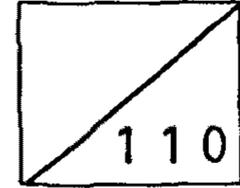


제 1 차년도  
최종 보고서



단기통 가솔린 2행정 성층화 직접분사식  
점화 착화기관의 개발에 관한 연구

A Study on the Development of a Single  
Cylinder Gasoline DISC Engine

연구기관  
한국과학기술원

과 학 기 술 처

# 제 출 문

과학기술처장관 귀하

본 보고서를 "단기통 가솔린 2행정 성층화 직접분사식 점화착화기관의 개발"에 관한 연구의 최종 보고서로 제출합니다.

1992. 7

주관 연구 기관명 : 한국과학기술원 내연기관 실험실

총괄 연구 책임자 : 김 승 수

연 구 원 : 김 기 성

## 요 약 문

### I. 제목

단기통 가솔린 2행정 성층화 직접분사식 점화 착화 기관의 개발에 관한 연구.

### II. 연구개발의 목적및 중요성

고효율 저 배기가스 엔진개발의 일환으로써 2 행정 기관에 대한 연구가 세계 각국의 유명 자동차 회사에서 진행중인데, 기존의 문제점들을 보완하여 자동차에 적합한 엔진개발에 성공할 경우 2 행정기관이 갖고 있는 장점인 높은 비출력, 낮은 마찰및 pumping손실 간단한 구조 등의 경제성 때문에 그 영향은 매우 클것으로 생각된다. 2행정 기관의 개발의 핵심 기술로 고려되고 있는 것은 지금까지 문제가 되었던 short-circuiting에 의한 미연탄화수소의 배출을 줄이기 위해 직접분사식을 채택하는 것인데 짧은시간에 증기화 될 수 있도록 2유체 연료 분사장치를 사용하는 것이 바람직한 것으로 인정되고 있다.

따라서 본 연구에서는 2 행정 DISC 엔진에 적합한 2 유체분사장치를 개발하여 그 특성을 파악하는 것을 목적으로 하였다.

### III. 연구개발의 내용 및 범위

#### 1. 2유체 연료 분사장치 개발

- 고속 운전조건에서도 이용 가능한 응답특성이 빠른 2유체 연료 분사장치 개발

#### 2. 2유체 연료 분사장치의 분무 특성 파악

- 이미지 방법을 이용한 분무 입경 및 속도 측정 방법 개발
- 2유체 분무의 특성 파악

### IV. 연구 개발의 결과 및 활용에 대한 건의

#### 1. 2유체 연료 분사장치 개발

- 고 응답특성 및 분무특성이 좋은 시험용 2유체 분사장치 개발

#### 2. 2유체 연료 분사장치의 분무 특성 파악

- 분무 입경 및 속도 측정에 이용할 수 있는 이미지 시스템의 개발 및 측정 알고리즘 개발: 측정 가능 입경:  $3\mu\text{m}$  이상
- 분무가시화를 통한 2유체 연료 분사장치의 분무 과정 및 공기, 연료 혼합 과정 파악

## SUMMARY

### I. Title

A Study on the Development of a Single Cylinder Dasoline DISC Engine

### II. R & D Objectives and Its Importance

Studies on the development of 2 stroke engine with high efficiency and low exhaust emission are being made progress at various automotive companies in the world

If they succeed in developing this type of engine suitable for automotive engine by solving the problems of the conventional 2 stroke engine, the effect will be probably enormous because of the inherent merits of the 2 stroke engine such as high specific power, low friction and pumping loss and simple structure.

The method of direct injection is generally accepted as the kernel technique of the development of 2-stroke engine for reducing the exhaust emission of unburned HC due to short-circuiting phenomena.

In the direct injection system, the air-assisted injection is known desirable because of the capability of fine atomization.

Thus in this study we have developed twin fluid fuel injection system suitable for 2 stroke DISC engine and investigated the spray characteristics.

### III. Research contents and scope.

#### 1. Development of twin-fluid fuel injection system.

- Development of twin-fluid fuel injection system with fast response characteristics suitable for high speed operation condition.

#### 2. Study on the spray characteristics of twin fluid fuel injection system.

- Development of the drop sizing and velocity measurement technique using the imaging method.
- Investigation of the spray characteristics of twin-fluid fuel injection system.

### IV. Results of the Research and Proposed Utilization.

#### 1. Development of twin - fluid fuel injection system.

- Developing an experimental twin fluid fuel injection system with fast response and good spray characteristics.

#### 2. Investigation of the spray characteristics of twin-fluid fuel injection system.

- Developing an imaging system and image processing algorithm for droplet sizing and velocity measurement with minimum applicable diameter of 4  $\mu\text{m}$
- Investigation of the atomization process of twin fluid fuel injection and air-fuel mixing process through visualization technique

# **CONTENTS**

**Chapter 1. Introduction**

**Chapter 2. Development of twin fluid fuel injection system**

**Section 1. Outline**

**Section 2. Design of twin fluid fuel injection system**

**Chapter 3. Study on the spray characteristics of twin fluid fuel injection**

**Section 1. Outline**

**Section 2. Experiments on the visualization of twin fluid fuel spray**

**Section 3. Development of the imaging system for droplet sizing and  
velocity measurement**

**Chapter 4. Results**

**Reference**

# 목 차

제 1 장 : 서론

제 2 장 : 2유체 연료 분사장치 개발

2-1 : 개요

2-2 : 2유체 연료 분사장치의 설계

제 3 장 : 2 유체 연료 분사장치의 분무 특성 파악

3-1 : 개요

3-2 : 2유체 분무의 가시화 실험

3-3 : 분무입자의 크기 및 속도 측정을 위한 이미지 방법의 개발

제 4 장 : 결론

참고문헌

## 제 1 장 : 서 론

기존의 2행정 기관은 4행정기관에 비하여 밸브기구가 없는 간단한 구조, 매회전 연소에 따른 높은 비출력 및 적은 진동, 적은 마찰 및 pumping 손실, 소형 경량 등의 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고 소기과정에서 신기가 연소가스와 섞여서 배기되는 단락현상에 기인하는 높은 미연탄화수소의 발생과 높은 연료소비율 때문에 자동차용엔진으로 이용되지 못하고 있다. 이러한 단점을 개선하고자 배기공이 닫힌 후 실린더 내에 연료를 분사하는 방법이 오래전부터 연구되어 왔으나 2행정 DISC(Direct Injection Stratified Charge)엔진에 적합한 인젝터의 분무특성은 극히 짧은 시간에 증기화될 수 있도록 평균분무직경이 아주 작아야 하며 적절한 penetration이 되어야 하는데 이러한 특성을 갖는 인젝터의 개발이 미흡하고, DISC엔진의 단점인 저부하 저속에서의 높은 미연탄화수소의 발생 문제에 대한 해결이 이루어지지 않아 답보상태에 있던 중 80년대 중반 Orbital 회사에서 미세한 입자의 분무를 얻는데 있어 좋은 방법으로 알려진 2유체 분사개념을 이용한 인젝터를 개발 2행정 기관에 적용해서 위의 문제해결의 가능성이 제시된 이후 Ford, GM, AVL, IPF 등에서 비슷한 개념을 응용하여 자동차용에 적합한 고효율, 저 배기가스엔진을 개발하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 핵심 부품인 적절한 분무특성을 갖는 2유체 분사기의 개발은 가장 중요한 과제인데 이를 위해서는 2유체 분사기의 분무특성 및 공기연료의 혼합특성에 영향을 미치는 여러 변수들에 대한 연구가 이루어져야 한다.

따라서 본 연구에서는 2행정 DISC엔진에 적합한 2유체분사장치를 실험용으로 개발하여 2유체 분사장치의 특성 및 분무특성을 파악하고 중요한 설계변수의 영향을 알아내서 실 엔진에 적합한 2유체분사장치의 설계 시 유용한 데이터로 쓸 수 있도록 한다. 이때 분무입자의 크기 및 속도 측정은 이미지 방법을 이용한 측정장치를 개발하여 이용한다.

## 제 2 장 : 2유체 연료 분사장치의 개발

### (2-1) 개요

2행정DISC엔진에 적합한 분무 특성은 극히 짧은 시간에 증기화 될 수 있도록 SMD가 10마이크로미터 내외의 미세한 입자의 분무가 이루어져야 하고 유용할 수 있는 짧은 시간내에 연료와 공기가 잘 혼합될 수 있도록 적절한 penetration을 가져야 한다.

위의 특성을 얻기에 적합한 것으로 알려진 2유체분사기를 실험용으로 개발하고 동작조건에 따른 인젝터의 특성 즉 mixing chamber 내의 압력, poppet lift, 분무되는 공기 연료량을 측정한다.

### (2-2) 2유체 분사장치의 설계

2유체분사장치의 개략도는 그림.1과 같으며 그 구성부품 및 동작원리는

아래와 같다. 주어진 연료량을 정확하게 계량해서 혼합실 내에 분사시킬 수 있는 장치로서 상용 MPI인젝터를 이용했고, 공기량을 제어하기 위해서 솔레노이드와 포핏 밸브를 설치했으며 분사된 공기와 연료가 혼합실 내에서 섞이면서 포핏을 통해 분사되는 형태로 되어있고 분사가 끝난후 혼합실 내의 압력이 대기압 상태로 낮아질 수 있도록 venting hole을 설치하였다. Venting hole을 설치한 이유는 포핏이 닫힐때 혼합실 내의 압력은 그 순간의 연소실 내의 압력에 따라 달라질 수 있기 때문이며 MPI인젝터의 양단에 걸리는 압력이 일정치않아 정확한 연료량 제어에 문제가 생길 수있고 배기과정에서 연소실 내의 압력이 낮아지면 포핏이 다시 열릴 수가 있기 때문에 분사가 끝난후 혼합실의 압력을 대기압으로 내려서 이러한 문제가 발생하지 않게 하기 위한 것이다.

2유체분사장치의 동작원리는 먼저 MPI 인젝터를 동작시켜 원하는 양의 연료를 혼합실 내로 분사시킨 직후 공기 솔레노이드를 동작시켜 고압의 공기를 혼합실 내로 유입시키면 혼합실 내의 압력이 높아지면서 포핏이 열리게 되고 공기와 연료가 섞이면서 분사가 이루어진다.

MPI인젝터의 후방압력은 5기압, 공급 공기 압력은 9기압으로 해서 연소실 내의 압력이 4기압 정도로 높아졌을 때에도 분사가 가능하도록 되어 있다.

### (2-3) 2유체 연료분사장치의 특성 실험

2유체연료분사장치에서 분사되는 공기와 연료량을 측정함에 있어 공기량은 연료를 분무시키지 않은 상태에서 공기만 분사시키면서 bubble meter를 이용해서 측정했고, 연료량은 MPI인젝터를 따로 떼어내어 매스 실린더위에 설치해서 측정했는데, 공기와 연료 솔레노이드의 제어신호의 펄스폭에 따른 연료 공기량은 그림.2,3과 같이 나타나는데 펄스폭에 대해서 거의 선형적으로 변함을 볼 수 있다.

2유체연료분사장치의 혼합실 내의 압력은 piezoelectric type 압력센서를 설치하여 측정했고 포핏 리프트는 eddy current type proximity probe를 포핏 앞에 설치하여 측정했는데 4 채널 데이터 획득 장치를 써서 동시에 측정했다.

그림.4는 공기 솔레노이드 제어신호의 펄스 폭이 5ms일때의 혼합실 압력과 포핏 리프트, 공기 솔레노이드 제어신호를 나타내는 것으로서 공기 솔레노이드 제어신호가 동작된후 약 2ms뒤에 혼합실 압력이 급격히 올라가고 뒤이어 포핏이 열려 분사가 이루어 지며 분사가 끝난직후 혼합실 내의 압력은 1.6기압 정도이다.

분사시 혼합실 내의 최대압력은 분사되는 공기량을 크게 하거나 후방 압력 (분무실의 압력)을 높일 수록 높아진다.

## 제 3 장 : 2유체연료분사장치의 분무특성 파악

### (3-1) 개요

연소과정은 분무특성에 따라 많은 영향을 받으며 특히 직접분사식 점화착화기관의 경우 저속 저부하에서는 당량비가 아주 적은 상태에서 운행되는데 성공적인 점화 및 후속연소가 잘 이루어지기 위해서는 연료가 스파크 플러그 주위에 농도가 짙은 상태로 분포해 있는 상황이 바람직하며 그렇지 않을 경우 slow combustion, flame quenching in over lean regions, misfire 등이 발생하여 미연탄화수소의 배출과 심한 사이클 변동이 있게 된다.

따라서 분무특성, 액체연료의 증기화, 공기연료의 혼합과정 등에 대한 상세한 정보가 필요하고 이를 통해서 근본적인 현상 이해 및 엔진 성능 향상을 기할 수 있다.

중요한 분무특성으로는 분무각, 분무입자의 크기분포, 분무입자의 공간분포, 분무입자의 속도, penetration 등과 간헐분사에서 발생하는 분무초기와 말기에서의 dripping 현상, 핀틀의 bounce에 따른 다중분사등을 들 수가 있다.

본 연구의 분무특성 파악 실험에서는 shadowgraph technique을 이용해 분무전체의 형상, penetration, 공기 연료의 혼합특성 등을 파악하고 imaging method를 이용한 분무입자의 크기 및 속도 측정장치를 개발하여

이를 이용해 분무입자의 크기분포, 분무입자의 공간분포, 분무입자의 속도측정 등을 행한다.

### (3-2) 2유체분무의 가시화 실험

#### (3-2-1) 실험장치

2유체분사기에 의한 분무특성중에서 분무각, penetration, 연료 공기의 혼합과정, 전체분무의 형상등을 알아보기 위해 shadowgraph 사진 측정 장치를 그림. 5와 같이 구성하였다. 광원은 light pulse width가 50ns이하인 spark light source를 이용하였고 촛점길이 1.5m의 Schlieren mirror, 105mm Nikon lens, camera, CCD camera등으로 이루어져 있으며 연료와 공기솔레노이드를 제어하고 분무기간중 원하는 시점에서 스파크 광원을 튀기게 하며 CCD camera를 이용할 경우 한 화상을 획득하기 위한 제어회로와 frame grabber가 PC/AT와 인터페이스 되어 있다.

#### (3-2-2) 실험결과

2유체분사기에 의한 분무형태는 공급공기량과 연료량에 따라 다소 다르나 대표적인 형태를 보면 그림. 6과 같이 전개되어 진다. 공기 솔레노

이드를 동작시킨후 약 4ms후에 포핏이 열리기 시작하며 분사 초기에는 주위 공기의 저항이 커서 분무 선단 속도는 약 20 m/s 정도이고 분사각도 포핏의 각도보다 크다.

분무가 계속됨에 따라 분무선단 속도는 약 40 - 60 m/s이고 그림.6-f에서와 같이 종 모양의 hollow cone 형태를 갖다가 포핏 선단에서 약 15mm 하단에서 이러한 형태가 깨어지면서 많은 eddy들이 생성되어 일부는 분무 축에서 반경방향으로 퍼져나가나 상당한 부분들은 분무축방향으로 진행하는 것을 볼 수 있다.

같은 연료량에 대해 분사되는 공기량을 4ms,5ms,6ms등으로 변화시켜본 결과 4ms인 경우 직경이 큰 입자가 다수 나타나며 분무되는 기간이 짧아 분사된 공기와 연료가 분무 축방향으로 멀리가지 못하고 포핏 주위의 반경방향으로 넓게 분포함을 알 수 있었고 6ms인 경우 분사되는 기간이 길어 초기와 중기에는 연료가 많이 분사되나 후기에는 거의 공기만 분사되기 때문에 분무 축 방향으로 인젝터 가까운 곳에는 연료입자가 거의 없게 된다. 위의 결과를 볼때 분사되는 공기량은 분무 입자의 크기 뿐만 아니라 연료의 공간분포에 중요한 인자로서 작용함을 알 수 있으며 따라서 실 엔진에 적용시 부하조건에 따라 적절한 공기량의 선택이 연소성능에 큰 영향을 줄 것으로 생각된다.

같은 공기량에 대해 분사되는 연료량을 변화시켜 본 결과 분무형태나 연료의 공간분포에 큰 차이점은 없으나 분무 입자의 크기에는 상당한 영향을 주는 것으로 보이며 이 영향은 분무입경 측정 실험에서 밝히려고 한다.

### (3-3) Imaging method를 이용한 분무입자의 크기 및 속도 측정

#### (3-3-1) 개요

분무 입경 크기를 측정하기 위한 방법으로는 여러가지가 시도되었으며 크게 분류하면 다음과 같이 세 부류로 나눌 수 있다.

##### 1. Mechanical

- a. Drop collection on slides or in cells
- b. Molten-Wax and frozen drop techniques
- c. Cascade Impactors

##### 2. Electrical

- a. Charged-wire and hot-wire techniques

##### 3. Optical

- a. Imaging - photography, holography
- b. Non-imaging - single particle counters, light scattering, diffraction method

분무입경의 측정은

- 1. The very large number of drops in a spray
- 2. The high and varying velocity of the drops
- 3. The wide range of drop sizes encountered in most practical sprays ( the ratio of the largest to the smallest drop diameter often exceeds 100:1)
- 4. The changes in drop size with time through evaporation and coalescence

등의 이유 때문에 많은 어려움이 있으며 각 측정 방법은 제각기 장점과 한계성

을 갖고 있으므로 측정하고자 하는 분무 특성에 따라 적절한 방법을 이용해야 한다.

일반적으로 전체분무의 평균직경이 분무입자의 크기분포를 대표하는 것으로 많이 이용되고 있는데 이를 측정하기 위한 방법으로는 Fraunhofer diffraction을 이용한 Malvern particle sizer가 많이 사용되고 있다.

Imaging method는 H.C. Simmons가 기존의 사진 필름을 사용하는 방법대신 TV 카메라와 500ns Xenon flash lamp 및 in-focus droplet을 선별 할 수 있는 comparator circuit을 이용하여 분무입경 측정장치를 구성해서 가스터빈용 노즐의 분무특성 측정에 사용 한 후 시스템구성에 필요한 기기들의 성능 향상에 따라 많은 발전이 이루어져 왔다[1,2,3,4,5,6,7,8]. 특히 고속변환이 가능한 Analog to Digital converter와 기억용량이 크고 계산속도가 빠른 PC의 보급과 pulse duration이 10ns인 pulsed laser의 개발로 real time image processing이 용이해지고 보다 정확한 측정이 가능 해졌는데 imaging method는 다른 방법과 비교해서 다음과 같은 중요한 장점을 가지고 있다.

1. Simplicity, relative inexpensiveness of imaging apparatus and flexibility
2. Capability of detecting and analyzing nonspherical particles
3. Derivation of particle velocities by using double or multiple exposures
4. The visual evidence that may invalidate measurements by other techniques eg. due to multiple scattering

그리고 특히 자동차용 엔진에 이용되는 인젝터와 같이 pulsed mode로 동작되는 경우 분무초기와 말기에서 생길 수 있는 dripping현상, bounce of the pintle, multiple injection 등을 직접 볼 수 있고, 노즐 선단 부분에서의 fuel atomization

현상을 직접 관찰할 수 있다는 점등은 light scattering method로는 할 수 없는 imaging method만의 장점이다.

그러나 지금까지 개발된 imaging system은 대체로 직경이 약 7마이크로미터 이상인 분무 입경의 측정이 가능하고, boundary diffraction gradient가 분무입경 측정에 미치는 영향, geometric nonlinearities of vidicon system, depth of field determination, in-focus criteria 등에 관한 확실하고 객관적인 기준이 부족한 점이 많고 따라서 표준화 된 캘리브레이션 절차가 확립되지 못한 점이 큰 단점으로 알려져 있다.

본 연구에서는 2행정 DISC형 자동차용 엔진에 적용하기 위해 제작한 Air-Assisted injector의 분무특성 즉 입자 크기분포, 연료의 공간 분포, 입자속도등을 측정하기 위해서 이미지 시스템을 구성 제작하고 입자의 속도와 크기의 자동 측정을 위한 이미지 프로세싱 알고리즘을 개발하며 문제시 되고 있는 boundary diffraction gradients, depth of field determination and in-focus criteria 등에 대해 캘리브레이션 기술및 적절한 기준을 제시하려고 한다.

### (3-3-2) 이미지 시스템의 구성

Imaging system의 구성은 그림.7과 같이 되어있는데 주요 구성 부품으로는 spark light source, CCD camera, 105mm lens, filter, frame grabber, control board, PC 등을 들수 있다. Spark light source는그림.8의 구조로 되어 있는 것으로 V.TEK 회사에서 제작한 것을 수정한 것으로 분무입자의 속도를 측정할 수 있도록

double exposure가 가능하며 2개의 10nF의 콘덴서에 10KV로 충전되어 있던 에너지가 극히 짧은시간에 방전되도록 bridge spark gap 이 첨가되어 있는데 half width light duration이 50ns이내인 것으로 추정된다. 일반적으로 double exposure는 2개의 별개의 광원을 광학부품을 써서 동일 축으로 광 경로가 형성되도록 하는 방법이 이용되는데 본 spark light source는 2개의 spark gap을 5mm정도의 거리를 두고 광경로의 축상에 일렬로 배치해서 복잡한 alignment가 필요없는 간단한 구조로 되어있으며 2 spark 간의 시간은 1 $\mu$ s단위로 조절할 수 있도록 되어있다. 실제로 본 실험에 이용되는 2 spark간의 시간 간격은 1-3  $\mu$ s로써 분무입자의 속도와 크기에 따라 조절할 수 있다.

CCD camera는 TOSHIBA의 IK-536을 이용했는데 취상면적이 6.55(H)x4.87(V) mm이고 유효화소는 682(H)x492(V)이며 gamma 특성은 1로하여 각 image pixel의 gray level이 입사되는 광에너지에 비례하도록 해서 사용했다. 주사는 2:1 interlace 방식이며 NTSC방식에 준거하여 영상출력이 이루어진다.

Frame grabber는 Data Translation Inc.의 DT2853을 사용했으며 이것의 해상도는 512x480이며 본 장치에서는 원하는 시간의 화면을 잡아서 데이터 file로 저장하는 데에 이용했다.

Camera lens는 Nikon의 105 mm 렌즈를 사용했으며 접사를 통해 6배 확대된 image가 image plane에 맺히도록 했고 가시광선의 단파장 영역을 주로 통과시키는 Nikon의 B12 필터를 써서 보다 좋은 명암대비를 갖는 화상을 얻었다. Control board는 PC/AT 와 인터페이스되어있으며 본 실험에 이용되는 2유체 분사기의 공기 연료 솔레노이드와 ultra short spark light source, Frame grabber의 외부 트리거 신호를 제어한다.

그림.9는 Air-Assisted Injector, ultra short spark light source, CCD camera, Frame grabber를 동기시켜 분사한 후 원하는 시간에 test volume의 image를 획득하는 과정을 도시화한 것이다.

### (3-3-3) 캘리브레이션

Imaging method를 이용한 분무입경의 측정은 구성된 시스템에 대한 정확한 calibration과 depth of field, in-focus droplet selection에 대한 객관적이고 신뢰성 있는 기준이 확립되어서 이에 준거한 algorithm으로 automatic image analysis가 행해져야 한다.

Calibration을 위해서는 기준 reticle이 필요하기 때문에 원형을 1/400로 축소해서 유리에 얇은 Chrome film을 photoetching할 수 있는 mask plate장치를 사용해서 직경이 1.8 -71.6 $\mu\text{m}$ 내에 있는 21종류의 disk를 유리판에 photo etching한 reticle을 만들었으며 정확한 크기는 고배율 광학현미경을 이용해서 측정했다.

실제의 분무입자는 구형이기 때문에 2차원의 disk를 캘리브레이션에 이용하는 것이 약간의 오차를 줄 수 있으나 광원과 receiving lens가 동일 축상에 있을 때 receiving lens가 받는 불투광 물체에 의해 산란된 빛은 물체를 투사한 2차원 상에 의해 산란된 빛과 거의 같다고 알려져 있고 측정하고자 하는 입자의 크기가 피사계 심도에 비해 훨씬 작기 때문에 이로 인한 오차는 무시할 수 있다고 본다.

지금까지 이미지 방법을 이용한 입자 크기 측정은 입자의 크기가 10마이크로미터 이상인 경우에 주로 이용되었는데 이보다 작은 경우 회절현상에 의해 배

경과 이미지 간의 콘트라스트가 급격히 나빠지기 때문이다.

그런데 본 연구에서 측정하고자 하는 2유체분사장치에 의한 분무는 직경이 10마이크로이내인 입자가 상당한 부분을 차지하기 때문에 이미지 방법을 이용하기 위해서는 해상도가 뛰어난 화상획득 장치 및 이의 처리를 위한 알고리즘 및 캘리브레이션에 대한 연구가 필요하다.

화상처리를 이용한 분무직경 측정에서 이미지 콘트라스트를 높이기 위해 여러가지 필터링 기술이 이용되나 그렇게 할 경우 회절효과나 focusing여부에 관한 중요한 정보를 없애는 결과가 되어 적합하지 않기 때문에 그러한 방법들을 이용하지 않고 원래의 이미지를 잘 분석하여 입자의 실 직경과 피사계 심도 내에 들어있는 것인지의 여부를 판별하는 방법을 개발했다.

실 직경과 피사계 심도내에 들어 있는 것인지의 여부를 판별하기 위해서는 어떤 기준이 있어야 하는데 이러한 기준을 렌즈에 관한 이론을 적용하여 확립한다는 것은 극히 어려운 일로 가능성이 희박하기 때문에 먼저 캘리브레이션 reticle을 물체평면근처에서 30마이크로미터씩 움직여 가면서 화상을 획득하여 중요하게 생각되는 2가지 변수에 대해 어떻게 변화하는지 알아보았다.

이때 광학계(배율, f#)와 광원은 모두 실제 분무측정에 이용할 상태로 고정시키고 이를 이용해 reticle의 이미지를 얻었다.

도입한 2가지 변수는 Rmb와 Dc%로서 다음과 같이 정의 되었다.

$$Rmb = (LBG - OMG)/LBG$$

Dc% : diameter based on the c% threshold level

where LBG : local background level

OMG : object minimum gray level

$$c\% \text{ threshold level} = \text{LBG} - (c/100) * (\text{LBG} - \text{OMG})$$

위와 같은 변수를 생각한 근거는 그림.10에서 볼 수 있듯이 물체 평면에 정확하게 위치한 물체라도 그 크기에 따라 회절직경보다 큰 물체는 그 이미지의 최소 gray level이 광학축 level까지 떨어져서 Rmb가 1이 되지만 작은 물체는 Rmb가 1 이하이고 직경이 4마이크로미터 정도되는 원판의 경우 0.3정도로 작아지기 때문에 일부 선행자들이 적용한 것과 같이 적절한 thresholding level을 하나 정해 물체를 인식하고 실제의 크기를 정할때에도 문제가 있고 광원의 강도에 사이클 변동이 있거나 분무에 의해 빛이 가리는 정도에 따라 백그라운드 레벨이 다를 수 있으므로 많은 오차가 발생할 수 있기 때문이다.

물체의 크기와 위치에 따라 어떠한 이미지가 얻어지며 어떠한 특성을 나타내는가를 보기 위해 reticle을 30마이크로미터씩 이동시키면서 화상을 얻어서 각 물체에 대한 Rmb와 D30%-D70%,D50%를 파악하였다. 그 결과 reticle이 물체평면 주위에 있을때 D50%와 실크기간의 선형성이 아주 잘 보장됨을 알 수 있었으며 이 특성을 이용하면 어떤 입자의 이미지로 부터 실제 크기를 정확하게 유추할 수 있다.

그림.11은 calibration reticle의 D30%와 D70%를 나타낸 것인데 in-focus된 경우 reticle의 크기에 따라 D30%-D70%는 약간의 차만 있음을 보여준다.

이미지 방법으로 입경을 측정할 때 다른 하나의 중요한 문제는 입자의 크기에 따라 피사계 심도를 달리 정해야 하고, 어떤 입자의 이미지로 부터 이 입자가 피사계 심도 내에 있는 것인지 아닌지를 구분해야 하는 것인데 지금까지 이점에 대해 명확한 해결책이 제시되지 못한 것으로 알고 있다. 따라서 이에 대한 기준을 마련하고자 각각의 reticle에 대해서 위치와 Rmb와의 관계(그림.12)및 D30%-

D70%의 관계(그림.13)를 도시해 보았다.

그림.13을 보면 reticle의 크기가 작을 때는 reticle의 위치가 물체평면에서 멀어져 갈때 Rmb값이 빨리 감소하나 reticle의 크기가 커지면 천천히 감소하게 되며, 단조감소가 깨지는 위치에서의 Rmb값의 그 reticle의 최대 Rmb에 대한 비는 reticle의 크기가 커지면 증가하는 것을 알 수 있다. 이 결과를 놓고 볼때 물체의 크기가 작은 경우 Rmb를 기초로하여 피사계 심도를 정하면 바람직하나 물체가 커지면 적합하지 않음을 볼 수 있다.

어떤 reticle이 가장 포커싱이 잘 이루어졌을 때의 Rmb의 70%이상이 되는 영역을 그 물체의 피사계 심도로 정하면 그림.14와 같이 나타나는데 완만한 커브가 됨을 알 수 있다. 이 기준을 적용할 수 있는 한계는 갑작스럽게 경향을 벗어나는 곳에서인데 이는 최대 Rmb의 70%되는 값이 단조감소가 깨지는 부분에서의 Rmb값 아래로 되는 점이다. 본 광학계에서는 36.1마이크로미터와 41.7마이크로미터 사이에서 이러한 현상이 일어나기 때문에 이 기준은 36.1마이크로미터까지만 적용한다.

그림.13을 보면 반대로 작은 물체의 경우 D30%-D70%로 기준을 정하기에 적합하지 않으나 큰 물체의 경우 물체평면에서 멀어짐에 따라 D30%-D70%값이 크게 증가해서 적합함을 알 수 있다.

앞서 언급한 Rmb를 기준으로 했을때 36.1마이크로미터인 레티클의 피사계 심도는 0.87mm가 되는데 이 정도면 적절한 값이기 때문에 36.1 마이크로미터 이상은 같은 피사계 심도로 정했고 그렇게 했을 경우 피사계 심도 내에 있는지를 결정할 D30%-D70% 임계값은 그림.15와 같이 완만한 커브로 나타난다.

이와같이 2가지 기준을 물체가 큰 경우와 작은 경우에 달리 적용해서 피사계 심도를 정했을때 그 영역 내의 이미지들로부터 D50%를 구해서 도시한 것이 그

림.16이며 선형특성이 잘 보장되고 오차한계는  $3.9\mu\text{m}$ 의 경우  $0.7\mu\text{m}$ ,  $72\mu\text{m}$ 의 경우  $1.5\mu\text{m}$ 에 들을 볼수 있다.

이러한 선형특성은 위에서 정한 피사계 심도에서 상당히 벗어나도 별 차이가 없기 때문에 어떤 입자의 이미지에서 D50%를 구해 실제 크기를 유추해서 이를 실제 크기로 간주하고 피사계 심도를 정하기 위한 기준값을 끌어내는데 이용해도 이로 인한 오차는 극히적일 것으로 생각된다.

#### (3-3-4) 이미지 프로세싱

이미지 프로세싱 알고리즘은 그림.17과 같이 구성되어 있으며 그 과정은 다음과 같다. 원 이미지의 histogram을 분석하여 linear scaling method를 이용해 노말라이징을 행한 후 세그멘테이션을 행한다. 세그멘테이션 과정은 물체로 간주될 수 있는 것들을 인식하는 과정으로서 큰 물체와 작은 물체를 효과적으로 인식할 수 있도록 2단계 segmentation을 행하는데 첫 단계에서는 큰 물체를 인식하고 두 번째 단계에서는 작은 물체들을 인식한다.

세그멘테이션 과정에서 인식된 물체에 대해서 local background level, D50%, D30%-D70%, Rmb등을 구해서 캘리브레이션 결과에서 얻어진 D50%와 실제 크기간의 선형관계로 부터 실제 크기를 구하고 이로부터 Rmb, D30%-D70%를 기초로한 in-focus 기준을 적용하여 depth of field 내에 들어있는지 여부를 판정한다.

Double exposure를 이용한 속도 측정 알고리즘은 그림.18과 같으며 물체의 이미지가 첫 번째 광펄스에 의해서 생긴 것인지 아니면 두 번째 광 펄스에 의해 생긴

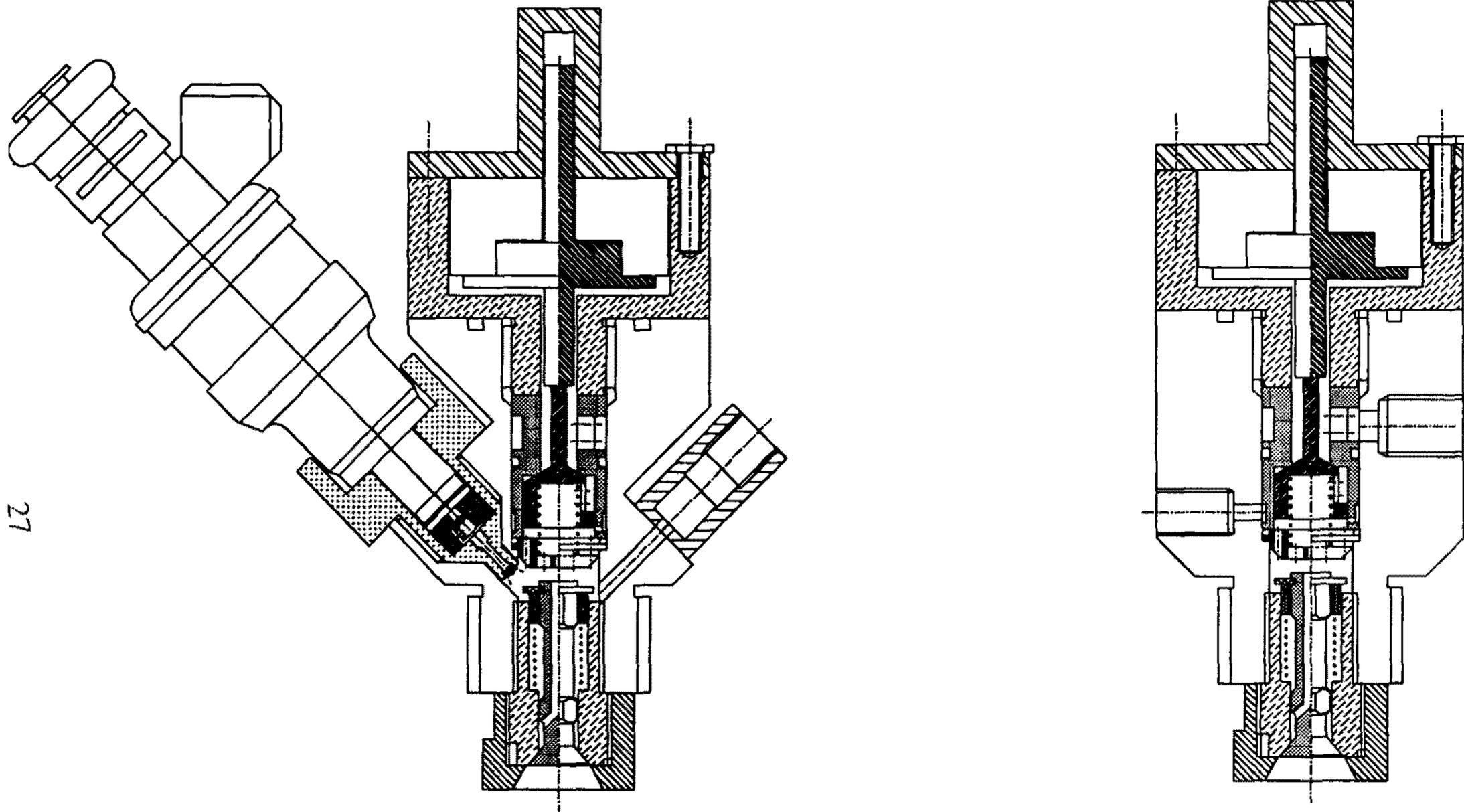
것인지 이미지만 보아서 알 수 없기 때문에 먼저 속도의 두 성분중 한 성분의 방향을 입력 데이터로 주게 되어 있으며, test volume이  $1\text{mm}^3$  이하이기 때문에 비슷한 크기의 입자는 비슷한 속도를 갖는다고 가정하여 입자의 크기에 따라 몇 개의 그룹으로 나눈 후 그 그룹에서 대표되는 속도를 구해서 이를 바탕으로 대응되는 이미지를 찾아서 개개의 속도를 알아내도록 알고리즘이 구성되어 있다. 그림.19는 위의 알고리즘에 의해 이미지 프로세싱한 결과를 나타내는 것으로 대응되는 이미지를 잘 찾음을 알 수 있다.

## 제4장 : 결 론

- (1) 2행정 DISC엔진용 2유체분사기를 시험용으로 개발해서 응답성, 공기 연료량의 정확한 제어등에 관한 실험을 한 결과 엔진회전속도 6000rpm정도까지는 이용가능한 특성을 갖는 것으로 나타났다.
- (2) 2유체분사기의 분무상황을 shadowgraph를 찍어서 관찰한 결과 분무선단속도는 초기에는 20m/s정도, 중기에는 40-60m/s로 나타났고 분사되는 공기량에 따라 공기와 연료의 혼합과정이 큰 차이를 보였다.
- (3) 이미지 방법을 이용한 분무입경의 자동측정 시스템을 구성하였고 지금까지 문제시 되었던 캘리브레이션 절차를 확립하였다.
- (4) 이미지 방법을 이용한 분무입경및 속도측정 알고리즘을 개발해서 입경이 최소 3마이크로미터인 입자의 측정이 가능했고 double exposure interval을 1 $\mu$ s까지도 가능하게 됨에 따라 고속의 입자속도 측정을 가능하게 했다.

## 참고문헌

- (1) H.C. Simmons and D.L. Lopera " A high-speed spray analyzer for gas turbine fuel nozzles" presentation at ASME Gas Turbine Conf. (March 1969)
- (2) C.S.Ow and R.I. Crane " Pattern recognition procedure for a television minicomputer spray droplet sizing system" Journal of the Institute of Energy,119,September,1981
- (3) B.A.Weiss, P.derov, D.Debiase, H.C. Simmons " Fluid particle sizing using a full automated optiacl imaging system" Optiacl Engineering/September Otober (1984),Vol.23,No.5
- (4) G.P. Bertollini, L.M. Oberdier,Y.H. Lee " Image processing system to analyze droplet distributions in sprays" Optical Engineering/May/June 1985, Vol.24,No.3
- (5) K.D, Ahlers , D.R. Alexander " Microcomputer based digital image processing system developed to count and size laser-generated small particle images" Optical Engineering /November/December 1985,Vol.24.,No.6
- (6) R.L. Lo, E.J. Matysiewicz " Fuel injector atomization measurement using laser imaging techniques" SAE Trans. 851673
- (7) G.A. Hotham " Evaluating fuel injectors with high speed laser imaging techniques SAE paper 861390
- (8) A.M. Bardreldin " Real time analysis of fuel sprays "  
CH2396-0/87/0000-0622,1987 IEEE



27

Fig.1 The structure of the air-assisted injector

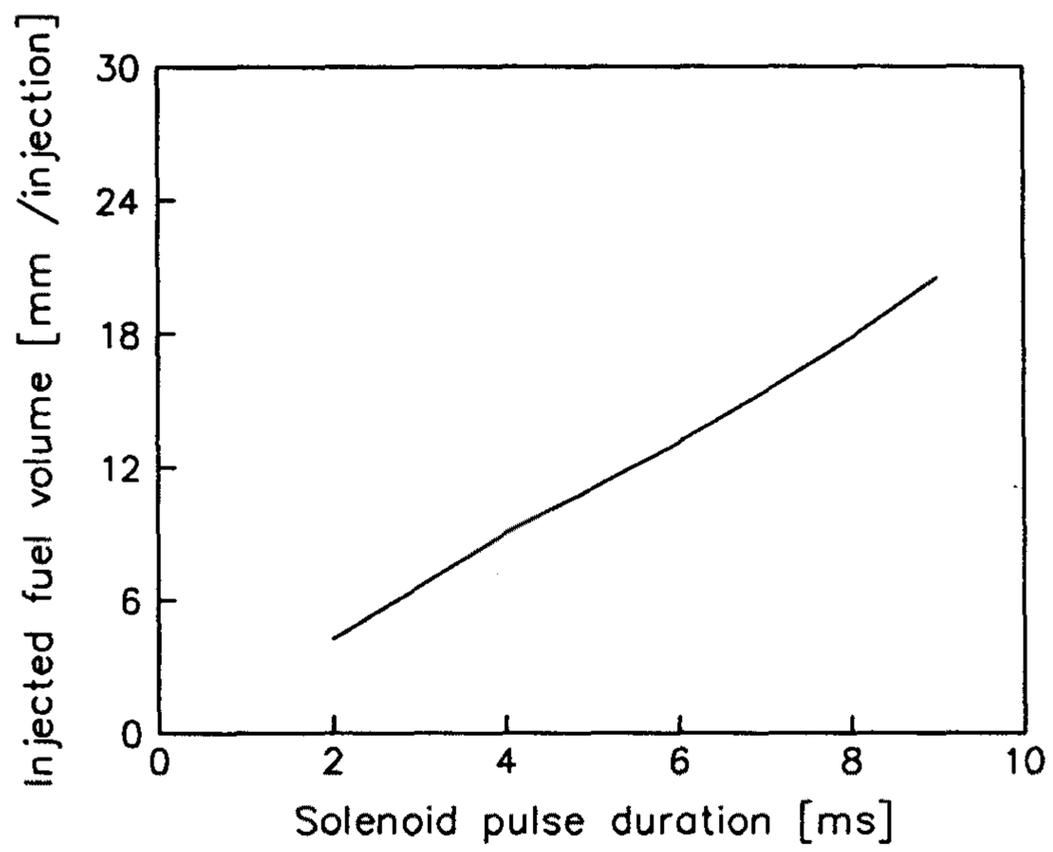


Fig.2 Injected fuel volume vs. solenoid pulse duration

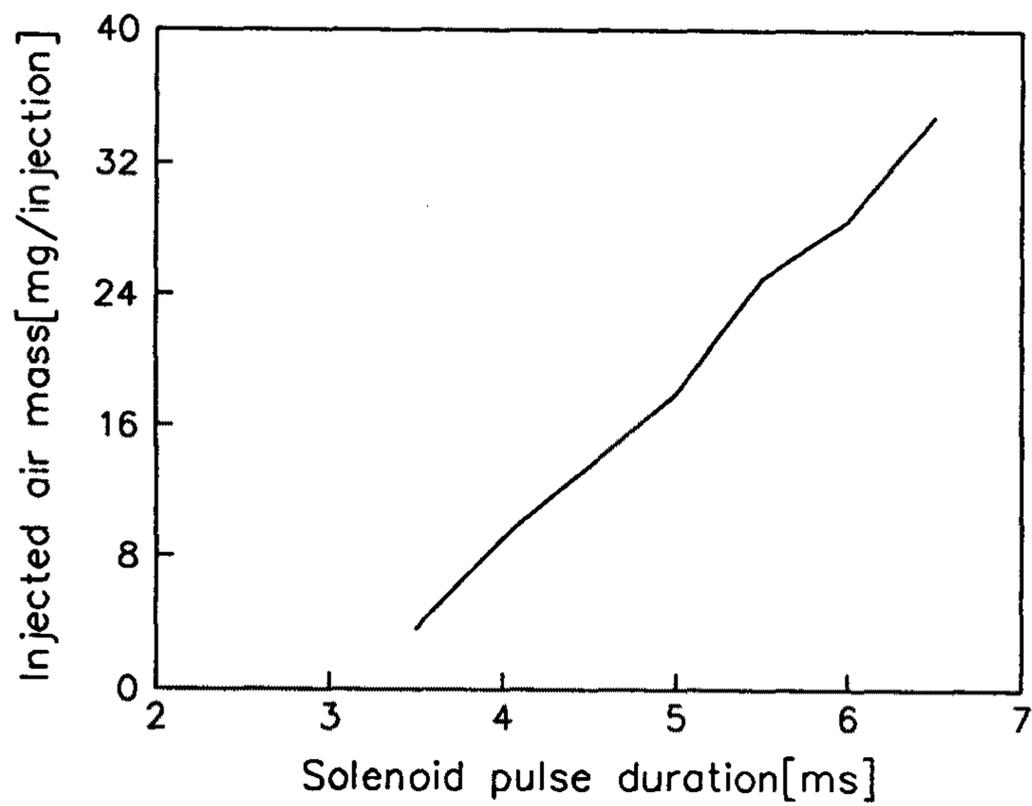


Fig.3 Injected air mass vs. solenoid pulse duration

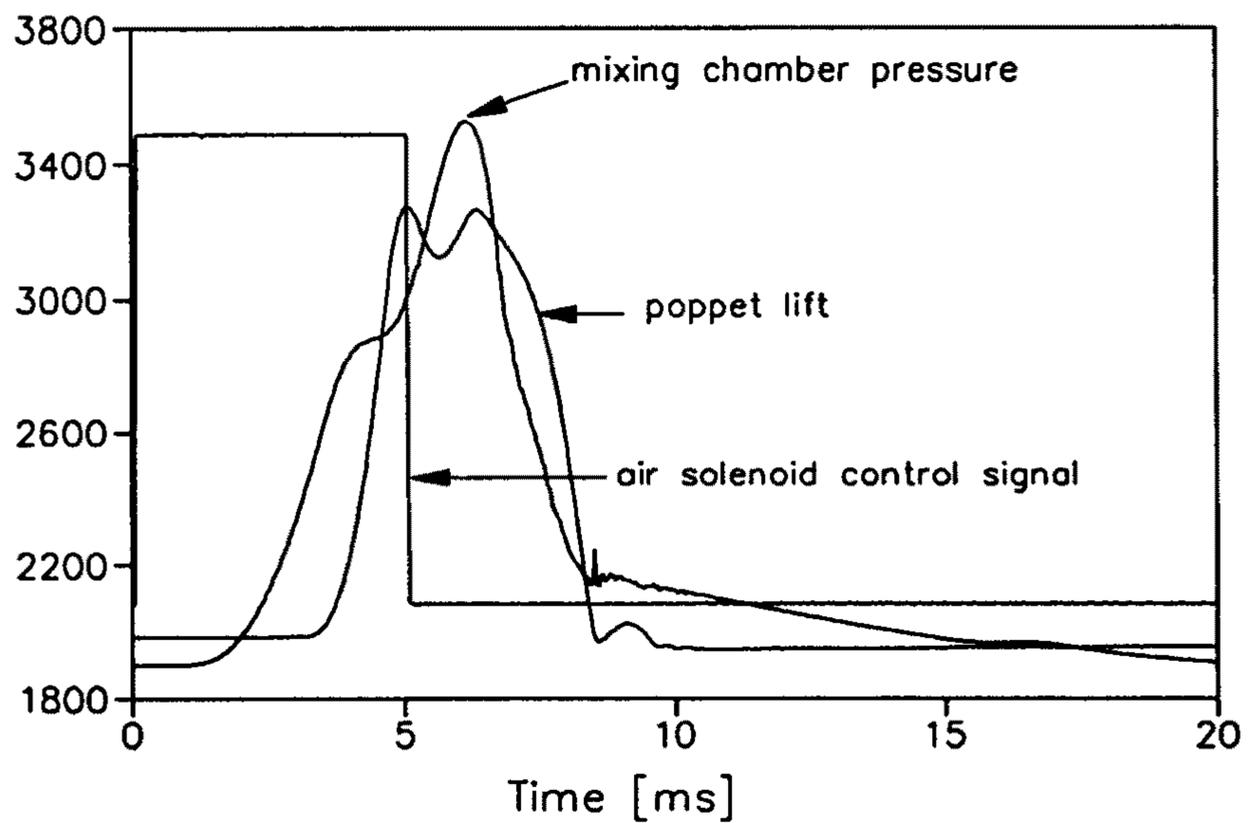


Fig.4 The time history of the mixing chamber pressure, poppet lift and solenoid control signal

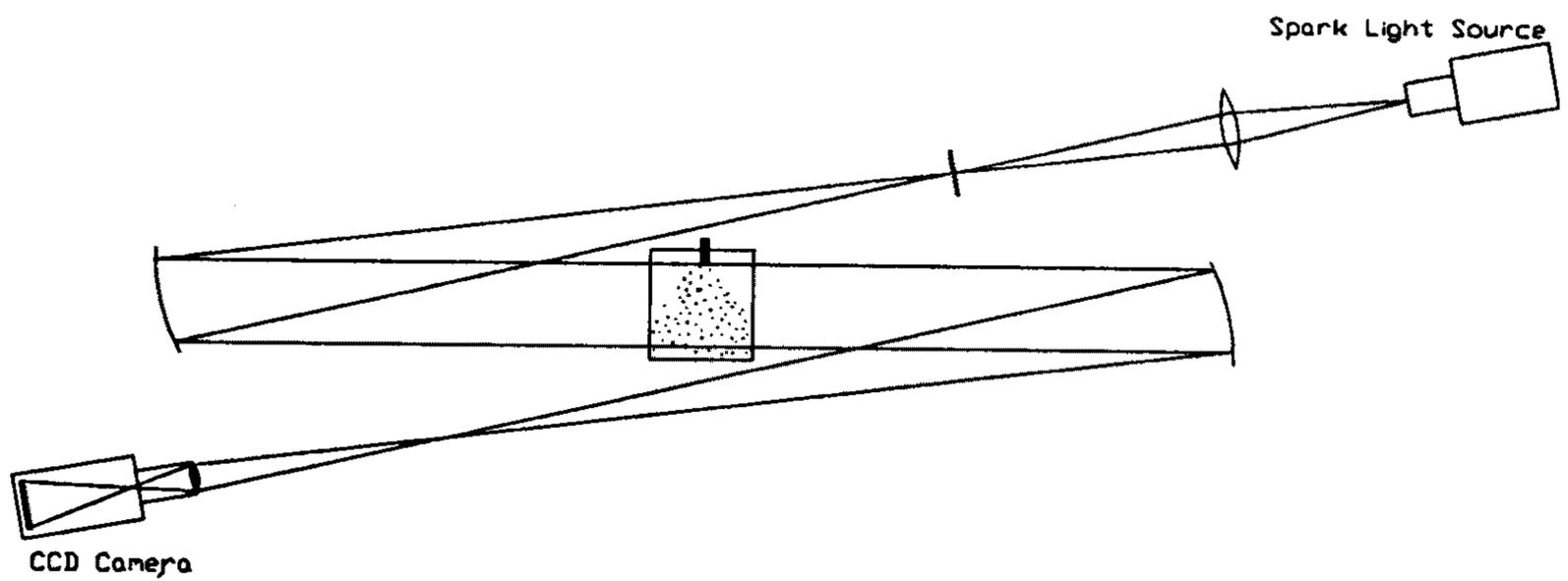


Fig.5 Shadowgraph system



(a)



(b)



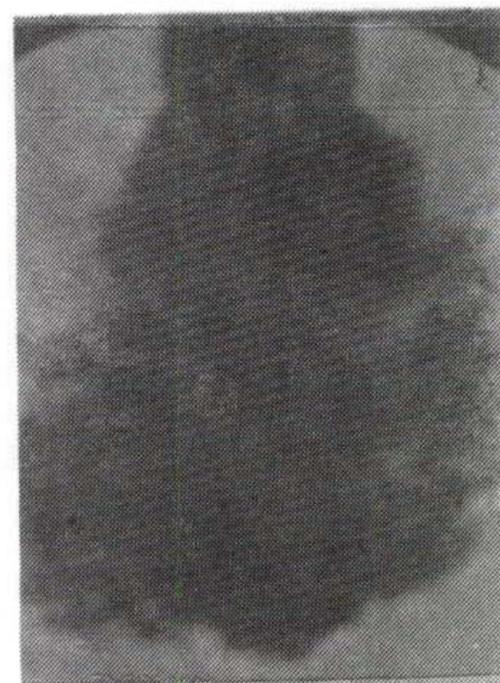
(c)



(d)



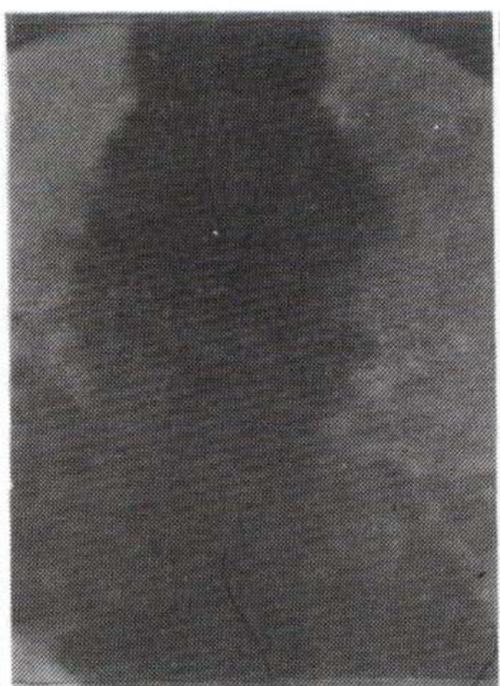
(e)



(f)



(g)



(h)



(i)

Fig.6 Sequential procedure of air-assisted injection

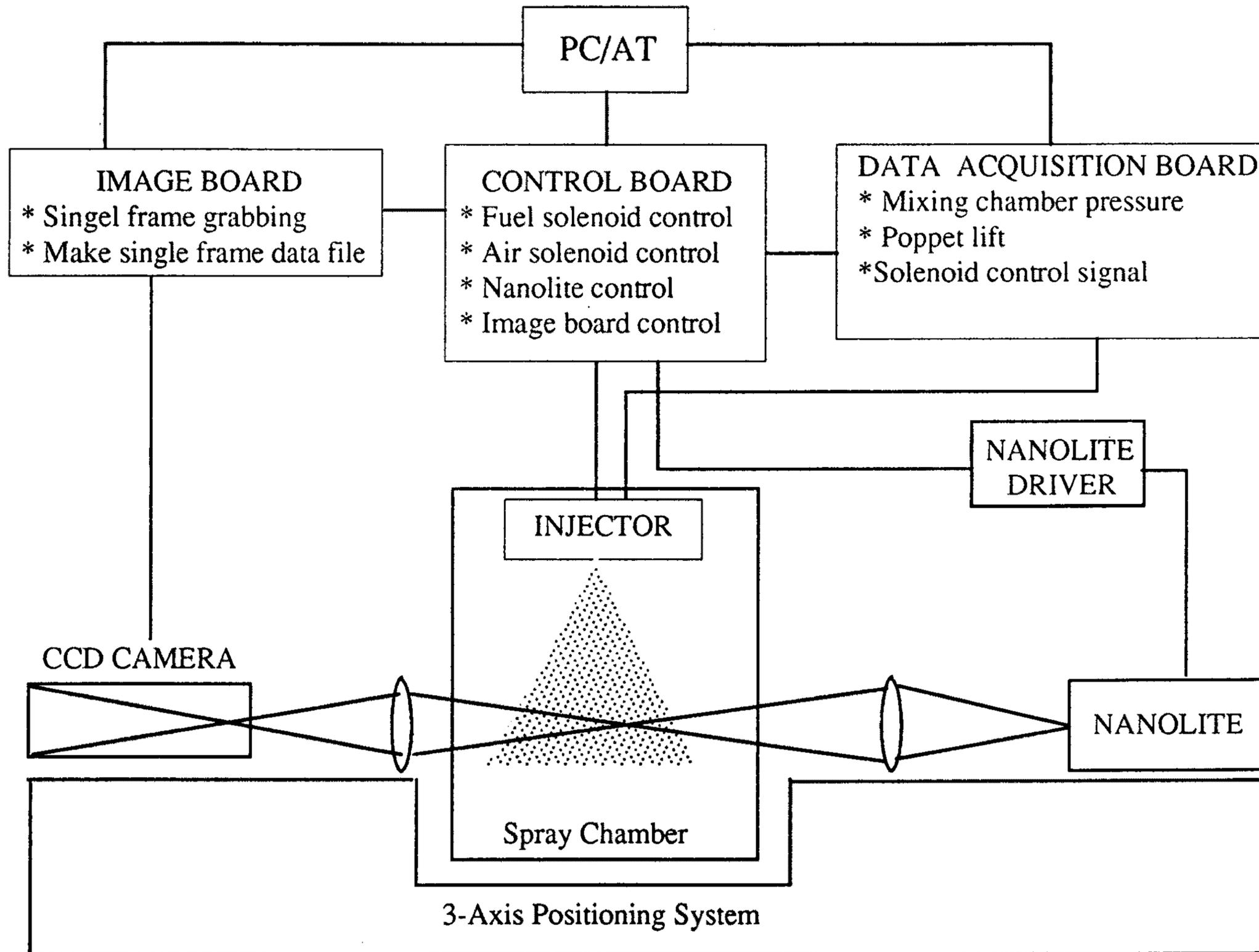


Fig.7 Block diagram of imaging spray analyzer

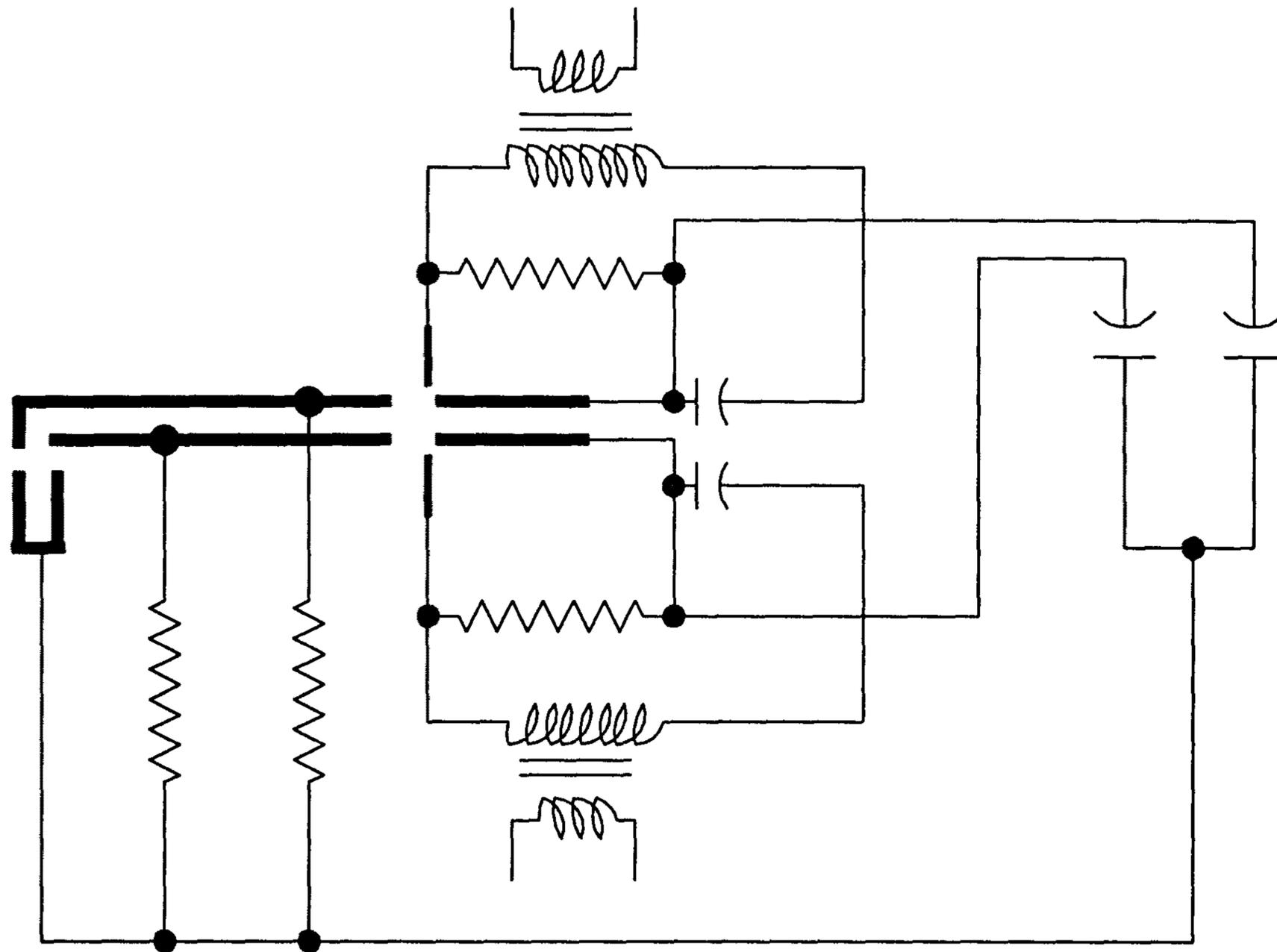


Fig.8 Schematic diagram of the spark light source circuits

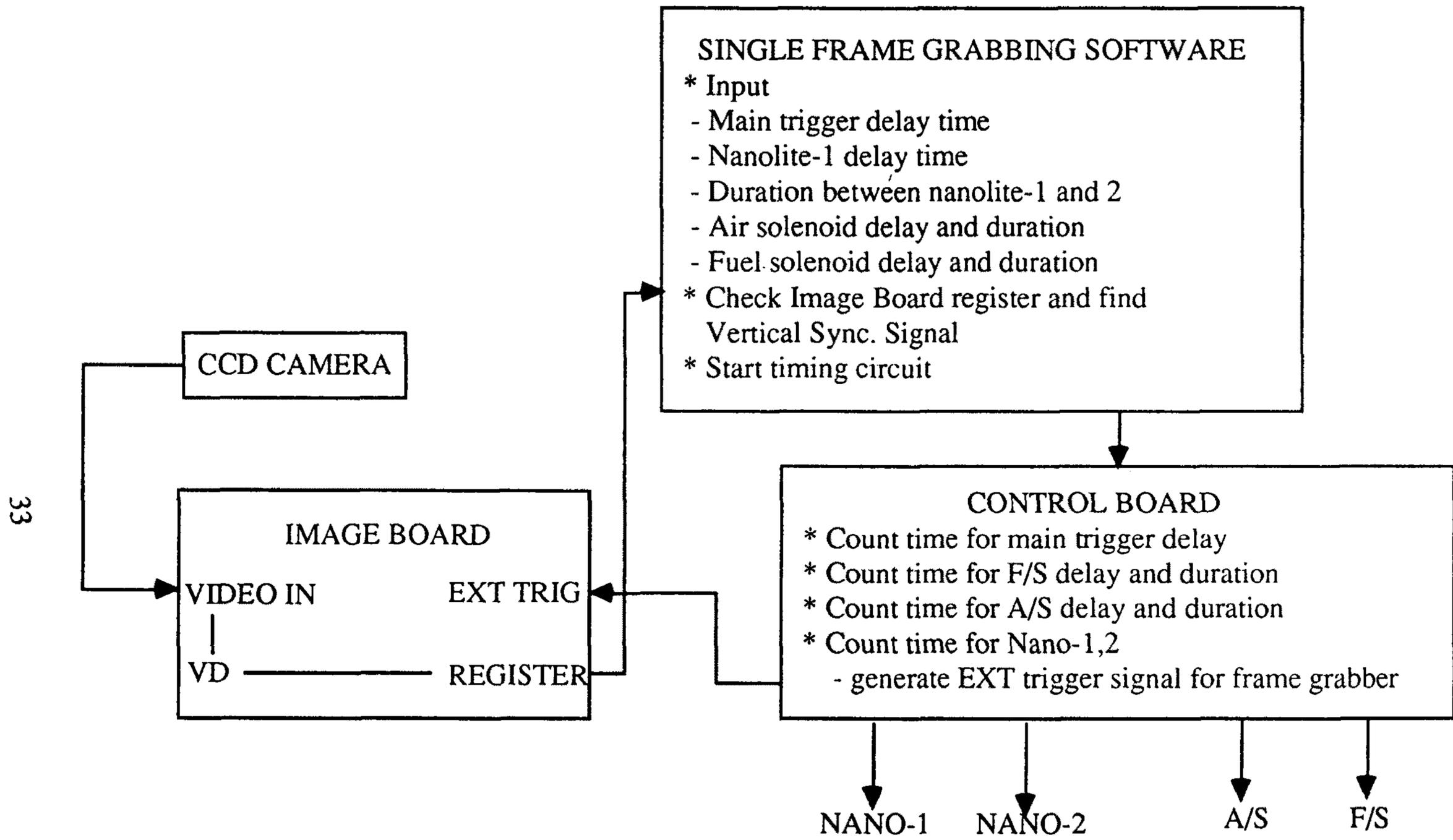


Fig.9 Synchronization of injector control signal, nanolite driving signal and frame grabber control signal

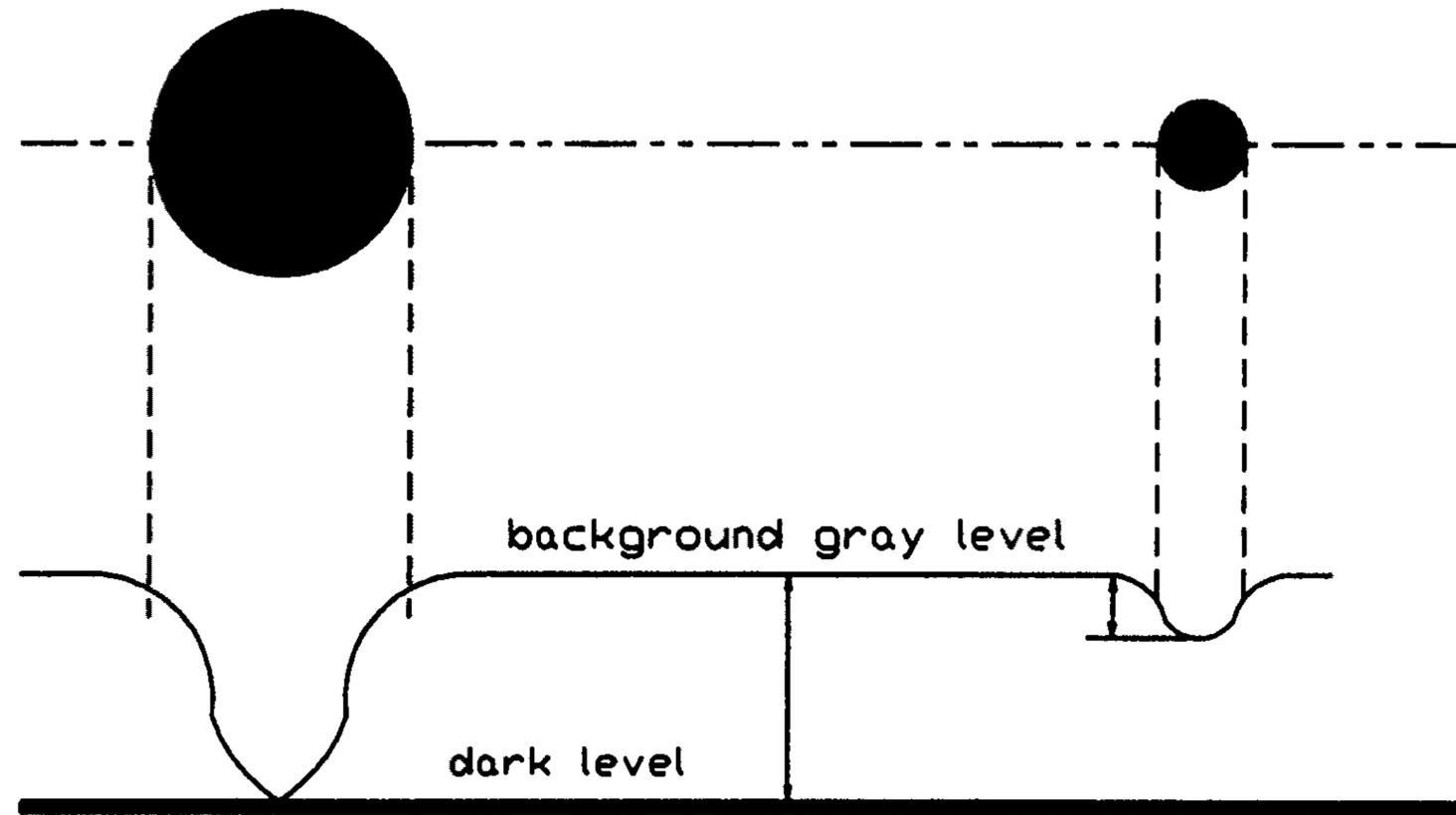


Fig.10 The illustration of the gray level of the objects with different sizes

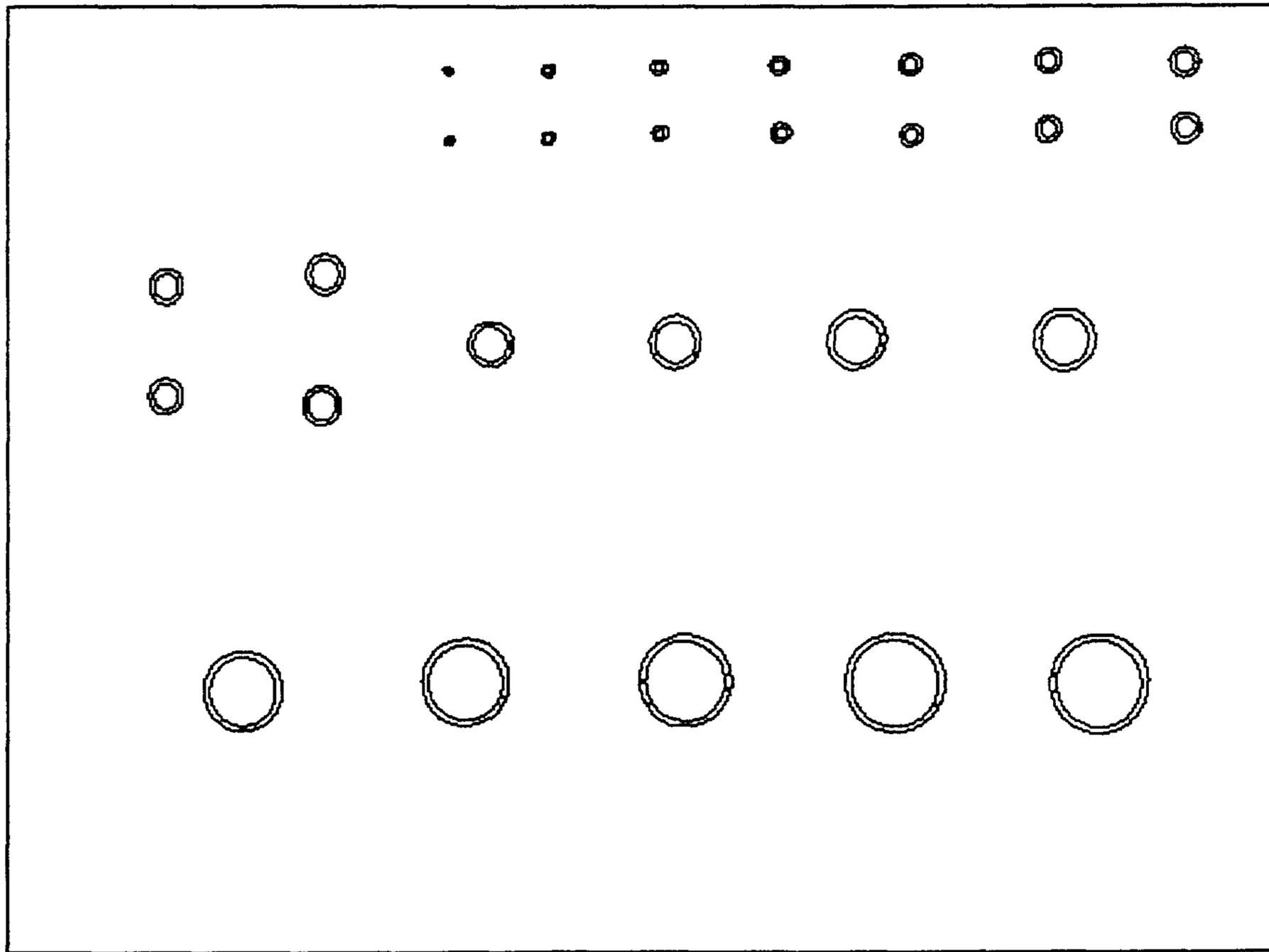


Fig.11 D30% and D70% image of the calibration reticles

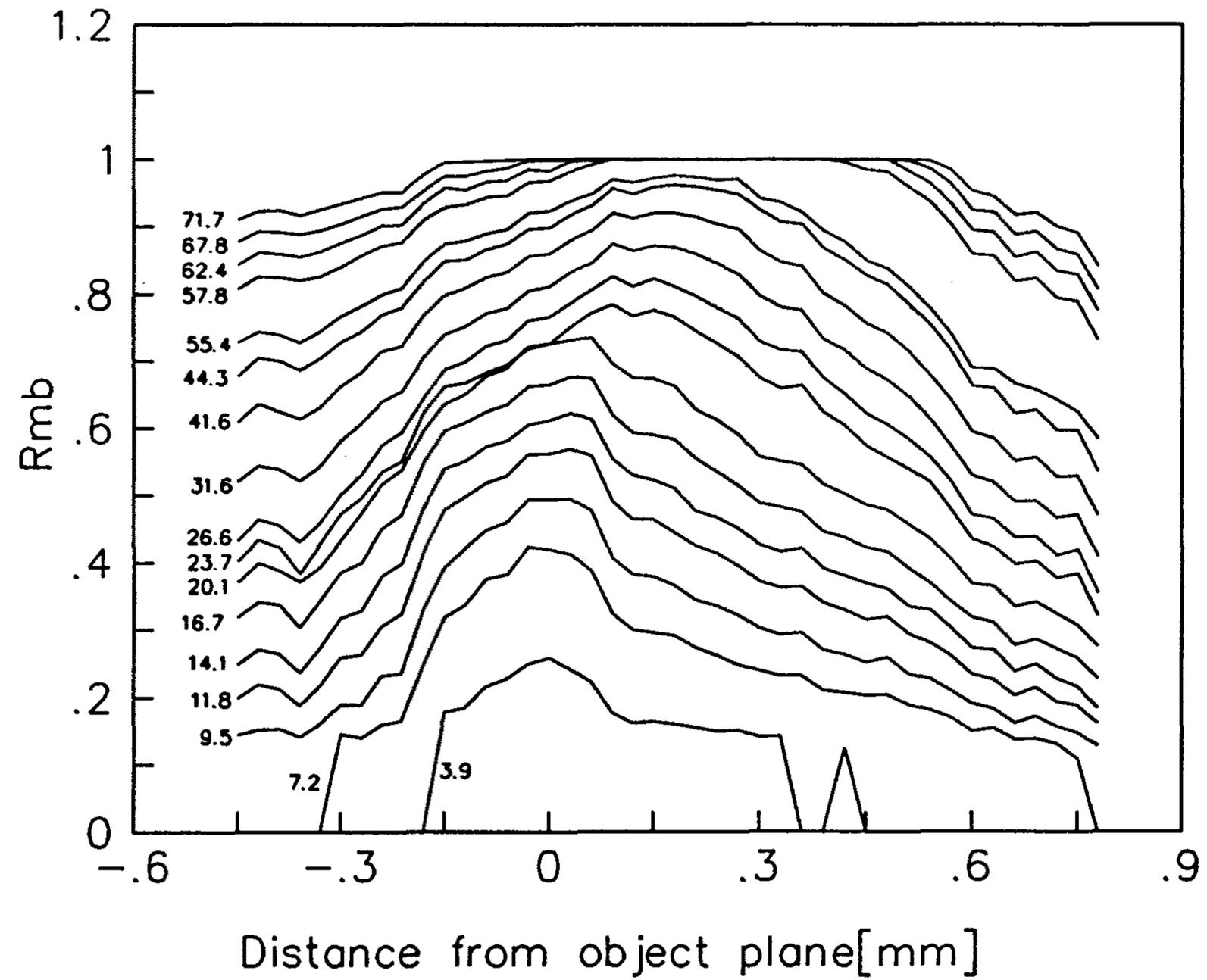


Fig.12 Variation of Rmb vs. distance from object plane for reticles with different sizes

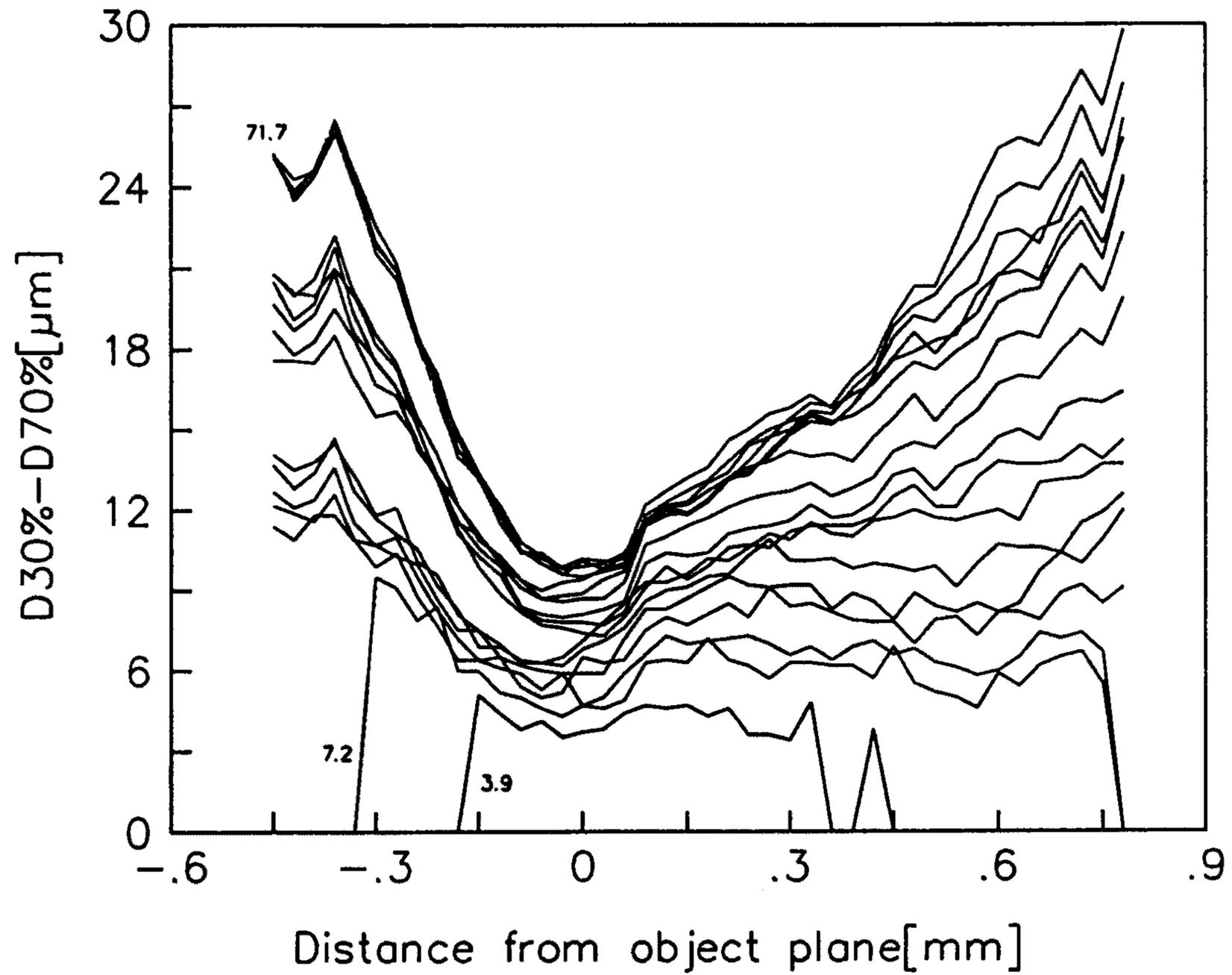


Fig.13 Value of  $D_{30\%}-D_{70\%}$  vs. distance from object plane for reticles with different sizes

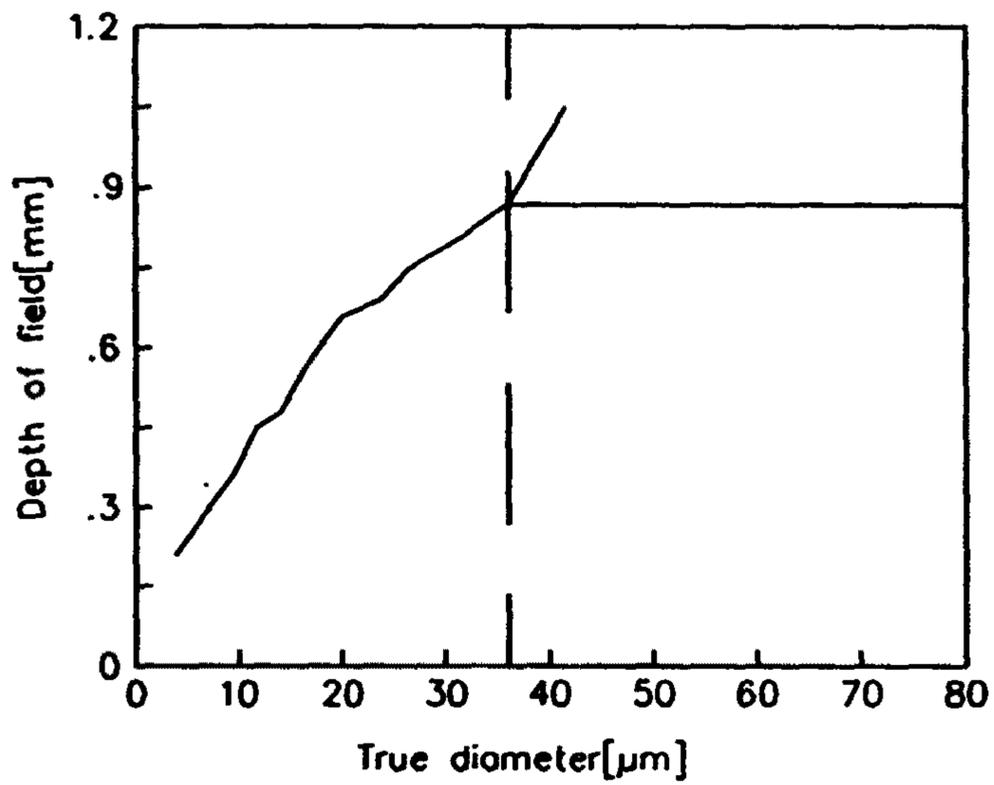
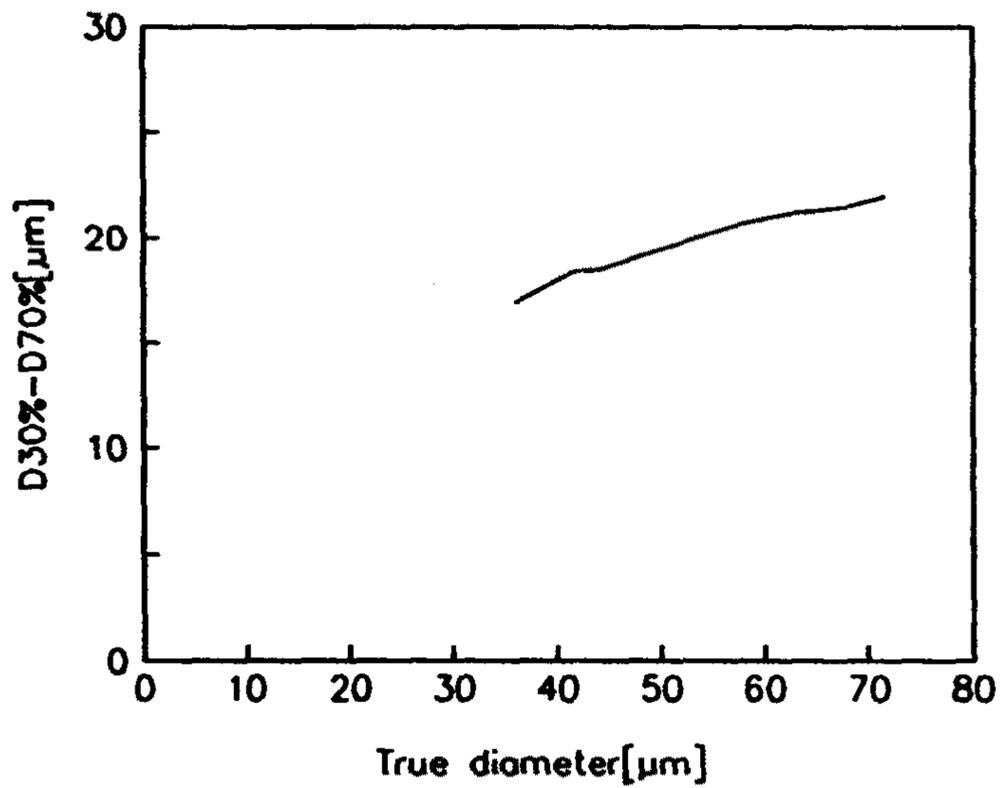
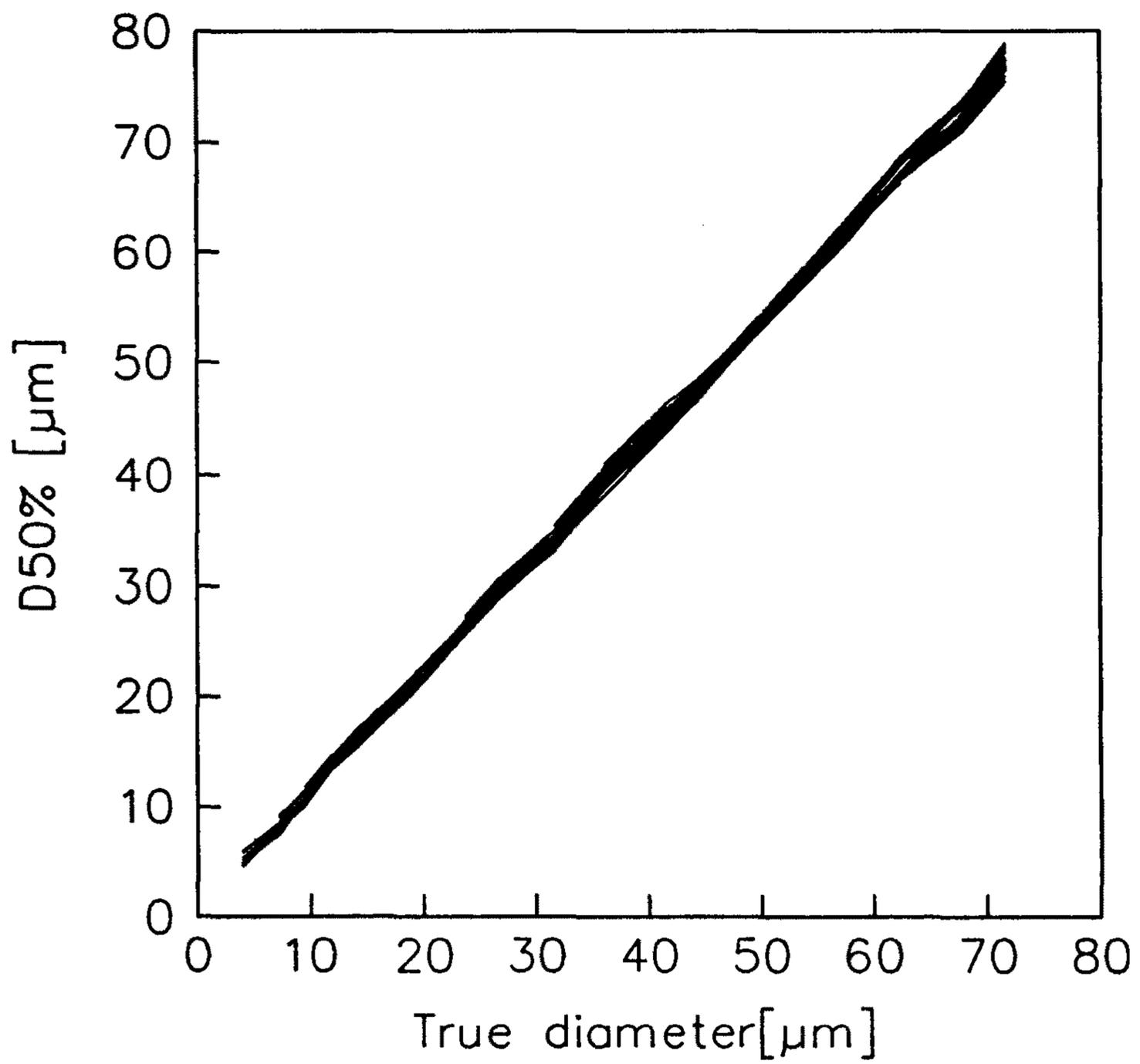


Fig.14 Depth of field vs. reticle size based on Rmb



Fi.g15 Threshold value of D30%-D70% vs. reticle size



Fi.16 True diameter vs. D50% for the reticles within the depth of field

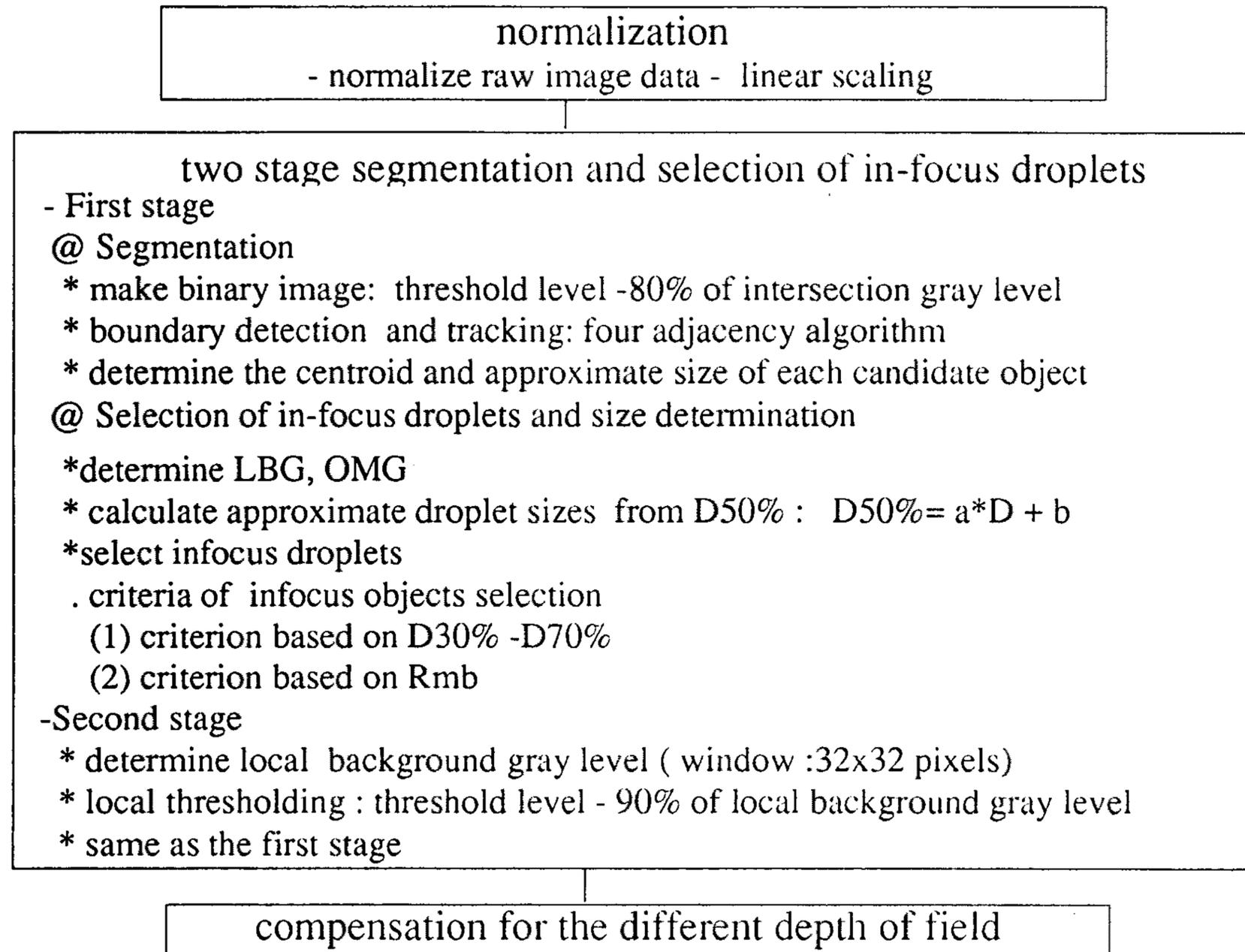


Fig.17 Image processing algorithm for measurements of droplet sizes

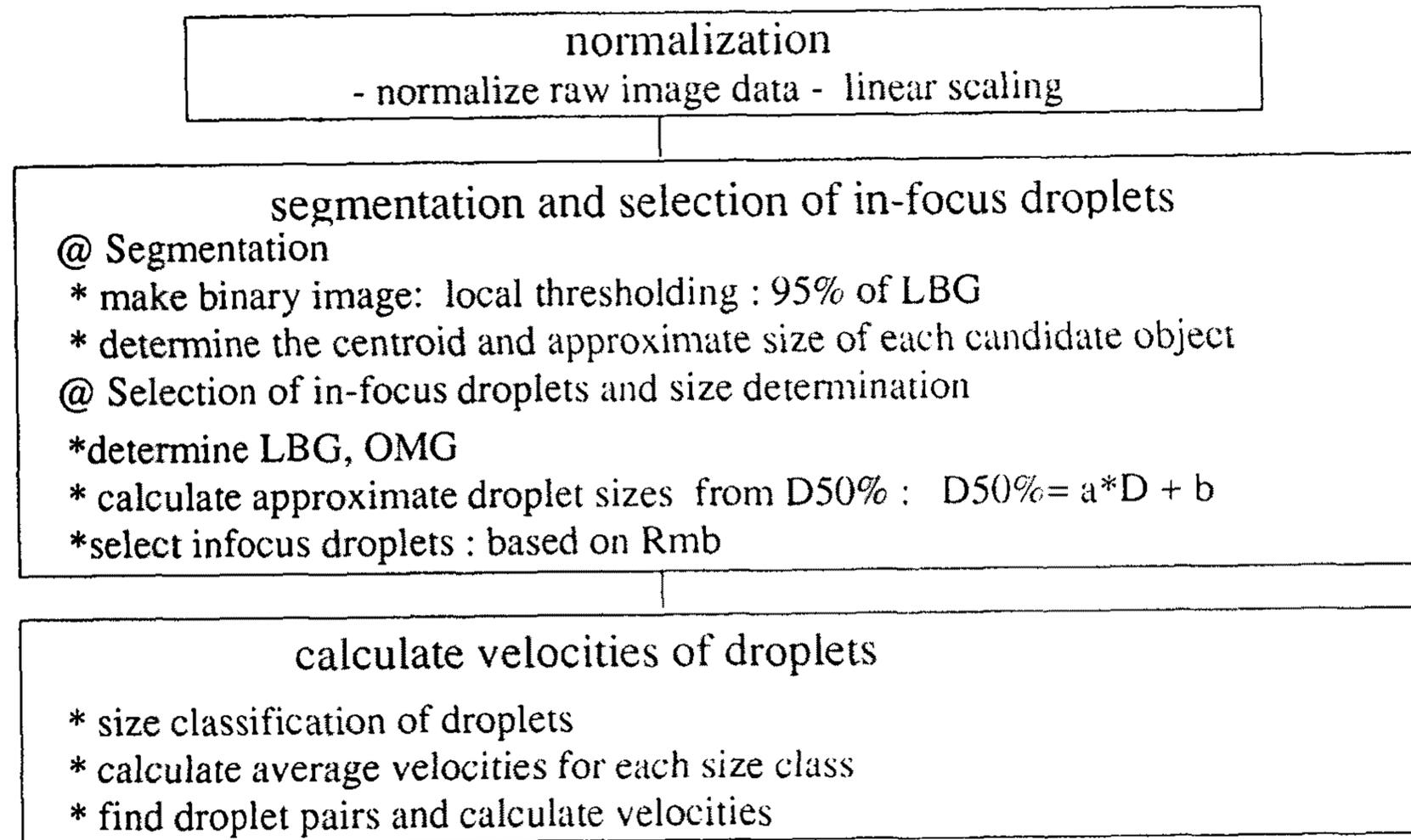


Fig.18 Image processing algorithm for measurements of droplet sizes and velocities

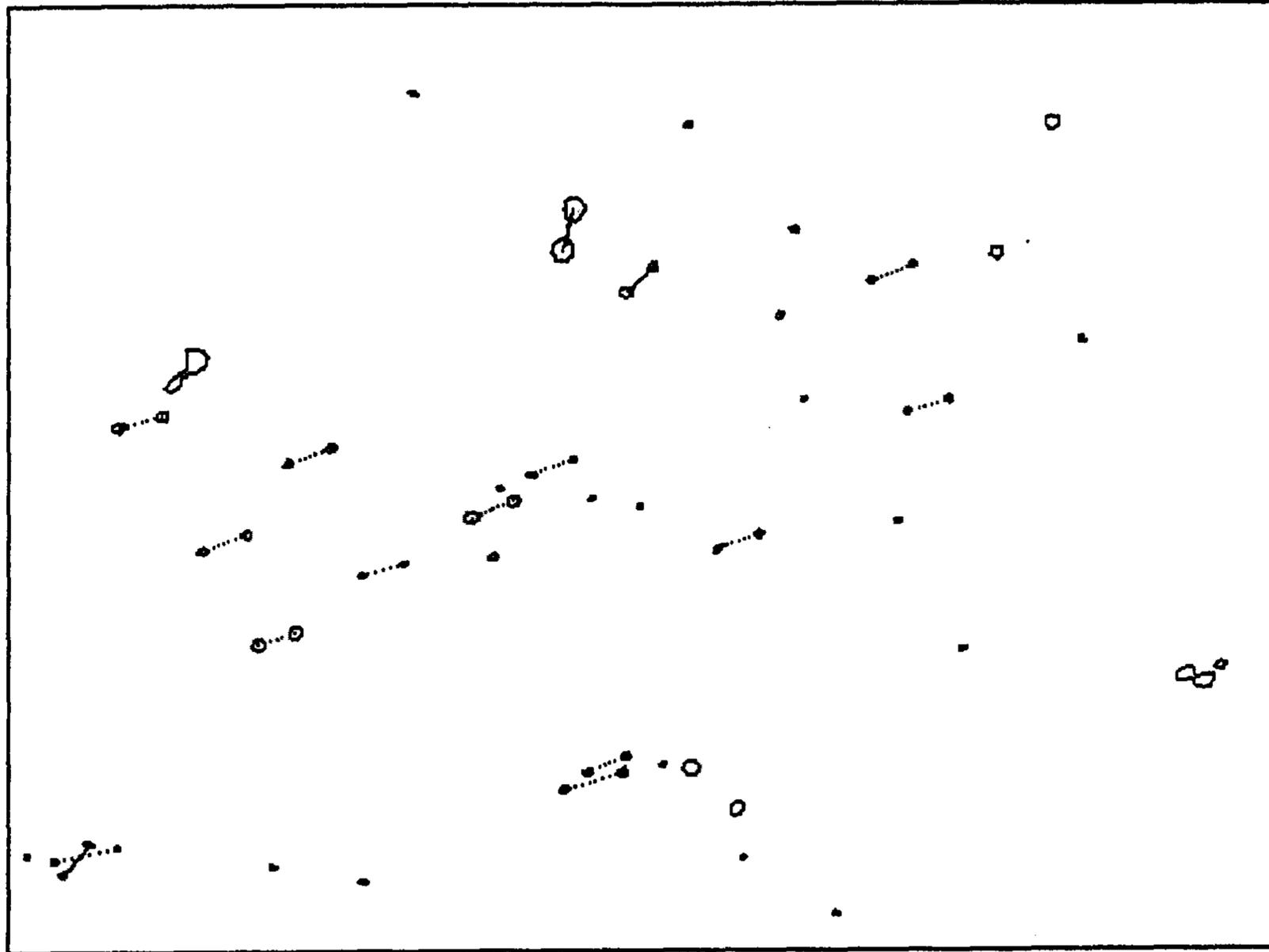


Fig.19 Image processing results for the measurement of droplet velocities