

〈논 문〉 SAE NO. 943758

표면 충돌 액적의 분열에 관한 실험적 연구

An Experimental Study of Breakup of Impinging Droplets on a Hot Surface

고 영 성*, 정 석 호**
Y. S. Ko, S. H. Chung

ABSTRACT

Characteristics of breakup of a liquid droplet impinging on a hot surface has been investigated experimentally by using decane fuel. Factors influencing droplet breakup are surface temperature, impinging velocity, droplet diameter and incident angle. Droplets impinging on a hot surface begins to breakup at 220~235°C. This temperature varies with impinging velocity, droplet diameter and incident angle. For wall temperature of 220~245°C and above 270°C, breakup probability increases as impinging velocity increases showing S shape curve. For 245~265°C, a local minimum heat transfer rate occurs. In this temperature range, breakup probability shows nonmonotonous behavior as functions of impinging velocity. As droplet diameter decreases, impinging velocity required for droplet breakup increases. An optimum impinging angle for droplet breakup exists which are found to be about 75°.

주요기술용어 : Leidenfrost phenomena(라이덴프로스트 현상), Impinging droplet(충돌 액적), Incident angle(충돌각), Breakup(분열), Droplet generator(액적 발생기)

1. 서 론

액체 연료를 사용하는 연소 장치에서 효율 향상과, 공해 물질 감소를 위해서는 연료 액적의 증발, 점화 및 연소 과정 중의 물리 화학적인 특성에 대한 자료가 요구된다. 분무의 기본단위로서 단일 액적에 대한 연구중에는, 액적과 고온 표면과의 상호 작용에 의한 특성이 디젤 엔진 내부의 연소 특성 및 화재 방지 시스템과 관련한 냉각 장치 설계 등과 연관되어 연구되어 오고

있다. 특히 고온 평판 위에서의 액적의 증발, 점화 특성 등의 기본적인 연구가 진행되어 왔다.^{1,3)}

연료의 효율적 이용과 공해 물질의 감소에 영향을 미치는 인자들은 여러 가지가 있으나 그 중 분무된 연료의 미립화가 미치는 영향은 상당히 크다. 예를 들어 액적이 미립화되면 연료와 공기의 혼합이 용이해짐으로써 연소 효율이 높아질 뿐 아니라, 연료의 불완전 연소에 따른 공해 물질인 미연탄화수소(HC) 등이 감소하게 된다. 이러한 연료 미립화 연구 방안의 하나로 본 연

* 서울대학교 기계공학과 대학원
** 정회원, 서울대학교 기계공학과

구에서는 고온 표면과 충돌하는 단일 액적의 분열 (breakup) 거동에 미치는 표면 온도, 충돌 액적 직경, 충돌 속도 및 충돌 입사각의 영향을 실험적으로 규명하고자 한다.

고온 평면 표면 위에 놓여있는 액적의 증발 특성에 관한 Leidenfrost 현상은 Tamura와 Tanasawa²⁾에 의해 심도있게 연구되었는데, 고온 평판 위에서 부유하는 액적의 증발 시간과 관련하여 평판 온도에 따라 막증발(film evaporation), 핵비등(nucleate boiling), 천이비등(transition boiling), 및 스페로이드형 증발(spheroidal vaporization : 막비등 영역이라고도 함)등의 네 영역으로 구분하였다. 본 실험에서 관심있는 영역은 천이비등과 막비등 구간에 해당하는 평판 온도로서³⁾ 4) 데칸의 경우 약 220~300°C에 해당한다. 막비등은 액적의 표면에서 발생하는 기체가 가열 평판 위에 증기막을 연속적으로 형성하는 특성을 가지고 있다. 이 때의 열전달율은 액적이 가열 평판 표면과 직접 접촉하여 증발하는 핵비등에 비하여 비효율적이다.

이 외에도 Makion와 Michiyoshi³⁾등이 주로 평판 온도, 압력, 액적 초기 직경, 연료 형태, 표면 조건의 변화에 따른 고온 평판 위의 연료 액적 증발에 관한 연구를 수행하였다. 그러나 이들은 액적을 발생시키는 방법으로써 주사기를 사용하여 평판의 표면 바로 위에서 연료 액적을 가만히 내려 놓는 방식을 사용하였기 때문에 평판과 충돌하는 액적의 속도 개념은 포함되어 있지않다. 최근에 들어와서 Xiong과 Yuen¹⁾이 액적 발생기를 사용하여 Leidenfrost 현상과 관련된 연료 액적의 증발에 관한 연구를 수행하였으며, Anders, Roth와 Frohn⁵⁾에 의해 고온 벽과 충돌하는 에탄을 액적의 속도 변화에 대한 연구가 수행됨으로써 액적 발생기를 이용한 속도의 개념이 도입되기 시작하였다.

디젤 엔진의 경우 연소실 벽으로의 열전달은 엔진 연소실 구조와 작동 조건 등에 의해 달라지며, 연소실 내 각 구성부분으로의 열전달량이 다르므로 연소실 벽 온도는 불균일한 온도 분포를 가지나⁶⁾, 일반적인 고속도 디젤 엔진 연소실 및 피스톤의 표면온도는 240~300°C의 분포를 보인

다. 디젤 엔진 연소실에 분사된 액적은 고온의 연소실 벽면과 충돌하게 되는데, 이 온도 범위는 Leidenfrost 현상이 발생하는 영역이므로 온도 변화에 따라 액적의 충돌 특성이 적은 온도 변화에도 상당히 달라질 수 있다. 그러나 아직까지 Leidenfrost 현상과 관련하여 고온 평판 위에서의 충돌 액적의 분열 과정을 심도있게 연구한 자료는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 엔진 연소실의 고온 표면에 충돌하는 액적의 거동과 분열 과정을 모사한 결과를 보고한다.

2. 실험 장치 및 방법

실험 장치는 액적 발생부, 표면 가열부 및 가시화 장치부로 구성되어 있으며, 그 개략도는 Fig. 1과 같다. 액적 발생부는 펄스 발생기, 전압 증폭기, 액적 발생기, 연료 저장 수조로 나뉜다. 액적 발생기는 압전 재료가 전압을 공급받을 때 생기는 수축/팽창 특성을 이용하는데 O.D. 12.7mm, I.D. 10.2mm의 실린더형 압전 재료(Edo Western Corp. : EC-65type II)를 이용하여 제작되었다. 펄스 발생기는 PC 8253 카드를 이용하여 duty비 및 주기를 변화시킬 수 있는 5V의 펄스를 발생시키고, 전압 증폭기에서는 이 펄스를 20~140V로 증폭시킨다.

이 신호가 액적 발생기에 공급되면 duty비 50 : 50의 펄스가 실린더를 수축시킴으로써 액적이

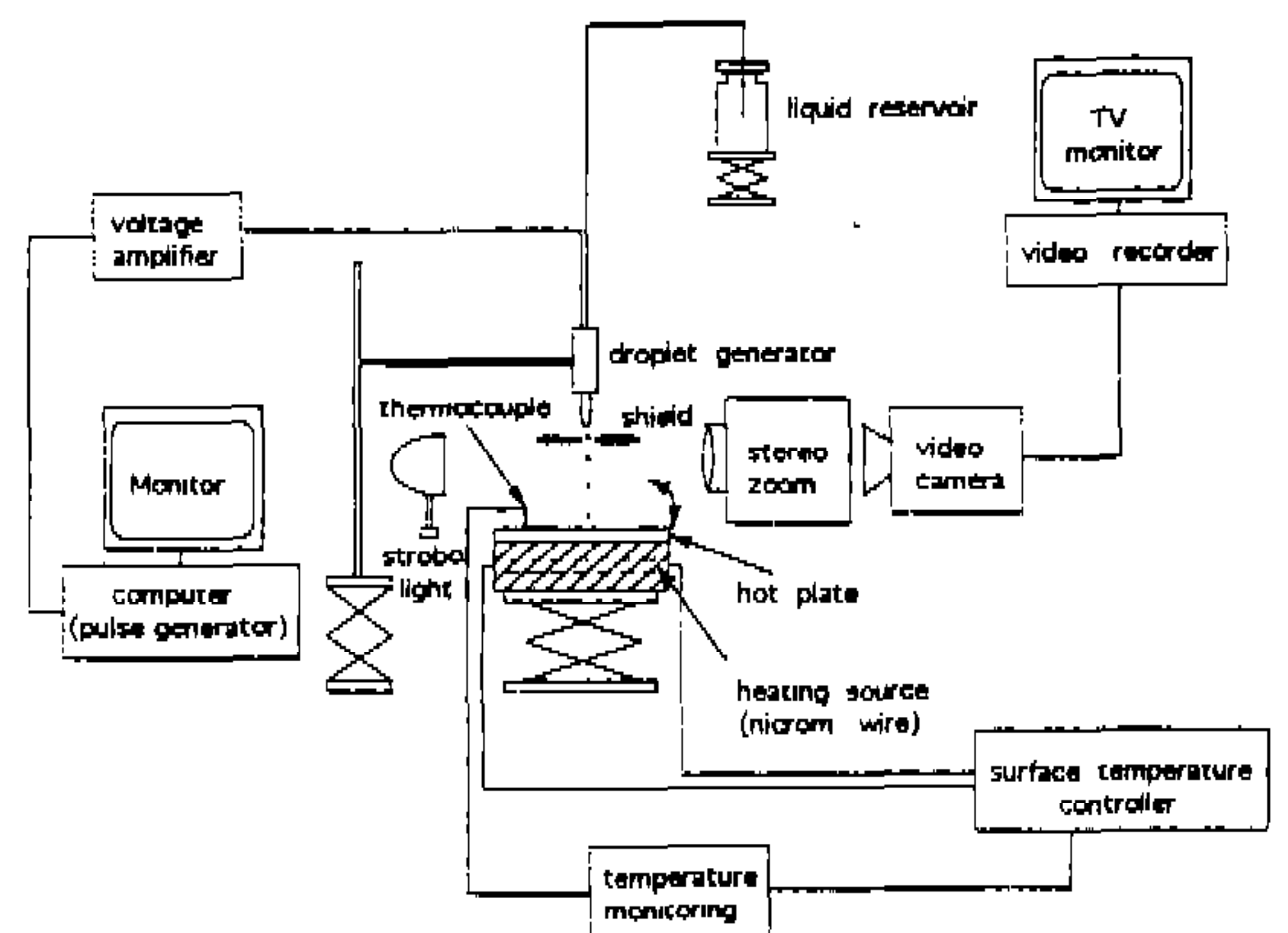


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup.

발생된다. 액적 발생시 액체 연료를 저장하고 있는 용적 250ml의 수조와 액적 발생기의 수두차, 액적 발생기에 공급되는 펄스의 주기, duty비, 전압, 노즐 출구의 내경과 형상, 및 연료 노즐 출구와 고온 표면과의 거리에 따라 발생 액적의 안정성, 액적 반경 및 액적의 충돌속도가 결정된다. 이 때 수두차는 저장 수조와 액적 발생기의 높이를 변화시킴으로써 조절된다.

고온 평판의 한정된 부분에만 지속적으로 액적이 충돌함에 따른 표면 온도의 저하를 줄이기 위해 펄스 발생기의 주기를 0.5Hz로 하였다. 액적 발생기와 고온 평판 사이에는 평판의 고온화에 따른 온도 영향을 최소화 하기 위하여 $\phi 7\text{mm}$ 의 구멍을 가진 원판(shield)을 설치하였다. 액적 발생기 선단부의 노즐은 O.D. 3.0mm, I.D. 1.8mm의 석영관을 가공하여 제작하였으며, 액적 직경을 변화시키기 위해서 출구 직경이 다른 여러 가지의 노즐을 제작 사용하였다.

표면 가열부는 황동 평판($230 \times 30 \times 3\text{mm}$), 가열 히터 및 온도 조절 장치로 구성되어 있으며, 평판의 재질은 평판 각부분의 온도 균일성과 액체 연료의 충돌에 따른 국부적인 평판의 온도 감소를 가능한 한 빨리 회복하게 하기 위하여 열전도율이 양호한 황동에 mirror polishing으로 표면 처리를 하였다.

가열 열원으로써는 750W의 니크롬선을 이용하였으며, 여기에 변압기를 이용하여 가변 전압을 공급함으로써 평판의 온도를 변화시켰으며, 표면 온도 측정은 K형(크로멜·알루멜) 열전대를 이용하였는데, 최대 가열 온도는 약 400°C 이다. 또한 충돌 액적의 분열에 대한 충돌각의 영향을 고려하기 위하여 평판의 각도를 변화시켜 실험을 수행하였다. 이 때 충돌각은 액적이 고온 평판과 수직으로 충돌할 때를 90° 로 하고, 충돌 액적과 평판 표면의 충돌각을 90° , 75° , 60° 및 45° 로 변화시키며 실험을 수행하였다.

액적의 가시화를 위해 스테레오 줌 현미경(Nikon: SMZ-10), 비디오 카메라, VCR 및 스트로보스코프를 이용하였는데 스테레오 줌을 이용하여 확대한 상을 비디오 카메라를 이용하여 촬영하였다. 액적의 충돌 속도 측정은 비디오의 가

시창 내에서 카메라 셔터 스피드를 1/100초로 하고, 스트로보 스코프의 주기를 300Hz로 하여 다중 노출된 상을 이용하였다. 충돌 액적의 분열 확률은 200개의 액적을 모집단으로 하여 두개의 액적으로 분열되는 확률로 표시하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 액적의 증발 특성 및 분열 과정의 가시화

액적의 분열 과정에 미치는 표면 온도의 영향을 파악하기 위한 기초 실험으로써 고온 평판위에 안정된 액적의 증발 과정을 관찰하였다. Fig.2는 $\phi 1.94\text{mm}$ 의 데칸 액적을 평판 표면에 미세주사기(microsyringe)로 가만히 내려놓았을 때 표면 온도 변화에 따른 액적의 증발 시간을 나타낸다. 데칸의 비등점(b점)인 174.1°C 보다 표면온도가 낮은 경우에는 평판과 액적 사이에 증기막을 형성하지 못하고 표면에 달라붙은 상태에서 서서히 증발한다. 표면온도가 비등점 보다 높은 영역에서도 액적은 고온 표면에 달라 붙어 있는데, 액적의 증발 시간이 가장 짧고 열전달율이 매우 큰 온도 영역인 약 195°C 부근(c점)에서는 액적과 고온 표면사이에서 핵비등에 의해 다수의 기포가 발생하며 이 기포들이 급속히 성장하여 액적의

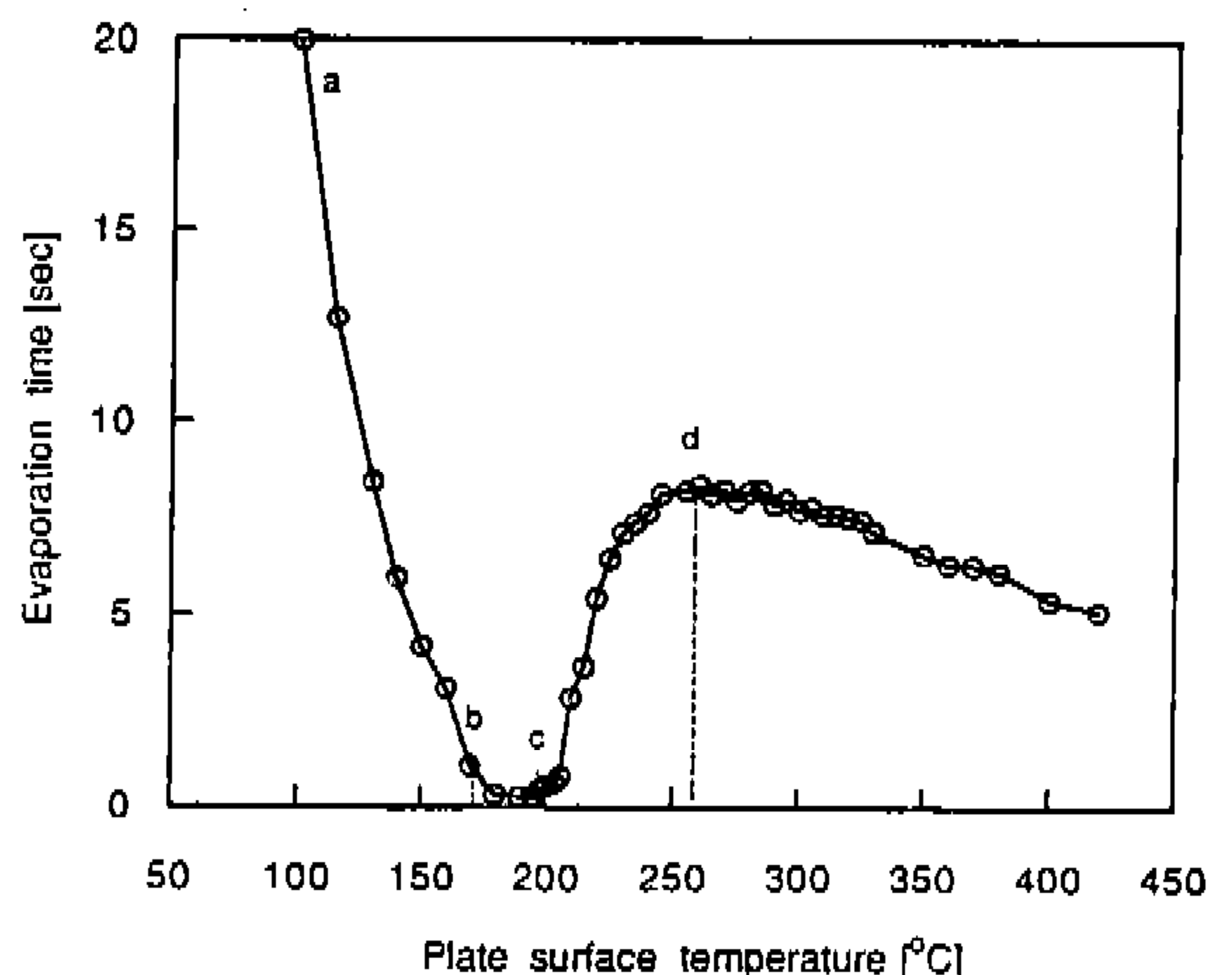


Fig.2 The dependence of evaporation lifetime of a decane droplet on surface temperature with $d=1.94\text{mm}$.

파편(fragmentation)을 발생시킨다. 표면 온도가 더욱 증가하면 고온 표면으로부터의 열전달에 의해 증발되는 연료 기체의 증발운동량이 연료 액적을 부유시키는 Leidenfrost 현상이 나타나며 이에 따른 증발율이 감소되어 증발 시간이 길어진다. 이러한 현상은 표면 온도 증가에 따른 부유특성에 의한 증발율 감소 특성과 온도 증가에 따른 증발율 증가 특성으로 인하여 극값을 갖게 되며 데칸의 경우 이 온도는 약 255°C 이다(d점). Tamura와 Tanasawa¹⁾의 영역구분에 의하면 a-b 구간이 막증발, b-c구간이 핵비등, c-d구간이 천이비등, d점 이상의 온도구간이 스페로이드형 증발 영역이다.

고온표면과 충돌하는 액적의 특성을 Fig.3에 나타내었는데 초기 액적 직경 $d=510\mu\text{m}$, 충돌각 $\alpha=60^{\circ}$, 표면 온도 $T_w=300^{\circ}\text{C}$, 충돌 속도 $V=0.79\text{m/s}$ 의 경우에 고온 평판과 충돌하여 튀어오르며(bounce) 분열되는 모습을 나타낸 것이다. 이를 살펴보면, 충돌 후 평판 표면 위에서 액적의 미끄러짐(slip)이 발생한 후 부상하면서 분열이 일어나게 되는데, 이 때 분열된 두 액적의 중심을

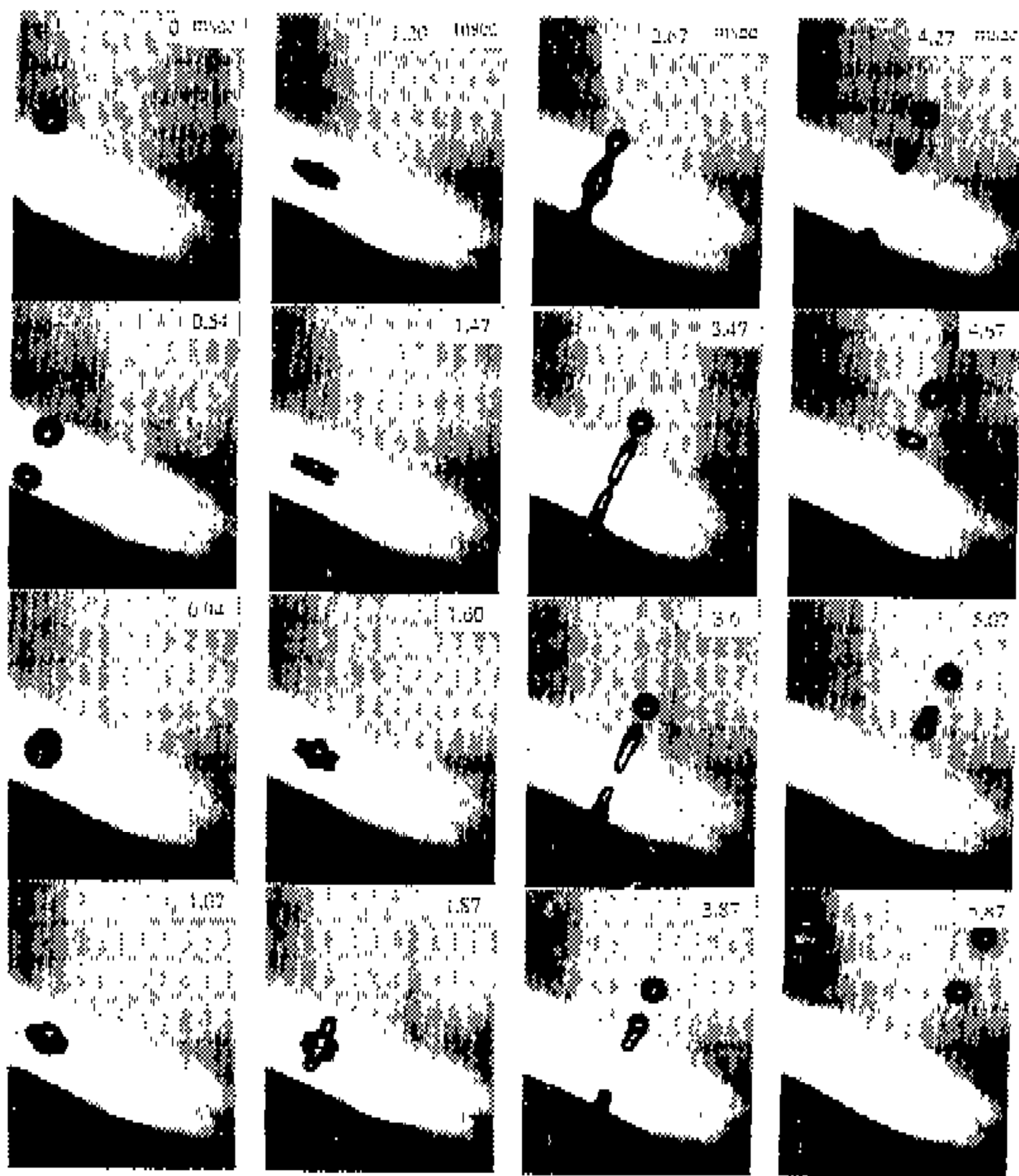


Fig.3 Particle impinging process with break-up for $d=510\mu\text{m}$, $T_w=300^{\circ}\text{C}$, $V=0.79\text{m/s}$ and $\alpha=60^{\circ}$.

연결해 보면 평판 표면에 대해 거의 수직으로 튀어 오름을 알 수 있다.

액적이 평판 표면에 충돌할 때, 200°C 이하 영역에서는 표면에 부착된 상태(wetting)로 그대로 증발하거나 분열되는 현상을 보이며, $200\sim 210^{\circ}\text{C}$ 에서는 표면 위에서 충돌액적이 migrate되는 현상을 보인다. 평판 표면 온도 210°C 정도 이상에서는 Leidenfrost 현상에 의해 충돌시에는 액적이 부유된 상태에서 튀어오르며 분열이 발생하기 시작한다.

이러한 특성은 충돌 속도를 더욱 증가시키더라도 연료의 비등 특성 등에 기인하여 분열 모드는 bounce되는 경우와 표면에 부착되는 경우로 구분됨으로써 온도 범위는 유사할 것으로 예측되나, 본 실험의 제한 조건으로 인해 고속 충돌 실험을 수행하지 못하였다.

충돌 액적의 분열은 Fig.2의 c-d구간 사이의 약 220°C 에서 발생되기 시작하므로, 앞으로의 논의는 c-d구간과 d점 이상의 온도 구간이 한정한다. 참고로 $T_w=220^{\circ}\text{C}$ 이하에서는 액적의 분열이 일어나지 않으나, $T_w=205\sim 220^{\circ}\text{C}$ 에서는 액적이 고온 표면과 충돌하여 부상하기 시작하며, $T_w=190\sim 205^{\circ}\text{C}$ 에서는 충돌 액적이 표면에서 여러 개의 작은 파편으로 불규칙하게 쪼개지는데, 이 현상은 액체가 고온 표면과 직접 접촉하여 핵비등의 영향을 받기 때문이다.

3.2 표면 온도, 충돌 속도, 액적 직경 및 충돌각이 분열에 미치는 영향

Fig.4는 $\alpha=90^{\circ}$ 일 때 몇가지의 액적 직경에 대해 $T_w=230$ 와 300°C 에서 충돌 속도의 변화에 따른 분열 확률이 변화를 나타내는데, 충돌 속도가 증가하면 액적의 분열 확률이 증가하는데, 어느 속도 이상에서는 100%의 분열 확률을 보이고, 어느 속도 이하에서는 전혀 분열이 일어나지 않는 S형 곡선의 모습을 보인다. 동일한 액적 직경의 경우 일정 분열 확률에 대해, 230°C 일 때보다 300°C 에서 분열이 쉽게 일어난다는 것을 확인할 수 있다. 또한 동일한 표면 온도에 대해서, 액적 직경이 작아질수록 충돌 액적의 분열에 필요한 충돌 속도가 증가함을 알 수 있다.

Fig.5는 $T_w=300^\circ\text{C}$ 에서 $d=407$ 과 $470\mu\text{m}$ 의 두 경우에 대해 $\alpha=60, 75, 90^\circ$ 로 변화시키며 실험한 결과이다. 두가지 액적 직경에서 $\alpha=90^\circ$ 보다 75° 에서 일정 속도에 대한 분열 확률이 크고, $\alpha=60^\circ$ 일 때는 다른 두 충돌각에 비해 S형 곡선이 상당히 오른쪽으로 전이되어 있음을 알 수 있다. 또한 Fig.4의 결과와 마찬가지로 동일한 충돌각에서는 액적 직경이 커질수록 분열이 쉽게 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 충돌각이 45° 일 때의 곡선을 나타내지는 않았으나 충돌각이 60° 일 때보다 S형 곡선이 오른쪽으로 더욱 전이됨을 볼 수 있었다. Fig.6은 Fig.5의 결과로부터, 두 액적 직경에 대해 각각 50%의 분열 확률이 나타내는 곡선을 중심으로 $\pm 20\%$ 와 $\pm 40\%$ 의 분열 확률 범위를 충돌각과 충돌 속도간의 관계로 나타낸 것이다. 이 그림에서 보듯이 $60\sim 90^\circ$ 의 충돌각 중 75° 부근에 일정 속도하의 분열 확률이 최대가 되는 임계각이 존재함을 예측할 수 있다. 즉 75° 부근에 상대적으로 낮은 충돌 속도라도 분열이 용이하게 일어나는 최적의 임계각이 존재하는 것이다. 이와같이 충돌각 90° 에서 60° 사이의 최적의 임계각이 존재하는 이유는, 충돌각 90° 일 때는 분열된 두 액적의 진행 방향과 두 액적을 연결한 직선이 평행하여 분열된 두 액적 중 뒤에 따라오는 액적이 더 큰 속도를 갖게되면 쉽게 재결합되는 반면, $75^\circ, 60^\circ$ 일 때는 분열된 두 액적의 진행 방향과 두 액적을 연결한 직선이 평

행하지 않음으로 인하여 뒤 액적의 속도가 빠르더라도 재결합이 어려워지고, 충돌각이 90° 보다 작아짐으로써 발생하는 평판에 대한 수직 속도 성분의 감소와 평판 위에서 미끄러짐이 발생하면서 평판에 머무르는 시간이 길어짐으로써 생기는 열전달량의 증가에 의한 액적 직경의 감소로 인한 분열의 난이성 등 그 외 여러 효과가 복합적으로 작용하기 때문이다.

Fig.7, 8은 $d=470\mu\text{m}$, $\alpha=90^\circ$ 와 60° 의 경우에 대해 몇가지의 충돌 속도에 대한 온도변화에 따른 분열 확률의 변화를 나타내었는데, Fig.7에서 볼 수 있듯이 $V=0.74\text{m/s}$ 에서는 표면 온도가 높아짐에 따른 분열 확률이 증가하는 경향을 보이나, $V=0.68, 0.64\text{m/s}$ 에서는 표면 온도 변화에 따른 부분적인 분열 확률의 극대 극소값이 존재하는 것을 볼 수 있다. 이 그림에서 보면 대체적으로 평판 표면 온도가 높아지면 분열 확률이 증가함을 알 수 있는데, 이는 평판 표면 온도 증가에 따라 액적으로는 열전달 증가로 인한 액적의 점성 감소와 표면장력 감소, 표면과 접촉했을 때의 증발에 따른 상방향 운동량의 증가 등 여러 요인에 기인한 것이다. Fig.8은 $d=470\mu\text{m}$, $\alpha=60^\circ$ 의 경우에 온도 변화에 따른 분열 확률을 나타내었다. 충돌 속도가 가장 큰 경우($V=0.85\text{m/s}$)일 때, 220°C 에서 충돌 액적의 분열이 발생하기 시작하여 235°C 까지 급격한 분열 확률의 증가를 보이다가, 240°C 이후에는 온도의 상승에 따라 분열 확률이

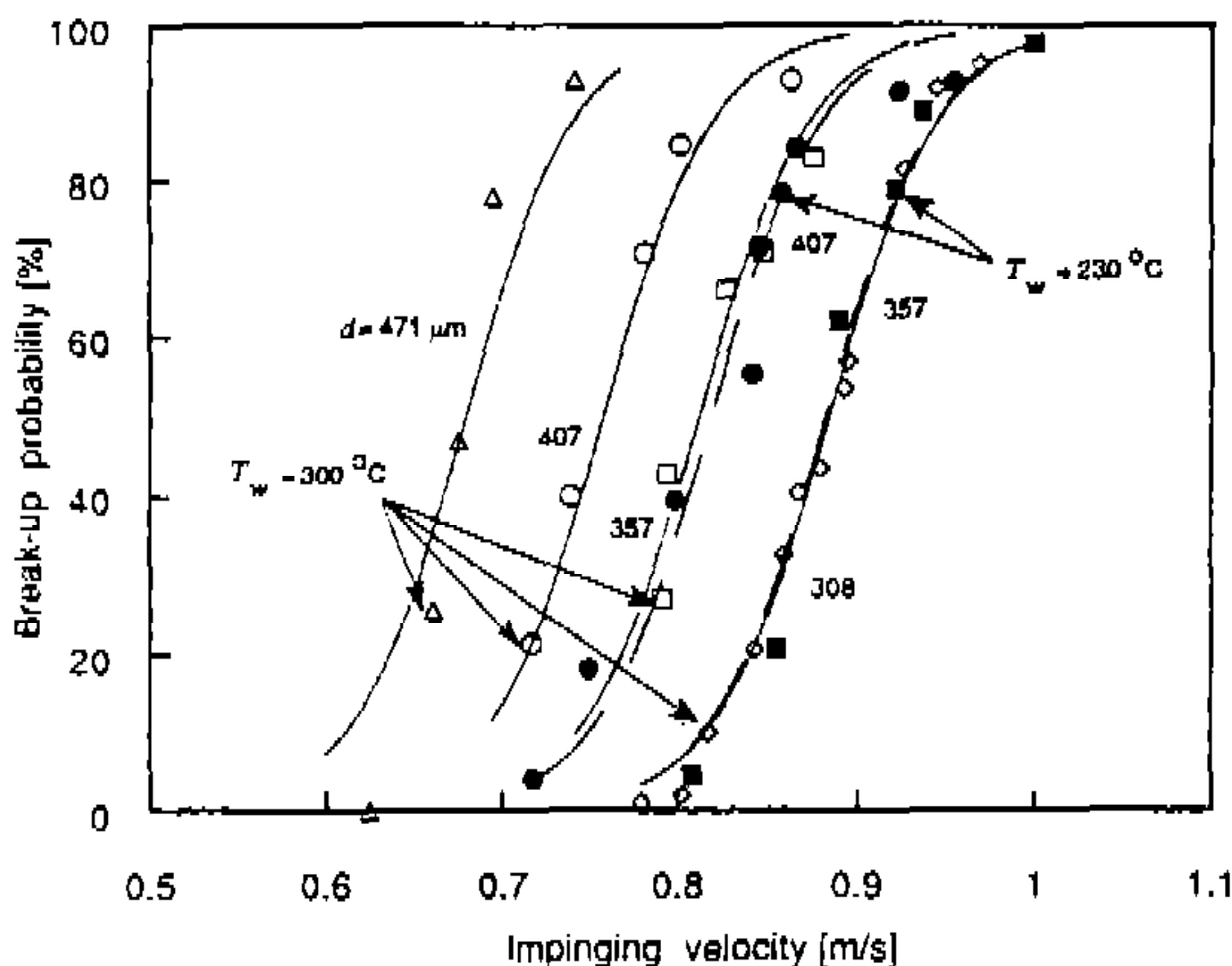


Fig.4 The droplet diameter effect on V & droplet break-up probability relation with $\alpha=90^\circ$.

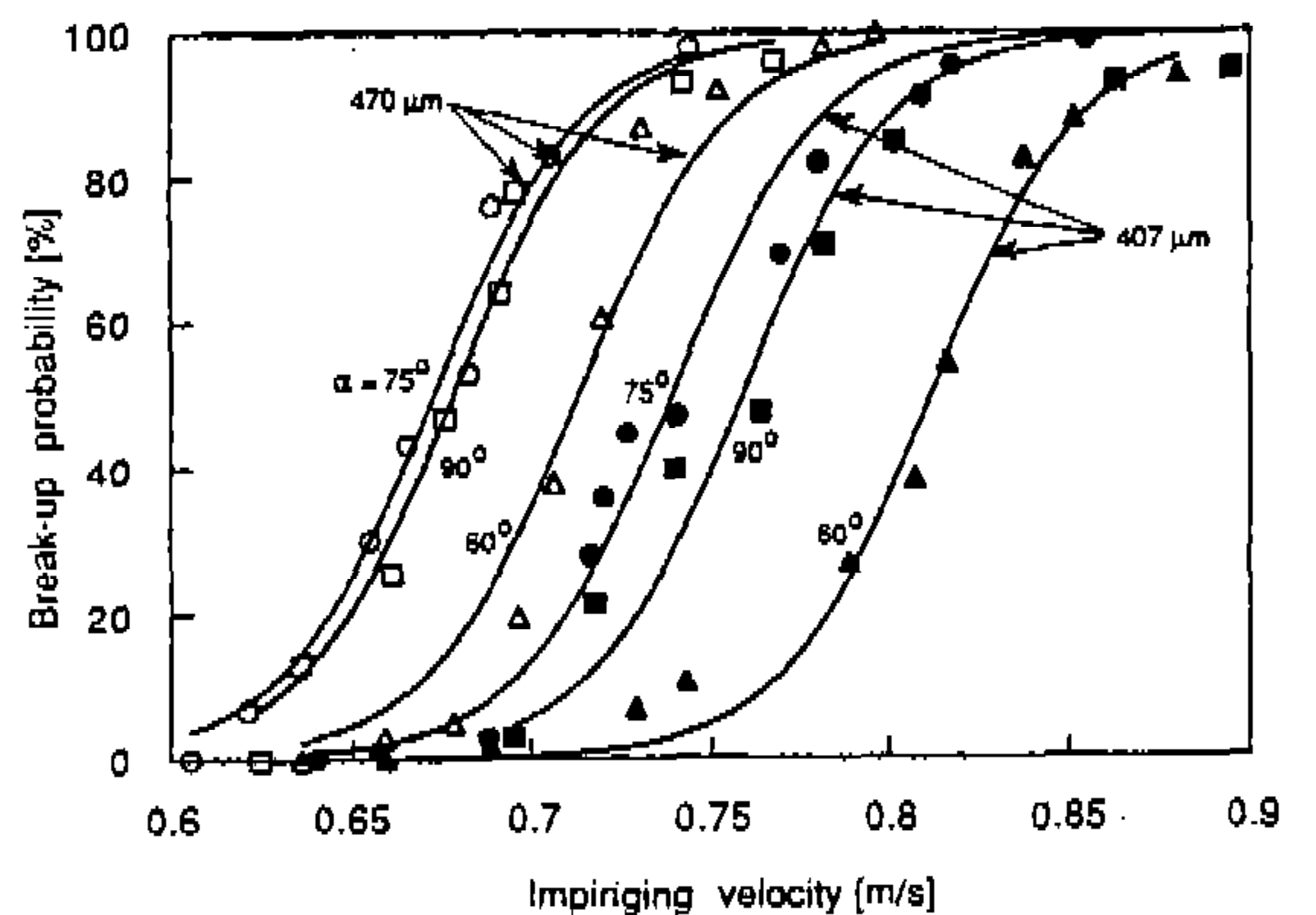


Fig.5 The effect of incident angle α about V & droplet break-up with $T_w=300^\circ\text{C}$ and $d=407, 470\mu\text{m}$.

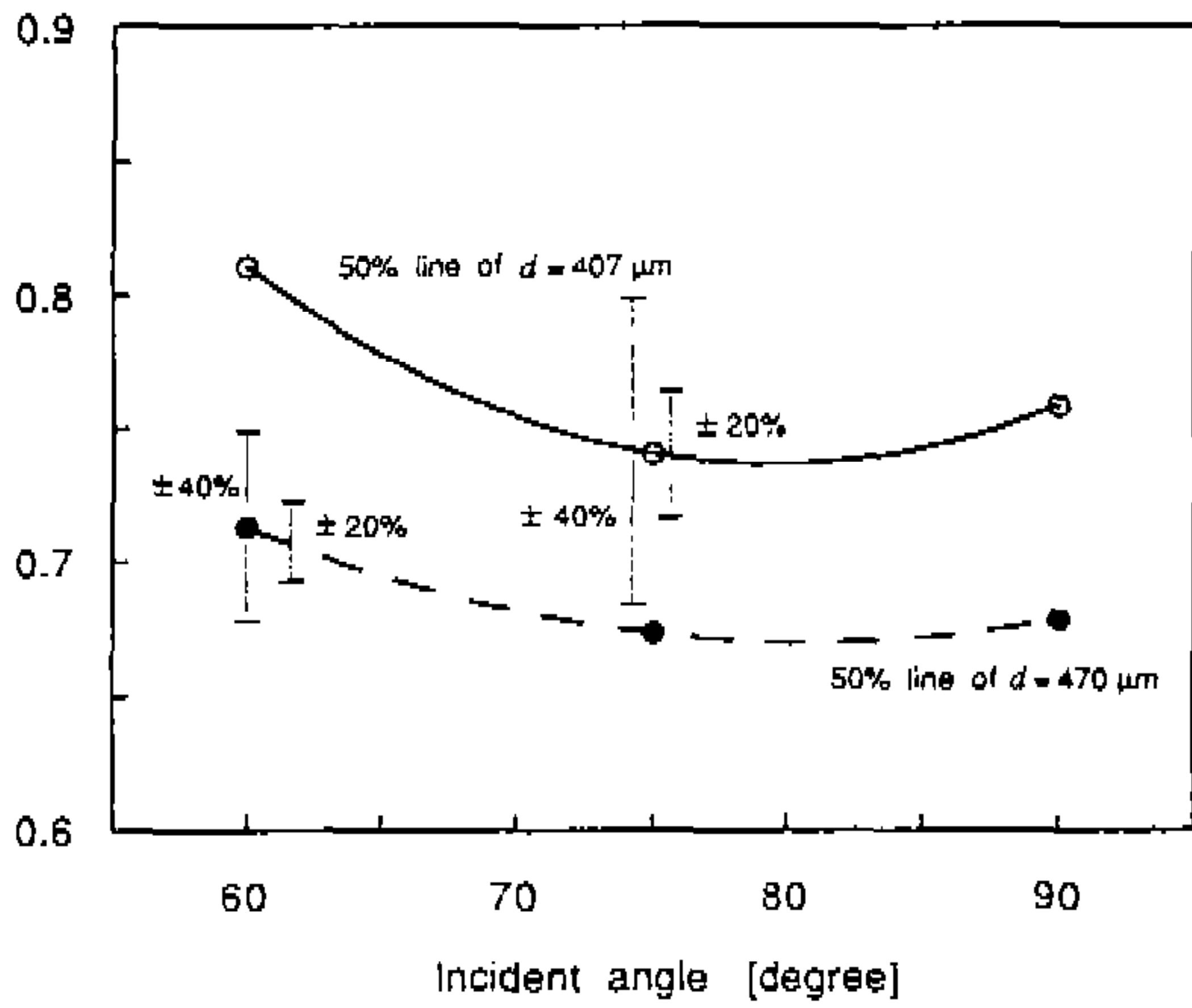


Fig.6 The incident angle dependence on V with 50% droplet break-up probability for $T_w = 300^\circ\text{C}$ and $d = 407, 470\mu\text{m}$.

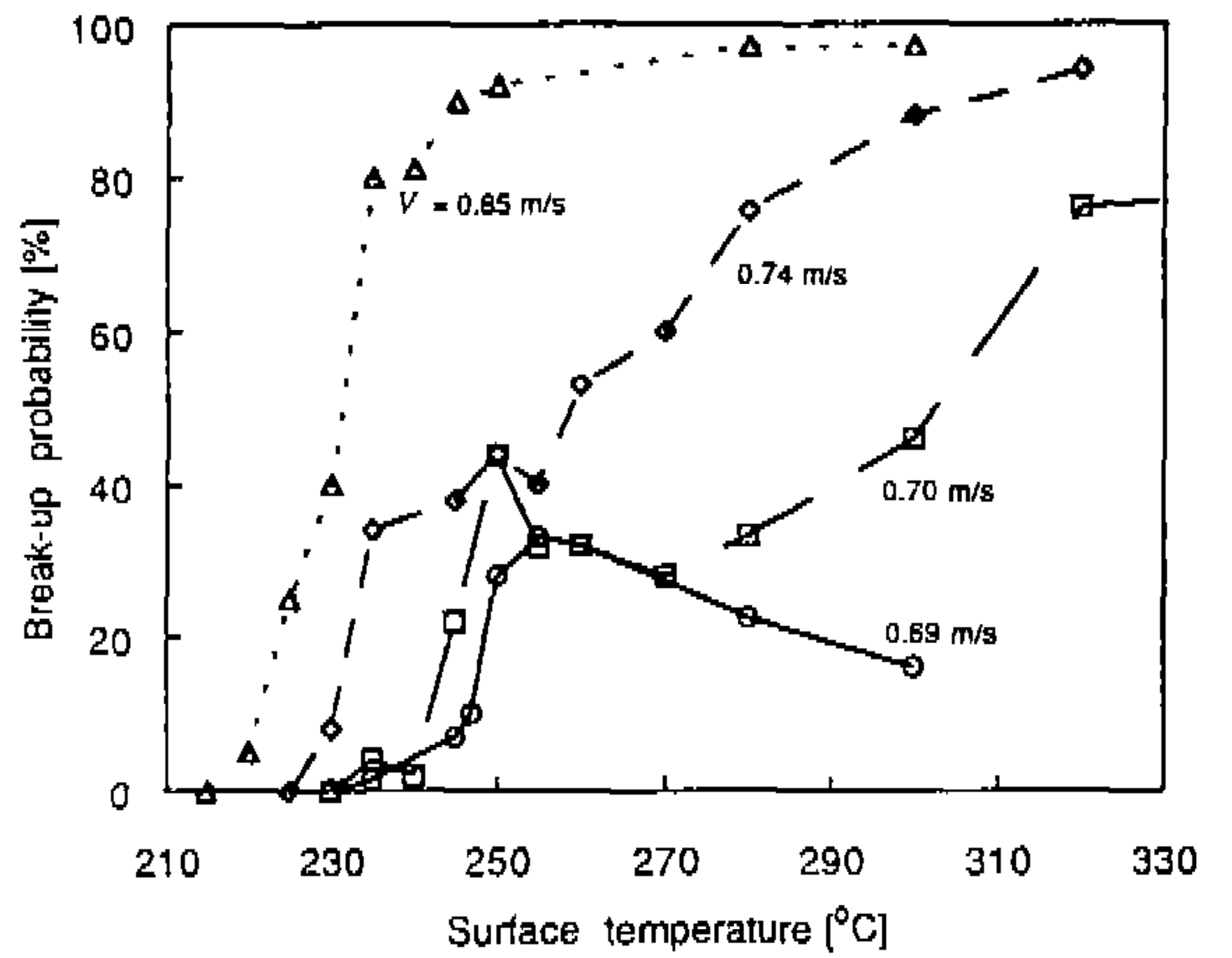


Fig.8 The dependence of droplet break-up probability on T_w and V with $d = 470\mu\text{m}$ and $\alpha = 60^\circ$.

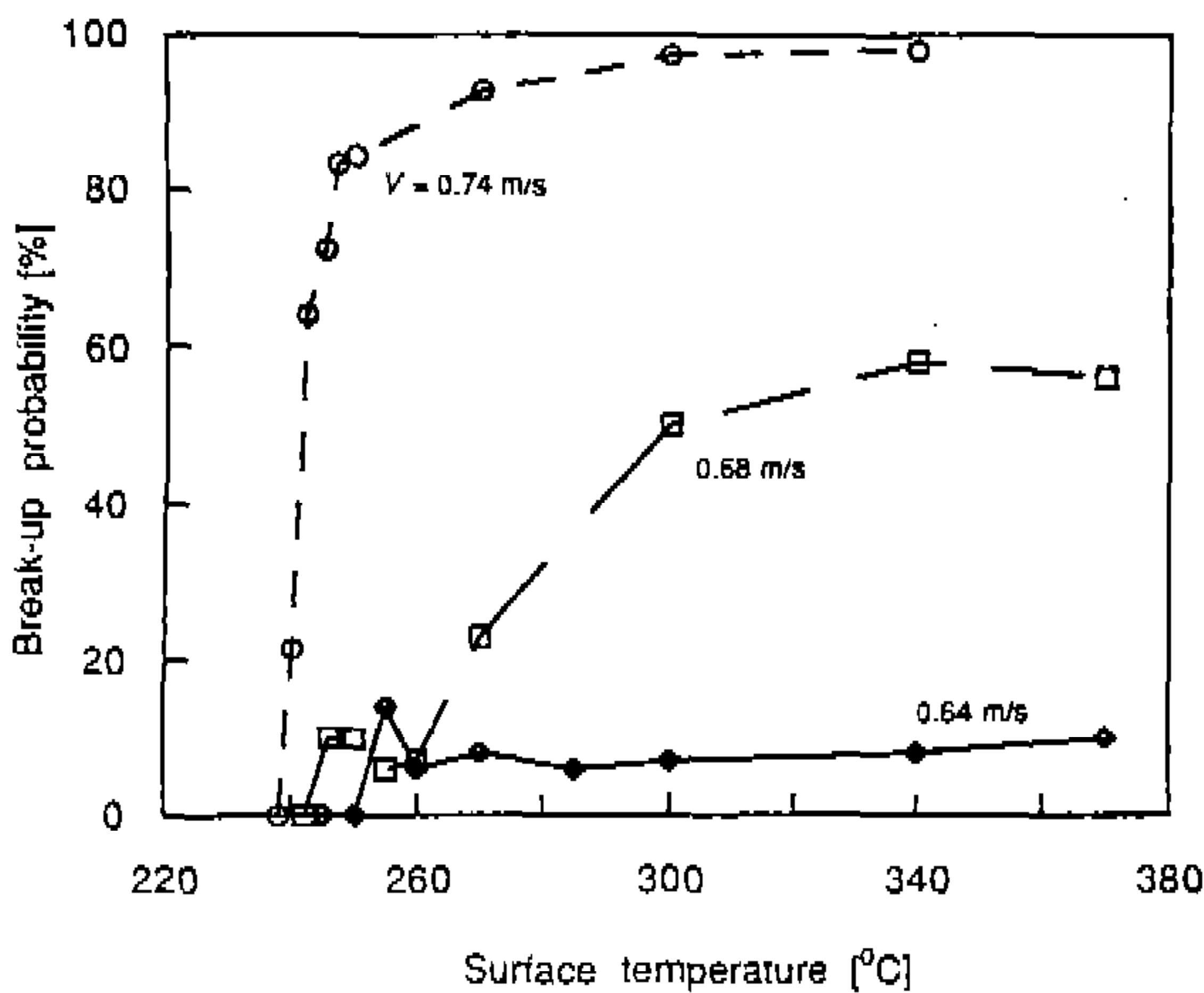


Fig.7 The dependence of droplet break-up probability on T_w and V with $d = 470\mu\text{m}$ and $\alpha = 90^\circ$.

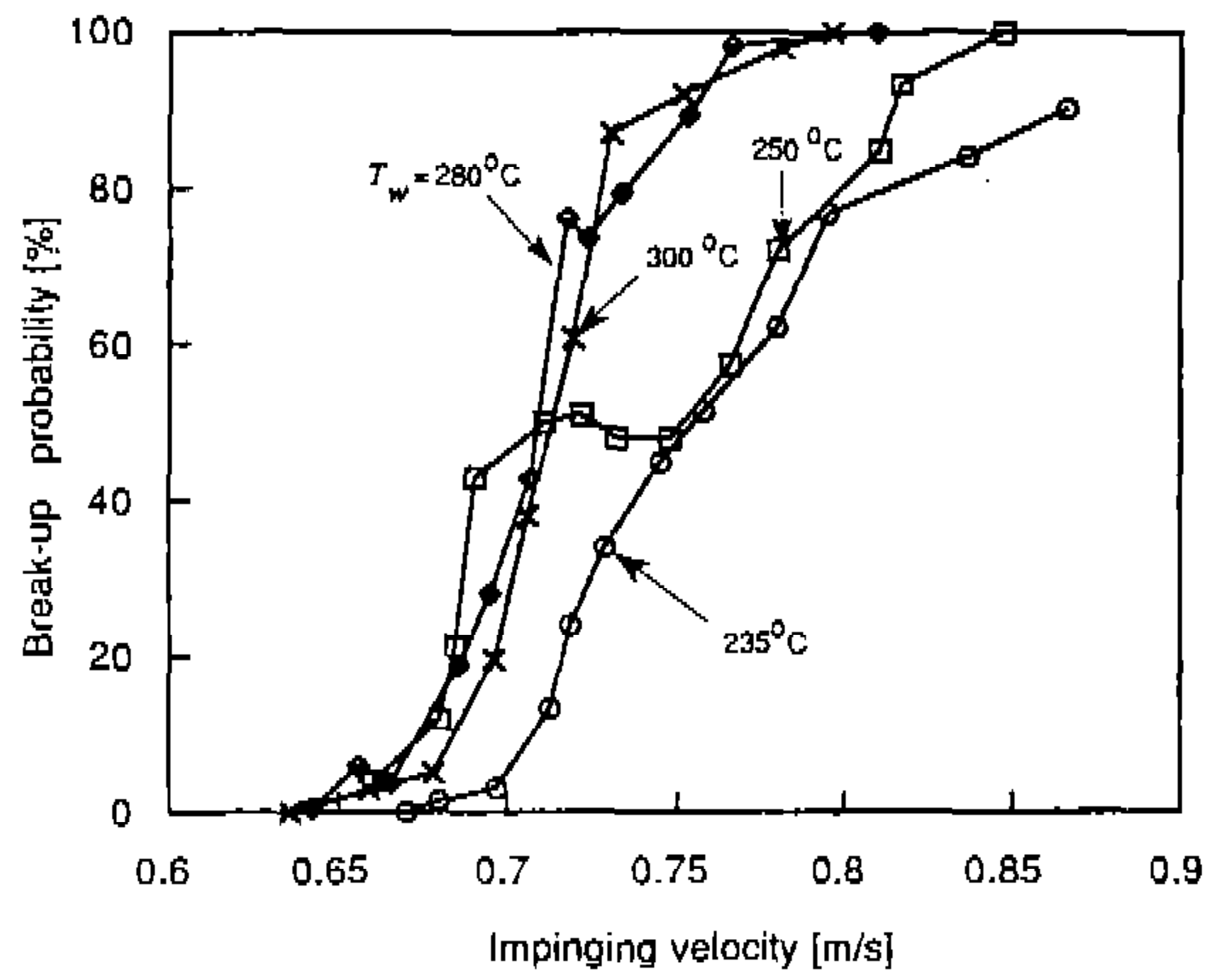


Fig.9 Comparison of T_w effect about V and break-up probability relation with $d = 470\mu\text{m}$ and $\alpha = 60^\circ$.

서서히 증가하여 280°C 이후 100%에 가까운 분열 확률을 보인다. 그보다 작은 속도($V = 0.74\text{m/s}$)에서는 250°C 에서 분열 확률의 부분적인 극대값을 보이고, 255°C 에서 부분적인 극소값을 나타내며, 255°C 이상에서 다시 온도 증가에 따른 분열 확률의 증가 모습을 보인다. $V = 0.70\text{m/s}$ 와 $V = 0.69\text{m/s}$ 에서는 아주 두드러진 극대 극소값을 갖게 된다. 이와같이 부분적인 분열 확률의 극대값과 극소값을 갖는 평판 표면 온도간의 차가 액적 충돌 속도의 감소에 따라 증가하고, 동시에 충돌

속도가 낮아짐에 따라 분열 확률의 극대값이 나타나는 온도가 커짐을 알 수 있는데, 이러한 현상의 결과로 50% 정도의 액적 분열 확률에서 속도의 증가에도 불구하고 분열 확률이 감소하는 온도 영역이 나타난다. 또한 충돌 속도가 증가하면 분열이 시작되는 평판 표면 온도가 조금씩 감소하지만 액적 직경과 충돌각에 따른 표면 온도 감소 한계가 존재한다. 이러한 특성은 충돌속도의 변화시 충돌속도의 증가에 의해 항상 100% 분열 확률로 접근하는 특성을 보이나 표면온도의 변

화에서는 Fig.7과 8에서 보듯이 초기에는 분열 확률이 증가하지만 표면온도가 더욱 증가하면 Fig.2에서 나타나는 온도변화에 따른 증발특성의 비선형성으로 인하여 분열 확률이 반드시 100%로 접근하지는 않음을 알 수 있다.

Fig.9는 $d=470\mu\text{m}$ 일 때, Fig.2에서 나타나는 Leidenfrost온도에 해당하는 250°C 와 최대 열전달율을 보이는 c점과 d점 사이의 온도인 235°C , d점 이후의 영역인 280°C 와 300°C 의 네가지 온도에 대해 충돌각의 60° 로 고정한 채 속도의 변화에 따른 분열 확률 분포를 나타낸 것인데, 250°C 의 평판 온도일 때의 곡선의 개형이 다른 평판 온도에서의 곡선의 개형과 상당히 다르다는 것을 알 수 있다. 다른 세 온도에서의 그래프 개형은 Fig.4에서 본 것과 같이 S형 곡선을 보이지만 250°C 에서는 다른 모습을 보인다. 즉 250°C 의 평판 표면 온도에서는 액적의 $V=0.7\sim 0.75\text{m/s}$ 일 때는 충돌 속도 증가시 분열 확률이 일정한 값을 유지하거나 오히려 약간 감소하고 있다. 또 $V=0.7\text{m/s}$ 이하에서는 평판 표면 온도가 Leidenfrost 온도에 해당하는 250°C 일 때, 다른 세 경우의 평판 표면 온도가 높아짐에 따라 일정 속도하의 분열 확률이 증가한다. 이것은 Fig.8에서 속도 0.7m/s 이하에서는 $T_w=250^\circ\text{C}$ 일 때 분열 확률이 가장 큰 것과 일치하는 결과이다. 250°C 영역은 충돌 액적이 Leidenfrost 현상에 의하여 표면으로 부터 상당히 부유되어 온도가 낮은 경우보다 오히려 증발이 늦어지는 경우에 해당된다. 이 온도 영역은 표면 온도가 증가하면 증발율이 증가하고, 반면 액적이 평판 표면에서 부유하면 증발율이 감소하는 두 가지 성질이 조합되어 Fig.2에서 보이는 것과 같이 증발율이 극소가 되는 영역이다. 이와 같이 250°C 일 때의 곡선 개형이 다른 것은, 증발 특성이 다른 세 경우의 온도와 다르기 때문에 발생하는 것으로 판단되지만, 명확한 설명이 현재까지는 어려운 상태이고, 지속적인 연구가 수행되어야 한다.

4. 결 론

본 실험을 통하여 고온 평판과 충돌하는 액적의

분열에 영향을 미치는 인자는 표면 온도, 충돌 액적 직경, 액적의 충돌 속도 및 충돌각이 있음을 알았다.

데칸의 온도 변화에 따른 증발 시간을 측정 한 결과, 약 198°C 부근에서 최대의 열전달율을 보이며, 255°C 부근에서 Leidenfrost 현상을 나타낸다. 액적의 분열은 천이 영역의 약 $220\sim 230^\circ\text{C}$ 에서 시작되며 Leidenfrost 온도 직전에서 급격한 분열 확률의 증가를 보인다. 이후 액적의 충돌 속도에 따른 분열 확률의 부분적인 극대값과 극소값을 보이며, Leidenfrost 온도를 지난 300°C 부근에서는 충돌 속도의 증가에 대해 분열 확률은 거의 일정하다는 것을 알았다.

이러한 영향으로 인하여 $220\sim 240^\circ\text{C}$ 와 290°C 부근에서는 액적 충돌 속도와 분열 확률간의 관계가 S형 곡선을 나타내고, 250°C 부근에서는 분열 확률 50% 부근에서 충돌 속도의 증가에도 분열 확률이 증가하지 않는 모습을 나타낸다. 또한 속도가 낮은 부분에서는 250°C 근처의 분열 확률이 290°C 부근의 분열 확률보다 더 큰 역전 현상이 나타난다.

충돌 액적의 직경이 작아짐에 따라 충돌 액적의 분열이 일어나는 평판 표면 온도가 약간 감소한다. 액적의 충돌각이 90° 일 때보다 75° 의 충돌각일 때 일정 속도하의 분열 확률이 더 크며, 충돌각이 60° 이하일 때는 일정 속도하의 분열 확률이 크게 감소한다. 이로부터 충돌각 $60\sim 90^\circ$ 에서 일정 속도하의 최대의 분열 확률을 나타내는 최적의 분열각이 존재한다.

본 실험의 결과로 나타난 분열 확률의 제반변수에 따른 비선형성과 분열 특성은, 액적 충돌시 액적의 대변형, 액적과 표면과의 상호작용해석의 난이성, 액적 자체의 형상 변화 특성 등이 충돌 속도, 표면온도, 열전달 특성, 증발에 따른 ejection특성, 형상 변화에 따른 주위 유동의 특성 등 매우 복잡한 요인에 의해 발생하기 때문에 명확한 설명이 현재로서는 부족한 상태이며, 이 분야에 대한 더 구체적인 연구들이 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. T.Y. Xiong and M.C. Yuen, "Evaporation of a liquid droplet on a hot plate," *Int.J. Heat Mass Transfer*. Vol.34, No.7, pp.1881-1894, 1991.
2. Z. Tamura and Y. Tanasawa, "Evaporation and combustion of a drop contacting with a hot surface," *Seventh Symp.(Int.) on Combustion*, pp. 509-522, 1959.
3. K. Makino and I. Michiyoshi, "The behavior of a water droplet on heated surfaces," *Int.J. Heat Mass Transfer.*, Vol.27, No.5, pp.781-791, 1984.
4. Yih-Yun Hsu and Robert W. Graham, *Transport processes in boiling and two-phase systems*, Hemisphere Publishing Corporation, pp.1-2, 71-97, 1976.
5. K Anders., N Roth, A. Frohn, "The velocity change of ethanol droplets during collision with a wall analysed by image processing," *Experiments in Fluids* 15, 91-96, 1993.
6. John B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-hill international editions, pp.698-700, 1988.