

<학술논문>

색상 검출방식의 천이 액정법에서 색상 변화 시간 산정의 정확도 향상

신소민* · 전창수** · 광재수[†] · 정용운***
(2007년 5월 29일 접수, 2007년 9월 11일 심사완료)

Improvement of Accuracy in Evaluating Hue Change Time in the Hue Detection Based Transient Liquid Crystals Technique

Somin Shin, Chang Soo Jeon, Jae Su Kwak and Yong Wun Jung

Key Words: Convective Heat Transfer(대류 열전달), Transient Liquid Crystals(천이 액정법), Technique, Hue Detection(색상 검출)

Abstract

In this paper, different criteria for determining hue change time in the hue detection based transient liquid crystals technique were compared. Results showed that methods utilizing threshold of intensity or saturation gave many missing points and quality of the calculated results were strongly depends on the value of threshold. Wider bandwidth in the hue bandwidth method showed better distribution of calculated hue change time, but induced ambiguity in the hue change time. In the time-hue curve fitting method, the distribution of evaluated hue change time was smooth and reasonable, and, by the nature of curve fitting, the noise effect on the hue was successfully considered in calculating of the hue change time. Compared to other methods, it is expected that the time-hue curve fitting method would provide better and accurate hue change time in the hue detection based transient liquid crystals technique.

기호설명

h : 열전달 계수
 H : 색상
 I : 명도
 k : 시험부의 열전도도
 q'' : 단위면적당 열유속
 S : 채도
 T : 온도
 t : 색깔 변화시간

하첨자

i : 초기상태
 m : 주유동
 w : 표면

그리스문자

α : 시험부의 열확산도
 τ : Duhamel의 중첩법에서의 시간

[†] 책임저자, 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

E-mail : jskwak@kau.ac.kr

TEL : (02)300-0103 FAX : (02)3158-4429

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 대학원

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

*** 한국항공우주연구원 KHP 개발실

1. 서론

액정을 이용한 대류열전달 계수 측정 방법은 공간해상도가 높고 가격이 저렴하며 유동에 교란을 주지 않는 장점을 가지고 있어 다양한 대류열전달

시험에 사용되고 있다. 대류열전달 계수 측정에 사용되는 액정(liquid crystals)은 Cholesteric(액정의 분자 배향이 나선식으로 된 상태) 액정으로서 온도에 따라 연속적인 칼라 스펙트럼을 보이고 압력 등 다른 인자에는 거의 영향을 받지 않는 것으로 알려져 있다. 이러한 액정의 색깔 변화는 가역적이고 반복적이므로 온도에 민감한 액정의 다양한 색깔 변화는 높은 정확성을 갖는 온도 지시계로 이용될 수 있다.

액정을 이용한 열전달 계수의 측정 방법은 크게 정상상태 액정법과 천이 액정법(transient liquid crystals technique)으로 나눌 수 있다. 정상상태 액정법은 액정이 코팅된 시험부에 일정한 열유속을 가하고 그때의 표면 온도를 액정의 색깔을 이용하여 식 (1)에 의해 열전달 계수를 측정하는 방법이다.

$$\dot{q} = h(T_m - T_w) \quad (1)$$

이 방법은 시험부 표면에 일정한 열유속이 공급되어야 하기 때문에 일정 유속을 공급할 수 있는 히터가 사용되어야 한다. 이때 시험 표면 반대쪽으로의 열손실을 정확히 고려하여야 하고 평판이 아닌 형상에 대해서는 일정한 열유속 조건을 얻기 힘들다는 단점이 있다. 반면 천이 액정법은 시험부 표면을 일차원 반무한 고체로 가정한 후 주 유동 온도의 급격한 변화나 주 유동 자체의 급격한 변화를 주어 열전달 계수를 구하기 때문에 일정 열유속 조건이 필요하지 않으므로 다양한 형상에서의 열전달 계수 측정 실험에 적용될 수 있다. 주유동 온도가 일정한 경우, 천이 액정법 적용을 위한 1차원 반무한 고체의 시간에 따른 표면 온도의 변화는 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$\frac{T_w - T_i}{T_m - T_i} = 1 - \exp\left(-\frac{h^2 \alpha t}{k^2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{h \sqrt{\alpha t}}{k}\right) \quad (2)$$

주유동의 온도가 시간에 따라 변할 경우, 그 변화를 많은 스텝 변화로 가정하여 Duhamel의 중첩법을 적용하면 식 (2)를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_w - T_i = (T_{m,0} - T_i) \times F\left(\frac{h \sqrt{\alpha t}}{k}\right) + \sum_{i=1}^n \left[F\left(\frac{h \sqrt{\alpha(t - \tau_i)}}{k}\right) \Delta T_{m,i} \right] \quad (3)$$

여기서, $F(x) = 1 - \exp(x^2) \operatorname{erfc}(x)$

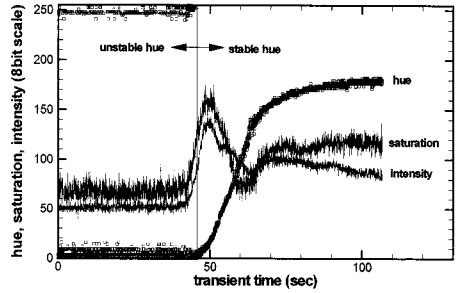


Fig. 1 Variation of hue, saturation, and intensity with time

따라서 주유동 온도(T_m), 표면의 초기 온도(T_i), 시험부의 물성치(α, k), 액정의 색상 변화 분석을 통한 초기 온도에서 표면 온도(T_w)까지 경과된 시간 t 를 측정하면 식 (2) 또는 식 (3)을 통해 액정이 도포된 표면의 대류 열전달 계수(h)를 계산할 수 있다.

액정을 이용한 표면 온도 또는 대류열전달 계수 측정법은 색깔(color)을 분석하는 방법에 따라 단일색깔 검출법과 색상(hue) 검출법으로 분류할 수 있다. 단일색깔 검출법은 표면 온도의 변화에 따른 액정의 색깔 변화 중 한 가지 색깔만을 추적하여 등온선이나 등열전달 계수 선을 구하는 방법이다. 이 방법을 이용하여 온도 또는 열전달 계수의 분포를 얻기 위해서는 히터의 입력 전원을 변화시키면서 많은 수의 실험을 반복하여야 한다. 하지만 색상 검출법은 컴퓨터에 저장된 이미지의 각 픽셀에서 RGB를 추출하여 이를 색상으로 변환하고 온도와 색상의 관계식을 이용해 온도로 환산하므로 시험 표면에서 온도 분포를 동시에 측정할 수 있고 단일색깔 검출법에 비해 조명의 영향을 덜 받기 때문에 많은 연구자들에 의해 사용되고 있다. 액정을 이용한 대류 열전달 계수 측정법의 종류와 응용, 실험법 등은 Baughn,⁽¹⁾ Ekkad와 Han,⁽²⁾ Ireland 등,⁽³⁾ Ireland와 Jones⁽⁴⁾ 등에서 찾을 수 있다.

식 (2) 또는 식 (3)을 이용하여 대류 열전달 계수를 측정하기 위해서는 초기상태부터 미리 정해진 온도(색상)까지 액정이 도포된 표면이 가열 또는 냉각되는 시간을 구해야한다. 이를 위해 시간에 따른 색상의 추적하여 특정 색상까지 걸리는 시간을 추출하여야 하는데, 낮은 명도 조건에서 색상의 불안정한 거동이나 영상 측정 장치에 의한 노이즈의 영향으로 인해 시간 추출에 오차가

발생할 수 있다. Fig. 1은 액정을 이용한 열전달 실험에서 특정 픽셀에 대해 시간에 따른 색상(hue), 채도(saturation), 명도(intensity)의 변화를 나타낸 것이다. 액정이 색깔(color)을 나타내기 이전에는 상대적으로 낮은 명도와 채도를 나타내고 있으며 색상은 매우 큰 진폭을 가지며 불안정한 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 액정이 색깔을 나타내기 시작하면 색상은 단순 증가하는 경향을 보이며 채도와 명도는 최대값을 보인 후 다시 감소하는 경향을 보인다. 액정이 색깔을 나타내어 안정화된 이후에도 영상 장치의 노이즈에 의해 색상이 지속적인 변동을 보이는 것을 볼 수 있다. 정확한 색상 변화 시간을 산출하기 위해서는 이러한 색상의 불안정한 거동과 노이즈의 영향이 이미지 처리 과정을 통해 제거되거나 고려되어야 한다.

Behle 등⁽⁵⁾은 색상 검출 방식의 액정을 이용한 열전달 계수 측정에서 영상 장치의 노이즈에 의한 색상값 변화를 고려하기 위해 면적 평균과 시간 평균 등을 사용하였으며, 시간 또는 면적 평균은 측정된 색상의 노이즈를 효과적으로 감소시킬 수 있음을 보였다. 하지만 면적 평균은 대류 열전달 계수의 구배가 큰 영역에서는 실제 열전달 현상을 왜곡시킬 우려가 있으며, 시간 평균은 색상의 변화 시간을 통해 대류열전달 계수를 계산하는 것이 액정법에는 적합하지 않다.

낮은 명도에서의 색상의 불안정성은 초기 상태에서 정해진 색상까지 변화하는데 걸린 시간을 이용하여 대류 열전달 계수를 계산하는 것이 액정법의 적용에 많은 오차를 야기할 수 있다. 이러한 색상의 불안정성을 고려하기 위해 Camci 등⁽⁶⁾은 색상의 범위(bandwidth)를 설정하고, 각 픽셀의 명도가 설정된 최소 명도값 이상이고 해당 픽셀의 색상이 정해진 색상의 범위에 해당하는 경우를 해당 픽셀의 색상 변화 시간으로 기록하는 방법을 사용하였다. 하지만 이 방법은 낮은 명도에서의 색상의 불안정성을 고려할 수 있지만 영상 장치의 노이즈에 의한 영향을 고려하지 못하는 단점이 있다.

색상검출방식의 천이액정법이 많은 연구자들에 의해 사용되어 왔고 그 측정 정확도 향상을 위한 액정 색깔 변화의 이력현상,^(7,8) 조명의 종류와 카메라 각도의 영향,^(9,10) 2차원 전도의 영향,⁽¹¹⁾ 오차 해석을 통한 주유동 온도 및 액정 온도 범위의

최적화,^(12,13) 엄밀해의 사용⁽¹⁴⁾ 등에 대한 많은 연구가 제시되었다. 하지만 색상 변화 시간의 검출 방법이 계산된 대류 열전달 계수의 오차에 미치는 영향을 고려한 논문은 찾아볼 수 없는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 다양한 색상 변화 시간의 검출 방법을 비교하여 기존 방법의 문제점들을 분석하고, 본 논문에서 제안하는 시간-색상 커브 피팅 방법이 낮은 명도에서의 불안정한 색상의 거동과 영상 장치에 의한 노이즈의 영향을 효과적으로 제거하여 색상 변화 시간의 분포와 정확도를 향상시킬 수 있음을 보이고자 한다.

2. 영상 획득 및 처리 방법

본 연구에서는 1°C 색깔 범위(bandwidth)의 분사 가능한 액정(35C1W, Hallcrest)이 사용되었고 액정의 색깔변화는 디지털 CCD 캡코더(Sony TRV-17)로 촬영되었으며 컴퓨터로 저장되는 동안의 외부 전자기적 노이즈를 최소화하기 위해 IEEE 1394 케이블을 통해 디지털 방식으로 전송되고 상용 이미지 저장 소프트웨어(Pinnacle Studio V.10)를 이용하여 저장되었다. 액정의 색깔 변화는 NTSC(National Television System Committee) 방식으로 컴퓨터에 30프레임/초의 속도로 DV(Digital Video) 포맷, AVI(audio video interleaving)파일로 실시간 저장되었고, 저장된 AVI파일의 각 프레임의 각 픽셀에서 Matlab을 이용해 작성된 영상처리 프로그램을 이용하여 RGB를 계산하고 이를 HSI(Hue, Saturation, Intensity)로 변환한 후 색상 변화 시간을 계산하였다.

색상(hue)은 RGB의 조합에 의해 결정되는 각도(0~360°)로 정의되며,⁽¹⁵⁾ 8비트 스케일의 경우 0~255의 값을 갖게 되는데, 낮은 명도에서는 각도로 정의된 색상이 불안정한 거동을 하는 것으로 알려져 있다. 액정을 이용한 열전달 실험 시, 액정 색깔의 가시성을 높이기 위해 시험부 표면에 검정색 페인트를 바른 후 액정을 도포하므로 액정이 색깔을 나타내기 이전 영역은 명도가 낮게 나타나게 되고, 이에 의해 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 색상은 상당히 불안정한 값을 갖게 된다. 이러한 색상의 불안정한 거동은 액정이 색깔을 나타내면(명도 또는 채도가 증가되면) 안정화된다. 따라서 색상 검출 방식의 천이액정법에서는 색상 변화 시간은 색상이 안정화된 영역에서만 고려되어야 한다.

본 연구에서는 다음과 같은 색상 변화 시간의 계산 방법을 사용하고 동일한 실험 결과에 대해 각 방법에 의해 계산된 결과를 비교하고자 한다. 각 방법에 대한 이미지 처리 프로그램은 각 픽셀에서 다음의 조건을 만족시키면 초기 상태에서 해당 프레임까지의 시간을 색깔 또는 색상 변화 시간으로 기록하도록 하였다.

- 1) $I > I_{threshold}$ and $H > H_{threshold}$
- 2) $S > S_{threshold}$ and $H > H_{threshold}$
- 3) $H_{min} < H < H_{max}$
- 4) $H-t$ 커브 피팅 \Rightarrow 미리 정해진 H 에 해당하는 t 계산

2.1 방법 1 : 최소 명도와 최소 색상값 이용

이 방법은 액정의 색상이 안정화되기 시작하면 명도가 증가하는 액정의 특성을 이용한 방법이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 색상이 안정화 되는 영역에서는 명도가 약 90 정도의 값을 가지므로 명도의 최소값을 90 이상으로 설정하였다. 이 방법에서는 하나의 최소 명도값을 이용하여 시험부 전체의 색상 변화 시간을 산출하기 때문에 시험부 전체의 조명 분포가 고르지 않거나 각 픽셀의 색상-명도 관계가 차이가 나는 경우에는 색상 변화 시간 계산에 오차가 발생할 수 있을 것으로 예상된다.

2.2 방법 2 : 최소 채도와 최소 색상값 이용

이 방법은 방법 1과 유사한 방법으로, 색상이 안정된 영역에서 채도가 증가하는 특성을 이용한다. 이 방법 역시 시험부 전체의 픽셀에서 색상-채도의 관계가 일정하지 않으면 계산된 색상 변화 시간에 오차가 발생할 것으로 예상된다.

2.3 방법 3 : 색상 범위 이용

Fig. 3은 각 픽셀에서의 색상값이 미리 정해진 색상 범위 내에 있을 때의 시간을 색상 변화 시간으로 기록하는 방법을 나타낸 것이다. 색상이 불안정한 거동을 보이는 낮은 명도에서 색상값은 50이하 또는 200 이상의 값을 갖게 되므로 50에서 200 사이의 적절한 범위의 색상 범위를 선정하면 낮은 명도 영역의 색상 거동을 효과적으로 고려할 수 있다. 하지만 Fig. 3에서 보는 바와 같

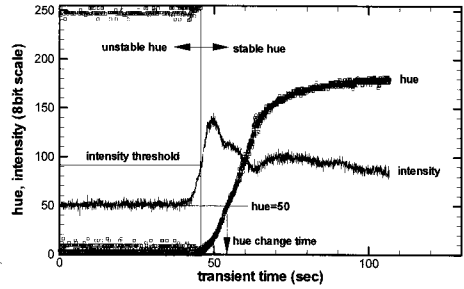


Fig. 2 Hue change time calculation by method 1

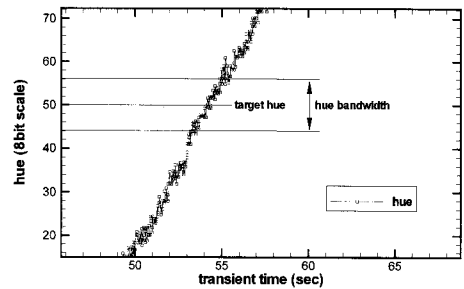


Fig. 3 Hue change time calculation by method 3

이 설정된 색상의 범위가 너무 크면 범위 내에 여러 데이터가 존재하게 되어 색상 변화 시간을 정의하기 어려운 현상이 발생한다. 반면 색상의 범위가 너무 좁으면 설정된 범위 내에 색상값이 존재하지 않는 픽셀이 발생할 수 있다. 따라서 이 방법은 방법 1과는 달리 표면 전체의 명도나 채도의 균일도와 상관없이 색상 변화 시간을 계산할 수 있지만 색상 범위의 선정에 따라 색상 변화 시간에 오차가 발생하거나 색상 변화 시간을 산출하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 노이즈에 의한 색상의 변동은 고려하지 못하는 단점이 있다.

2.4 방법 4 : 시간-색상에 대한 커브 피팅

위에서 설명한 방법 1과 2는 시험부 전체의 조명 강도나 색상과 명도, 색상과 채도의 관계가 시험부 전반에 걸쳐 일정해야만 전 영역에 걸쳐 색상 변화 시간을 계산할 수 있다. 하지만 일반적으로 사용되는 액정은 스프레이건을 사용하여 시험부에 살포되므로 표면의 거칠기나 액정의 두께, 조명의 불균일 등에 의해 시험부 전체의 명도나 채도 조건을 동일하기 유지하는 것은 불가능하다. 방법 3의 경우, 명도나 채도 조건을 사용

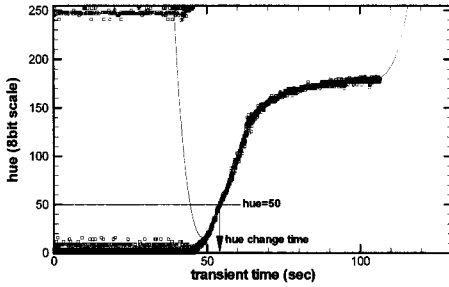


Fig. 4 Hue change time calculation by method 5

하지 않기 때문에 색상 변화 시간의 계산은 용이하지만 앞서 언급한 바와 같이 색상 범위에 따라 색상 변화 시간이 다르게 나타나거나 산출되지 않는 경우가 발생한다. 또한 위에서 언급한 방법 모두 영상 장치에 의해 색상에 발생하는 노이즈의 영향은 고려하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 본 연구에서는 시간에 따른 색상 변화를 다항식을 사용하여 커브 피팅하고 그 결과를 이용하여 특정 색상까지 변화하는데 걸리는 시간을 계산하는 방법을 적용하였다. 이 방법은 색상이 안정화된 영역에 대해서만 커브 피팅을 수행하므로 불안정한 영역의 색상 거동을 고려할 수 있고, 커브 피팅의 특성 상 각종 노이즈에 의한 색상의 변동도 고려할 수 있다. 커브 피팅을 수행하여 색상 변화 시간을 계산하는 절차는 다음과 같다.

- 1) 동영상의 모든 픽셀에서 색상 정보 읽음
- 2) 각 픽셀에 대해 시간에 따른 색상 변화 행렬 작성
- 3) 색상의 값 및 진동 폭을 고려하여 커브 피팅 시작점 결정
- 4) 각 픽셀에 대해 시간과 색상 커브 피팅
- 5) 각 픽셀에 대해 미리 정해진 색상(50)까지 걸린 시간 계산

이러한 과정은 Matlab을 이용하여 연구자에 의해 직접 개발된 영상처리 소프트웨어로 일괄적으로 처리되었다. Fig. 4는 커브 피팅을 적용하여 색상 변화 시간을 계산하는 과정을 나타낸 것으로, 10~150 영역의 색상에 대해 7차 다항식으로 커브 피팅을 수행하였다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이 커브 피팅을 안정화된 영역에서의 색상의 변동을 효과적으로 고려할 수 있으며, 방법 3에서

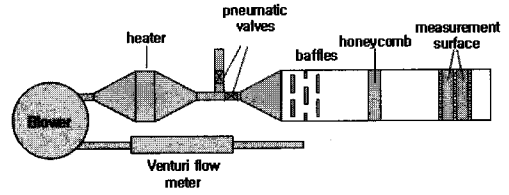


Fig. 5 Schematic of test section (not to scale)

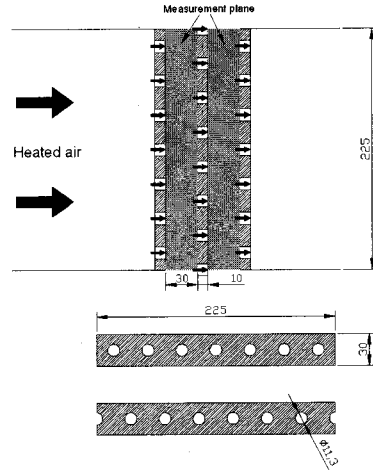


Fig. 6 Detailed view of test section

발생할 수 있는 색상 변화 시간의 모호성이나 시간 산출의 불가능 등을 방지할 수 있다. 이 방법은 계산하고자 하는 모든 픽셀의 시간에 따른 색상 변화를 고려하는 영상 처리 과정을 거쳐야 하므로 고성능의 컴퓨터를 필요로 한다. 최근 PC 성능의 향상은 일반적인 개인 PC로도 이와 같은 영상처리를 가능하게 하고 있다.

3. 대류열전달 측정 시험에의 적용

앞서 언급된 4가지 색상 변화 시간 계산 방법을 동일한 대류열전달 측정 실험에 적용하였다. 이 논문에서는 각 방법에 의해 계산된 색상 변화 시간을 비교를 위해 계산된 시간 데이터만을 제시하였다.

Fig. 5는 가스터빈 블레이드 뒷전 내부 모델의 열전달 계수 측정을 위한 시험 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 시험 장치는 유량 측정을 위한 벤추리 유량계, 블로워(최대 유량=9.3m³/min), 전기 히터(12 kW), 유동 방향 전환을 위한 두 개의

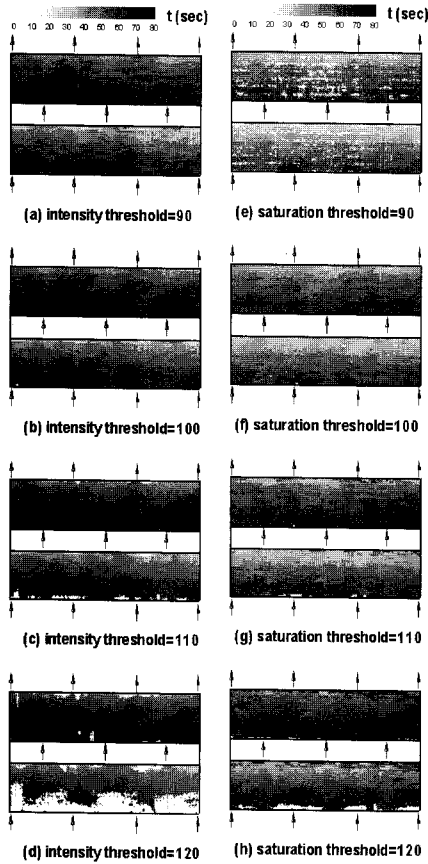


Fig. 7 Calculated hue change time by intensity(a-d) and saturation(e-h) threshold methods

공압 밸브 등으로 구성되어 있다. Fig. 6은 측정부를 나타낸 것으로, 225mm×35mm의 직사각형 덕트 내에 3개의 홀이 뚫린 장애물을 설치하고 각 장애물의 홀에 의한 제트가 하류의 장애물에 충돌하도록 홀을 엇갈려 배치하였고 덕트의 수력 직경과 평균 속도로 계산된 레이놀즈수는 20000으로 설정하였다. 액정 색깔의 시인성을 확보하기 위해 검은색 페인트와 1℃의 색깔 범위를 갖는 액정(35C1W, Hallcrest)을 시험부에 살포하고, 시험부 위에 조명과 디지털 CCD 카메라를 설치하였다. 공기가 가열되는 도중에는 바이 패스되었고 공기의 온도가 미리 전해진 온도에 도달하면 공압 밸브를 작동하여 시험부로 가열된 공기가 유입되도록 하였다. 이때의 색깔 변화를 디지털 캠코더를 이용하여 촬영하고 PC로 저장하였다. 동일한 색깔 변화 영상에 대해 색상 변화 시간을 구하기 위해 앞서 언급한 방법들을 적용하였고 측정 색상 기준 값은 50으로 하였다.

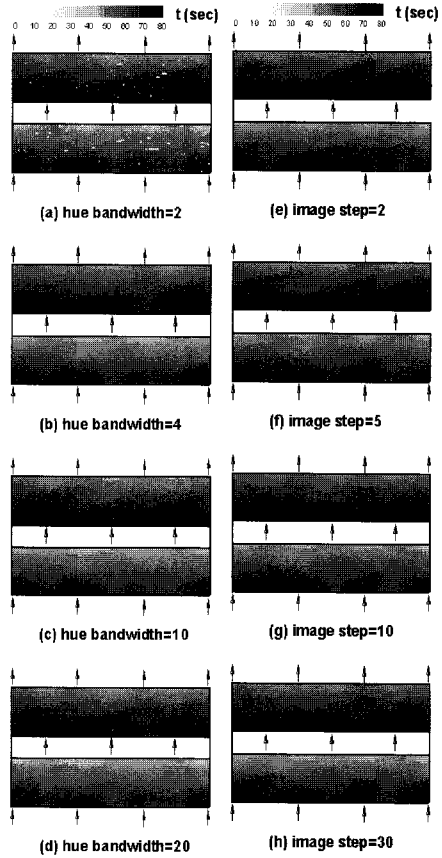
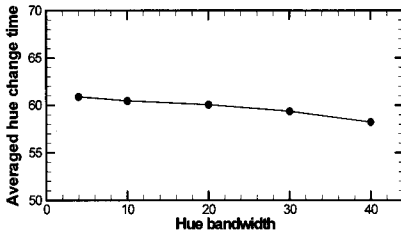


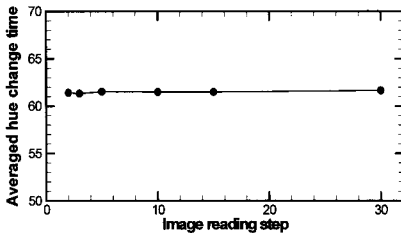
Fig. 8 Calculated hue change time by hue bandwidth(a-d) and curve fitting(e-h) methods

Fig. 7은 최소 명도(Fig. 7(a)-(d))와 최소 색상(Fig. 7(e)-(h))을 이용하여 색상 변화 시간을 계산한 결과이다. 두 경우 모두 최소 명도나 최소 색상 설정 값에 따라 계산된 결과가 많은 차이를 보이며 너무 높거나 낮은 설정값에서는 색상 변화 시간이 계산되지 않은 영역이 발생하였으며 색상 변화 시간의 분포가 매끄럽지 못하게 나타났다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 시험부 전체의 조명 강도나 액정의 코팅 상태, 두께 등이 완전히 균일하지 않고, 이에 의해 각 픽셀에서 색상-명도, 색상-채도의 관계가 일정하지 않아서 발생하는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 색상 범위와 커브 피팅을 이용하여 색상 변화 시간을 계산한 결과이다. 두 경우 모두 최소 명도나 최소 색상을 이용하는 방법에 비해 매끄러운 색상 변화 시간 분포를 나타낸다. 색상 범위를 이용한 경우(Fig. 8(a)-(d)), 너무 좁은 색상



(a) hue bandwidth method



(b) time-hue curve fitting method

Fig. 9 Averaged hue change time

범위에서는 색상 변화 시간이 계산되지 않는 부분이 발생하였다. 색상 범위를 증가시킬수록 이러한 색상 변화 시간이 계산되지 못한 픽셀은 줄어들지만 색상 범위를 증가시키면 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 다수의 시간 지점이 색상 범위 내에 포함되므로 색상 변화 시간의 산출에 모호성이 발생한다.

시간-색상 커브 피팅을 이용한 경우(Fig. 8(e)-(f)), 이미지 파일을 읽는 스텝을 변화시키며 색상 변화 시간을 계산하였다. 즉, 스텝이 2인 경우에는 매 2장마다 이미지를 읽어서 각 픽셀에서의 시간-색상 커브 피팅을 수행하였다. 그 결과, 스텝의 크기는 색상 변화 시간의 분포에 거의 영향을 끼치지 않은 것을 볼 수 있다.

Fig. 9(a)는 색상 범위의 크기에 따른 색상 변화 시간의 평균값을 나타낸 것으로, 색상의 범위가 증가할수록 색상 변화 시간의 평균값이 작아지는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 말한 바와 같이 주어진 조건을 만족시키는 첫 번째 시간을 색상 변화 시간으로 기록하는 이미지 처리 알고리즘에 의해 발생하는 것이다. 따라서 Fig. 8(a)에서 볼 수 있는 색상 변화 시간이 계산되지 않는 영역을 줄이기 위해서는 색상 범위를 크게 하여야 하지만 이럴 경우 색상 변화 시간이 과소평가되는 현상이 발생한다. 따라서 색상 범위 방법을 사용하여 색상 변화 시간을 계산할 경우, 색상 범위의 선정에 주의하여야 할 것으로 판단된다.

커브 피팅 방법의 경우(Fig. 9(b)), 계산된 평균 색상 변화 시간은 이미지 파일을 읽는 스텝의 크기에 거의 영향을 받지 않는 것을 볼 수 있다. 따라서 시간-색상을 커브 피팅하여 색상 변화 시간을 계산할 수 있다면 계산 결과에 영향을 미치지 않으면서 계산되는 이미지의 양을 줄일 수 있으므로 계산 시간을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 색상 검출 방식의 천이 액정법에서 색상 변화 시간을 산출하는 여러 가지 방법을 비교하였다. 그 결과, 명도나 채도의 최소값을 이용하는 방법은 계산된 색상 변화 시간의 분포가 부드럽지 못하거나 많은 픽셀에서 색상 변화 시간을 산출하지 못하는 경우가 발생하였다. 색상 범위를 이용하는 방법에서는 색상의 범위가 너무 좁으면 색상 변화 시간이 산출되지 못하는 경우가 발생하고 색상 범위가 커질수록 색상 변화 시간의 계산에 모호성이 발생하였다. 또한 색상 범위의 크기에 따라 색상 변화 시간의 값이 다르게 나타났다. 시간-색상 커브 피팅 방법의 경우, 색상 변화 시간이 자연스러운 분포를 보였으며 이미지를 읽는 스텝의 크기가 변화여도 계산된 색상 변화 시간에는 거의 영향을 끼치지 않았다. 따라서 시간-색상 커브 피팅 방법을 색상 검출 방식의 천이 액정법에 적용한다면 낮은 명도에서의 색상의 불안정한 거동과 영상 장치의 노이즈에 영향을 효과적으로 제거하여 기존의 색상 검출 방법에 비해 개선된 데이터의 분포 및 타당한 색상 변화시간을 구할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 이미지를 읽는 스텝을 조절함으로써 계산 시간을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 산업자원부 한국형헬기 민군겸용구성품 개발사업(KARI주관) 및 2006년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-331-D00073).

참고문헌

- (1) Baughn, J. W., 1995, "Liquid Crystal Methods

- for Studying Turbulent Heat Transfer," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 16, No. 5, pp. 365~375.
- (2) Ekkad, S. V. and Han, J. C., 2000, "A Transient Liquid Crystal Thermography Technique for Gas Turbine Heat Transfer Measurements," *Measurement Science and Technology*, Vol. 11, pp. 957~968.
- (3) Ireland, P. T., Neely, A. J., Gillespie, D. R.H., and Robertson, A. J., 1999, "Turbulent Heat Transfer Measurement Using Liquid Crystals," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 20, pp. 355~367.
- (4) Ireland, P. T. and Jones, T. V., 2000, "Liquid Crystal Measurements of Heat Transfer and Surface Shear Stress," *Measurement Science and Technology*, Vol. 11, pp. 969~986.
- (5) Behle, M., Schulz, K., Leiner, W., and Fiebig, M., 1996, "Color-Based Image Processing to Measure Local Temperature Distributions by Wide-Band Liquid Crystal Thermography," *Applied Scientific Research*, Vol. 56, pp.113~143.
- (6) Camci, C., Kim, K. and Hippensteele, S. A., 1992, "A New Hue Capturing Technique for The Quantitative Interpretation of Liquid Crystal Images Used in Convective Heat Transfer Studies," *Journal of Turbomachinery*, Vol. 114, pp. 765~775.
- (7) Baughn, J. W., Anderson, M. R., Mayhew, J. E., and Wolf, J. D., 1999, "Hysteresis of Thermo-chromic Liquid Crystals Temperature Measurement on Hue," *Journal Of Heat Transfer*, Vol. 121, pp. 1067~1072.
- (8) Anderson, M. R. and Baughn, J. W., 2004, "Hysteresis in Liquid Crystla Thermography," *Journal of Heat Transfer*, Vol. 126, pp. 339~346.
- (9) Farina, D. J., Hacker, J. M., Moffat, R. J. and Eaton, J. K., 1994, "Illuminant Invariant Calibration of Thermo-chromic Liquid Crystals," *Experimental Thermal and Fluid Science*, pp. 1~9.
- (10) Chan, R. L., Ashforth-Frost, S. and Jambunathan, K., 2001, "Calibrating for Viewing Angle Effect During Heat Transfer Measurements on a Curved Surface," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 44, pp. 2209~2223.
- (11) Kingsley-Rowe, J. R., Lock, G. D. and Owen, J. M., 2005, "Transient Heat Transfer Measurements Using Thermo-chromic Liquid Crystal: Laterla Conduction Error," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 26, pp. 256~263.
- (12) Hocker, R., 1996, "Optimization of Transient Heat Transfer Measurements usign Thermo-chromic Liquid Crystals Based on an Error Estimation," ASME Paper 96-GT-235.
- (13) Owen, J. M., Newton, P. J., and Lock, G. D., 2003 "Transient Heat Transfer Measurements using Thermo-chromic Liquid Crystal. Part 2: Experimental Uncertainties," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 24, pp. 23~28.
- (14) Newton, P. J., Yan, Y., Stevens, N. E., Evatt, S. T., Loel, G. D. and Owen, J. M., 2003 "Transient Heat Transfer Measurements using Thermo-chromic Liquid Crystal. Part 1: An Improved Technique," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 24, pp. 23~28.
- (15) Foley, J. D., Van dam, A., Feiner, S. K., and Hughes, J. F., 1990, "Computer graphics: Principles and practice," Addison-Wesley Publishing Company, 2nd Edition.