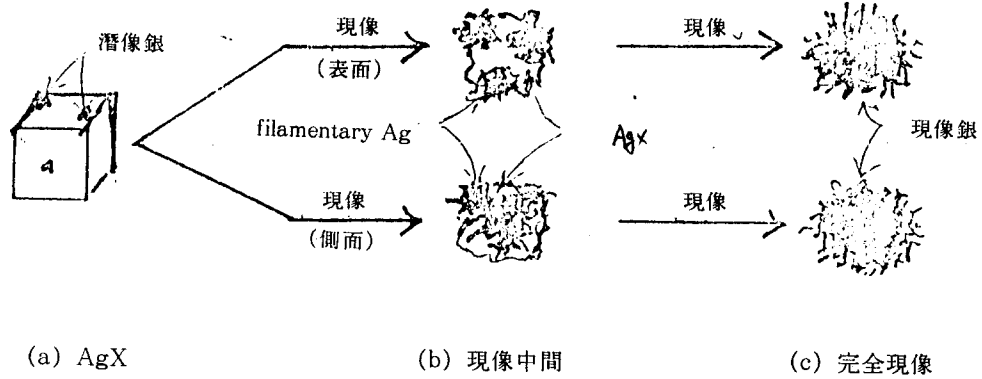


Fig.21 Cubic model의 AgX-grain(exposed)이 現像됨에 따라 生成되는 現像銀粒子的 形態

3. Grain形態와 粒狀도에 대한 結論: 지금까지의 檢討에서 AgX grain의 形態는 粒狀도와 密接한 關係가 있으며 一定한 條件에서 現像에 의하여 쉽게 분할되어져서 粒徑이 보다 작은 몇개의 現像銀粒자를 生成시킬 수 있는 그러한 AgX grain의 形態가 粒狀도를 減少시키는 가장 적당한 形態로 생각할 수 있다. 그러한 AgX grain의 形態가 粒狀도를 減少시키는 가장 適當한 形態로 생각할 수 있다. 그러한 代表的인 形態의 AgX grain이 板狀이면서 그 두께가 매우 얇은 Tabular grain임을 본 test를 통해서 確認할 수 있었다.

한편 grain size가 작으면서 高感度化된 特殊 AgX grain의 경우는 形態보다는 size가 보다 더 粒狀도와 關係된다는 것을 알 수 있었다. 그러나 이 경우에는 AgX의 coating weight의 增加가 必要하게 되며, 그 結果 粒狀도의 增加를 超來할 수 있고 露光效果의 減少를 수반하게 되는 不利함이 따르게 됨을 確認할 수 있었다.

結論的으로 grain의 形態에 따라서는 一般條件에서 粒狀도를 減少시킬 수 있어서 像質의 向上을 企할 수 있음이 確認되었지만, 根本的으로 粒狀도는 여러가지 要因에 의하여 決定되어 지는 것이므로 이에 대한 보다 充分한 研究가 추가되어져야 비로서 보다 粒狀도의 구체적인 改良이 可能할 것으로

생각되어진다. 또한 본 test의 結果로부터 板狀이면서 보다 얇고, 고도로 增減(fog 發生이 생기지않는 範圍)된 보다 작은 AgX grain 形態를 利用할 수가 있다면 보다 高感度乳劑이면서, 粒狀度는 보다 낮아질 수 있어서 像質의 向上에 크게 도움이 될것으로 생각되어진다.

謝辭: 本 研究를 위하여 여러가지 指導와 많은 수고를 하여 주신 日本千葉大學畫像工學科 教授이며, 同大學 感材研究所의 責任者셨던 阪口富彌박사에게 특히 깊은 感謝를 드리며, 또한 同研究所의 다른 教授님과 同工學科 大學院生 및 卒業班學生들의 많은 협조에 대해서도 깊은 사의를 표하는 바이다.

References

- 1) J. M. Sturge: Neblette's Handbook of Photography & Reprography, 7th Ed., Van Nostrand Reinhold Co. 1977, pp 201-205
- 2) T. H. James: The Theory of the Photographic Process, 4th Ed., Macmillan, 1977, pp 618-9
- 3) Kodak: Understanding Graininess and Granularity, Pub. No. F-20, 1977
- 4) Kodak: Graininess and Granularity의 日譯(粒狀性と 粒狀度の 知識) 長瀬産業, 1973
- 5) Kowliski: Applied Photographic Theory, John Wiley & Sons, 1972, pp 418-423
- 6) G. Haist: Modern Photographic Processing Vol. 1, John Wiley & Sons, 1978, p 753
- 7) 阪口富彌: 寫眞乳劑の超薄切片觀察法及び光の應用に關する研究(論文集) 昭和43年, pp 15-30
- 8) G. C. Farnell: The Dependence of Granularity on Coating Weight and Wavelength, RPS, 1981, Vol. 29, pp 70-76
- 9) G. C. Farnell & R. L. Jenkins: The Influence of Development Conditions on Granularity-Density Relations for Black & White Materials, RPS, 1981, Vol. 29, No. 1., pp 39-48
- 10) H. C. Schmitt, Jr. & J. H. Altman: Method of Measuring Diffuse RMS Granularity, Applied Optics, 1970, Vol. 9, No. 4, pp 871-874
- 11) 本弘文: RMS粒狀度について, 日本寫眞學會誌, 53-1, 1990, pp 59-65