정량적 유동가시화 기술을 이용한 이종연료유 과도 혼합 농도분포 측정

염주호¹ · 도덕희^{2†} · 조경래² · 민성기³ · 김명호³ · 유경원³

¹한국해양대학교 대학원, ²한국해양대학교 기계에너지시스템공학부, ³국방과학연구소 제1기술연구본부 5부

Measurements on Transient Mixing Concentrations of Two Fuel Oils using a Quantitative Flow Visualization Technique

JOOHO YUM¹, DEOGHEE DOH^{2†}, GYEONGRAE CHO², SEONGKI MIN³,
MYUNGHO KIM³, GYONGWON RYU³

¹Grad. School of Korea Maritime Univ.

²Division of Mechanical and Energy Systems Engineering, Korea Maritime Univ., 1 Dongsam-dong,
Youngdo-gu, Busan 606-791, Korea

³Agency for Defense Development, The 1st R&D Institute-5, Yuseong P.O.Box 35, Daejeon, 305-500, Korea

Abstract >> Transient mixing states of two different fuel oils, dimethylformamide (DMF) oil and JetA1 oil, were investigated by using a color image processing and a neural network. A tank ($D \times H$, 310×370 mm) was filled with JetA1 oil. The DMF oil was filled at a top tank, and was mixed with the JetA1 oil in the tank mixing tank via a sudden opening which was performed by nitrogen gas with 1.9 bar. An impeller was rotated with 700 rpm for mixing enhancements of the two fuel oils. To visualize the mixing state of the DMF oil with the JetA1 oil, the DMF oil was coated with Rhodamine B whose color was red. A LCD monitor was used for uniform illumination. The color changes of the DMF oil were captured by a camcorder and the images were transferred to a host computer for quantifying the information of color changes. The color images of two mixed oils were captured with the camcorder. The R, G, B color information of the captured images was used to quantify the concentration of the DMF oil. To quantify the concentration of the DMF oil in the JetA1 oil, a calibration of color-to-concentration was carried out before the main experiment was done. Transient mixing states of DMF oil with the JetA1 oil since after the sudden infiltration were quantified and characterized with the constructed visualization technique.

Key words : Two different fuel oils(이종연료유), Transient mixing(과도 혼합), Color information(색상정보), Neural network(신경망), Concentration(농도)

Nomenclature

D : tank diameter, mm

H : tank height, mm

E : error in the output layer

v, w : connection weights

δ : error in the hidden layer

[†]Corresponding author : doh@hhu.ac.kr

[접수일 : 2012.7.31 수정일 : 2012.8.17 게재확정일 : 2012.8.24]

Copyright © 2012 KHNES

Subscripts

i, j : number of neuron

1. 서 론

교반(agitation)은 고체와 액체, 액체와 기체 등 물리적, 화학적 성질이 다른 2가지 물질을 혼합하는 것을 의미하며 이러한 교반을 위해서 교반기를 사용하며 용도에 적합한 교반기를 선정하기 위해서는 교반의 목적, 교반액의 물성치, 임펠러의 형태와 치수, 회전수를 고려해야 한다. 이러한 교반기는 최근 산업발전으로 인하여 생화학 분야와 환경 분야에서의 사용이 늘어나고 있어서 교반기내의 혼합유동 해석에 대한 중요성이 강조되고 있다. 교반기 내부 유동은 매우 복잡한 유동특성을 지닌 관계로 분석과 예측이 용이하지 않지만, 혼합유동의 시간에 따른 농도변화를 알 수 있다면 혼합시간 단축과 보다 완벽한 혼합이 가능하므로 교반기내의 혼합농도에 대한 연구가 이어져 왔다.

한편, 교반기내의 혼합현상을 이해하기 위한 실험적 연구로서 Van't Riet과 Smith¹⁾는 사진기술(photo-graphic)을 이용한 러쉬톤(Rushton) 터빈형의 교반날개 끝단 와류(vortex)의 구조와 궤적을 분석하였으나 정성적인 평가에 근거를 두었다. Costes등²⁾은 동일한 러쉬톤 터빈 교반기 내의 유동에 대하여 레이저도플러 유속계로 난류특성을 정량적으로 평가하였으나 측정법의 제약상 시간평균값에 국한하였다. 이들 결과로부터 얻어진 유동특성을 이용하여 교반기 설계에 적용되어 왔지만, 난류혼합과정에서 수동적인 스칼라량(passive scalars)이 어떤 메커니즘으로 혼합이 진행되는 지에 대한 연구가 필요하게 된다. Houcine 등³⁾은 연속적으로 교반되고 있는 유동장에 대해 농도장 측정을 위하여 PLIF(planar laser induced fluorescence)기법을 적용하였으며, 이를 통하여 혼합효율이 임펠러 종류에 따라 달라짐을 보였다. Guillard등⁴⁾은 PLIF기법을 이용하여 batch형의 교반탱크에서 순간적인 농도장을 구하였는데, 형광물질을 벌크유동장 및 임펠러 유동장에 주입하고 얻어진 순간 농도장들을 통계처리하여 거시적인 농도장 구조를 제시하였다. Jeong과 Kim⁵⁾은 LIF기법을 이용하여 러쉬톤 터빈 교반기내 전체 농도장에 대한 비정상(unsteady) 혼합특성을 비교적 상세하게 정리하였다. 지금까지

교반기 내 농도장에 대한 측정해석은 대부분이 LIF 기법에 의거해 왔는데, LIF기법은 레이저광원을 2차원적인 단면으로 형성시켜 농도장에 조사(illumination)하는 관계로 동일한 측정위치에서 동일한 농도임에도 불구하고 레이저광원의 밝기가 시간적으로 변화하는 현상(intensity variance)에 의하여 측정결과에 불확도가 높게 된다. 뿐만 아니라 LIF기법을 이용한 대부분의 농도장측정 관련 연구는 Rhodamin B 용액을 교반기 탱크의 임의의 위치에서 주입하여 Rhodamin B 용액의 확산과정을 측정한 관계로, 실제로 혼합하고자 하는 2가지 액체의 혼합과정으로는 보기가 어렵다.

본 연구에서는 레이저광원 사용에 따른 단점인 밝기변화(intensity variance)를 보완하기 위하여 균일한 광원을 보장하는 LCD모니터를 이용한 가시화기법을 구축하여, 이를 서로 다른 연료유를 혼합시키는 과정에서 발생하는 농도장의 시간적 변화에 대한 정량적 규명에 적용하고자 하는 것을 연구의 목적으로 삼고 있다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig. 1은 이중연료유의 혼합을 위한 교반기를 나타낸다. 유리재질로 되어 있는 원통형 탱크(310 x 370mm, D x H)내부에 JetA1유가 채워져 있고 탱크상부에는 3.75ℓ의 DMF가 채워져 있다. 혼합을 촉진시키기 위하여 Fig. 1과 같이 탱크중심축에 교반용 임펠러가 설치되어 있다. 탱크 바닥 중앙부에 교반을 활성화시키기 위하여 40 × 180mm (D × H)의 크기의 원형 봉이 설치되어 있다. 이 원형 봉과 임펠러의 간격은 4mm이며, 실험에 사용된 임펠러는 직경이 120mm이며 HE-3 type이다.

탱크상부에 설치된 DMF유 저장탱크에는 질소가스가 1.9bar의 압력으로 가해지도록 되어 있고 DMF유와 JetA1유 사이에는 얇은 격막판(rupture disc, 두께는 500μm)이 설치되어 있다. 이 얇은 격막판은 DMF유 저장탱크 상부로부터 가해지는 질소가스의 압력에

Fig. 1 Agitator geometry

의하여 순간적으로 파열되도록 되어 있다. 과도상태는 질소가스통 출구에 설치된 전자밸브의 순간적인 개방으로 시작된다.

Fig. 2는 전체 실험장치를 나타낸다. DMF유의 JetA1유와의 과도혼합 상태를 가시화하기 위하여 위하여 DMF유에는 Rhodamin B용액을 미량(4g) 착색 시켰으며 착색된 DMF유는 진분홍색을 띠게 된다. 또한 진분홍색을 띤 DMF유의 과도혼합 상태의 가시화를 위한 광원으로서 LCD모니터를 원통의 최외각 표면에서부터 약 150mm떨어진 곳에 설치하여 사용하였다. 광원에 의하여 가시화된 혼합유동장의 영상

Fig. 2 Measurement system for concentration

Table 1 Used fuel oil properties

Fuel oil name	Density(kg/m^3)	Viscosity(cp)
Jet A1	808	1.313
DMF	944	0.92

을 기록하기 위하여 Fig. 2에 있는 캠코더 카메라를 반대쪽 벽면으로부터 약 300mm위치에 설치하였다. LCD모니터 외의 빛의 영향을 없애기 위하여 암막실에서 실험을 실시하였다. DMF유의 농도에 따른 색상의 변화를 기록하기 위하여 사용된 캠코더카메라의 프레임수는 60fps이며, 얻어진 캠코더 영상을 이용하여 호스트컴퓨터상에서 색상정보를 정량화하였다. Table 1은 혼합실험에 사용된 2가지 연료유의 물성을 나타낸다. 한편, 본 연구에서는 레이저의 2차원 단면광원을 이용하여 단면상의 확산과정을 정량화하는 것과 달리 Fig. 2에서는 보이는 바와 같이 LCD모니터의 광원에 의하여 가시화된 depth of field방향 전체에 대한 가시화결과를 정량화하는 데 초점을 맞추고 있는데, 이는 본 연구의 혼합유동장은 원통형 탱크 내에서 교반기(agitator)가 이미 700rpm으로 회전하고 있는 정상상태 (steady) 유동장인 관계로 혼합되는 과정이 매크로(macro)하게는 축대칭으로 볼 수 있기 때문이다.

2.1 실험 방법

실험은 크게 두 가지 순서로 진행하였다. 먼저 DMF유의 혼합농도에 따른 색상의 변화를 정량화하는 교정 실험(color-to-concentration calibration)을 실시하였고, 이어서 격막판의 파열을 통한 과도혼합 실험을 실시하였다. 교정실험에서는 DMF유의 농도에 따른 색깔의 변화를 전술한 캠코더 영상으로 저장하였고, 이 영상을 3원색(R: red, G: green, B: blue) 영상으로 분리하였으며, R, G, B 각각의 영상값은 픽셀당 8bit의 칼리 정보를 가지므로 0~256 사이의 값을 가지게 된다. 이들 값을 이용하여 색상(H: hue), 채도(S: saturation), 밝기(I: intensity)의 값을 각각 구하였다.

가시화를 위하여 사용된 LCD모니터의 빛은 교반

Fig. 3 Images used for color-to-concentration calibration

기 탱크의 상부와 하부 그리고 좌우전후로 반사광이 균일하지 않는 관계로 동일한 농도라 할지라도 탱크의 위치별로 색의 정보(R, G, B, H, S, I)가 다르게 나게 되므로 색과 농도의 관계(color-to-concentration calibration)는 완전한 비선형성을 가지게 된다. 따라서 본 연구에서는 색-농도 정량화를 위하여 비선형성 맵핑(mapping)에 우수한 성능을 지닌 신경망(neural network)을 이용하였다.

2.2.1 교정 실험

교정 실험에서는 DMF의 농도에 따른 색의 변화 관계를 얻어낸다. 유리재질의 원통 내부에 JetA1유 24.9ℓ를 가득 채우고 DMF를 0 vol%(부피농도)부터 2vol%씩 증가시키며 50vol%까지 변화시켜 가면서 캡코드 영상을 기록하였으며, 54vol%부터는 4vol%씩 증가시켜가면서 100vol%까지의 캡코드 영상을 기록하였다. 이러한 방식으로 총 30개의 색-농도 관계

를 나타내는 영상을 얻었다. Fig. 3은 색-농도 관계를 얻기 위한 교정실험 영상을 나타낸다. 탱크내의 모든 영역에서 DMF유가 JetA1유에 균일하게 혼합되도록 임펠러를 장시간(30초 이상) 700rpm으로 교반시켰다.

각 농도별 영상은 탱크 내 혼합상태가 균일상태로 판단되는 시점에서부터 약 5초간 총 200장의 영상을 평균한 영상을 교정용 영상으로 사용하였다. 균일상태의 판단기준은 탱크내의 각 위치별 색의 정보를 비교하여 차이를 보이지 않을 때를 균일한 것으로 간주하였다. 총 200장의 평균영상의 색의 정보(R, G, B, H, S, I)를 이용하여 전술한 바와 같이 신경망을 이용하여 색-농도 관계를 구하였다.

2.2.2 신경망을 이용한 색-농도 정량화

전술한 바와 같이 동일한 DMF유 농도라 할지라도 탱크의 위치별로 색의 정보(R, G, B, H, S, I)가 다를 수 있는 관계로 색과 농도의 관계는 비선형성을 가지게 된다. 비선형성을 지닌 색-농도 관계에 대하여 정량적 평가를 위하여 비선형성 맵핑(mapping)에 많이 이용되는 신경망(neural network)⁶⁾을 이용하였다. Fig. 4는 본 연구에 신경망을 나타낸다. 신경망은 입력층, 중간층, 출력층으로 구성되어 있으며 입력층에는 총 8개의 정보(R, G, B, H, S, I 및 영상에서의 위치 X, Y)가 입력되고 중간층은 20개, 출력층은 1개로 구성하였다. 즉, 입력층은 8개의 뉴런(neuron), 중간층은 20개의 뉴런, 출력층은 1개의 뉴런으로 구성하였다.

이하에 색과 농도 관계를 구하기 위하여 적용된 신경망의 계산과정을 기술한다. 각 뉴런은 다른 뉴런으로부터 신호를 받아들이는 형태의 모델로 표현될 수 있는데 그 관계식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다⁶⁾.

$$out = f(\sum v_i x_i + bias) = f(net) \quad (1)$$

여기서, v_i 는 결합계수, $bias$ 는 각 뉴런에 주어지는 오차값을 나타낸다. 각 뉴런(neuron)의 출력값에 대하여 연결망값(net value)에 신경망의 임계 함수적인 동작을 잘 표현할 뿐만 아니라 미분가능하고 수학적

Fig. 4 Application of Neural Network

으로 편리한 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있는 식 (2)와 같은 시그모이드함수(Sigmoid function)⁶⁾를 사용하여 구하였다.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-(ax-b)}} \quad (2)$$

여기서 a , b 는 임의의 상수인데 본 연구에서는 학습의 포화(saturation)구간에서의 계산능력을 향상시키기 위하여 Fig. 5와 같이 출력값에 바이어스(0.166666)를 둔 형태의 함수를 사용하였다. 이 값은 함수값의 상부와 하부에서의 포화상태(saturation) 영역에서 반복학습을 위한 계산시간이 가장 짧게 되는 곳에 cut-off한 값이다. 신경망은 반복학습에 의해서 원하는 지식을 습득하는 것인데, 본 연구에서는 학습 오차가 원하는 수준으로 감소할 때까지 결합하중(connection weight)과 바이어스(bias)를 조정하는 방식인 오류 역전파 알고리즘(back-propagation algorithm: 이하 BP법)⁹⁾을 사용하였다. 식 (3)은 입력층에서의 입력데이터(x_i , $i=1\sim 8$)와 결합하중(v) 및 바이어스(θ)의 합을 나타낸 것이며, 이를 시그모이드 함수로 전이하여 식 (4)와 같이 중간층에서의 출력데이터가 구해진다. 다음으로 중간층의 출력(y)과 결합하중(w) 및 바이어스(γ)의 합으로 되는 식 (5)가 재차 시그모이드 함수로 전이되어 식 (6)으로 표현된 출력층에서의 출력데이터(z)가 구해지게 된다. 마지막으로 식 (7)과

Fig. 5 Used Sigmoid function

같이 표현될 수 있는 출력데이터와 원하는 출력데이터 (t : teaching)와의 오차가 감소되도록 입력층과 중간층, 중간층과 출력층사이의 결합하중(w_{kj} , v_{ji}) 및 바이어스계수(θ_j , γ_k)를 식 (8)과 같이 갱신하여 반복 계산을 수행하면서 오차가 가장 작은 최적화된 결합하중과 바이어스가 구해지면 학습을 종료시키게 된다.

$$H_i = \sum_{j=1}^{20} x_i v_{ij} + \theta_j \quad (3)$$

$$y_j = f(H_j) = \frac{1}{1 + \exp(-H_j)} \quad (4)$$

$$I_k = \sum_{j=1}^{20} y_j w_{kj} + \gamma_k \cdot 1 \quad (5)$$

$$z_k = f(I_k) = \frac{1}{1 + \exp(-I_k)} \quad (6)$$

$$E_k = \frac{1}{2} \sum_k \delta_k^2, \quad \delta_k = (t_k - z_k) \quad (7)$$

$$w_{kj} = w_{kj} + \Delta w_{kj}, \quad v_{ji} = v_{ji} + \Delta v_{ji} \quad (8)$$

$$\gamma_k = \gamma_k + \Delta \gamma_k, \quad \theta_j = \theta_j + \Delta \theta_j$$

2.2.3 과도 혼합 실험

과도(transient) 혼합 실험을 위하여 얇은 격막(rupture disc)를 파열시킨 순간부터의 DMF유가 JetA1유에 혼

Fig. 6 Images captured after breaking the rupture disc

합과정을 캠코드 카메라로 영상화하였다. 유리재질의 원통내부에 JetA1유 22.2ℓ를 가득 담은 상태에서, Fig. 1에 나와 있는 바와 같이 교반용 임펠러를 700rpm으로 회전시켰다. 임펠러의 회전중에 DMF유가 들어 있는 상부탱크를 1.9bar의 질소가스로 가압함으로써 격막을 파열시켰다. 상부탱크에는 DMF유가 3.75ℓ(14.5vol%의 농도)가 들어 있으며 격막이 파열되는 순간부터 JetA1유와 혼합되기 시작한다. 본 실험에서는 가압으로 인한 파열은 격막의 특성상 2번에 걸쳐 이루어졌으며 초기 일부파열(1차 파열)과 나중의 전부 파열(2차 파열)과의 시간차이는 3.34s

Fig. 7 Images captured 1.0(s) after breaking the rupture disc

Fig. 8 Change in the concentration of the Y-axis

였다. Fig. 6은 격막이 파열된 순간부터 DMF유가 JetA1유에 혼합되어 가는 과도 혼합상태의 시간연속의 영상을 나타낸다. 이 영상에 대하여 앞서 교정실험에서 구한 색-농도 교정데이터를 이용하여 실시간의 농도변화를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 격막(rupture disc)을 파열시켜 상부탱크에 들어 있던 3.75ℓ (14.5vol%의 농도에 상당)의 DMF유가 교반탱크로 유입되기 된 시점으로부터 1초 후의 영상이며, 이 영상에 대하여 앞에서 기술한 신경망을 이용한 색-농도 교정데이터를 이용하여 얻어낸 농도 분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 가로축은 DMF유의 농도를 나타내고 임펠러의 하단부 위치를 $Y=0\text{mm}$ 로 하여 교반기 탱크바닥까지의 깊이(mm)를 나타낸다. Fig. 8의 그래프는 Fig. 7에 나와 있듯이 교반기탱크 중심으로부터 반경방향 위치가 각각 -32mm, -76mm, -121mm 위치에서의 수직선상의 농도변화를 나타내는데 격막파열 시점에서 1초 후의 농도 분포를 나타낸다. 수직선상에 총 60개의 데이터를 fitting하여 얻어 낸 것으로서 1개 데이터

Fig. 9 Images captured 1.0(s) after breaking the rupture disc

당 간격이 2.3mm 정도이며 이 간격은 전체 측정영역 높이(133mm)의 1.7%에 지나지 않는 관계로 농도분포 곡선은 분포특성을 잘 나타낸다고 할 수 있다. 그림으로부터 교반탱크의 상단부, 즉 DMF가 들어있었던 상부탱크의 바로 아래에는 X위치에 상관없이 약 5vol%이상의 DMF유가 존재하고 있음을 알 수 있었다. 교반기탱크 아래쪽에는 DMF유의 농도가 2vol%미만으로 낮음을 알 수 있다. 특히 회전 중심축 수직선상(X=-32mm) Y=-0mm근처에서는 DMF유의 농도가 갑자기 높았다가 낮아지는 경향을 알 수 있는데 이는 임펠러에 의하여 유입된 DMF유가 격막 파열 시점으로부터 1초 후에 이 지점(Y=-80mm)을 통과하고 있음을 의미한다.

세 위치(X축)상에서의 농도 변화를 보면 탱크중심축에 가까울수록 농도변화가 크게 변하는 것을 알 수 있다. 이는 탱크중심축 주변은 임펠러의 영향으로 농도의 변화 폭이 크며, 회전 중심축에서 멀어질수록 농도변화는 완만함을 의미한다.

Fig. 7에서의 수평선상에 대한 농도 변화를 알아 보았다. Fig. 9는 Fig. 7과 동일 시간 (파열 후 1초)의 영상을 나타내며, 이 영상을 이용하여 농도분포를 해석한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 임펠러의 하단부 위치 Y=0mm를 기준으로 -12mm, -84mm, -153mm의 세 위치에서의 반경방향으로의 농도 변화를 나타내는데, 총 70개의 데이터를 fitting하여 얻어 낸 것으

Fig. 10 Concentration distributions at horizontal lines along the X-axis at the time 1(s) after breaking the rupture disc

로서 1개 데이터 당 간격이 4.4mm 정도이며 이 간격은 전체 측정영역 높이(310mm)의 1.4%에 지나지 않는 관계로 농도분포 곡선은 분포특성을 잘 나타낸다고 할 수 있다. 탱크 상부에 해당되는 (X=-12mm)에서의 농도는 약 5vol%로 수평방향으로 균일하게 분포되었으며 하부보다 농도가 높은 분포를 보였다. 아래로 내려 갈수록 농도는 낮아지며 Y=-84mm위치에서는 좌우가 심한 비대칭임을 알 수 있는데 이는 Fig. 9의 색상변화가 큰 수평의 지점에서도 알 수 있듯이 격막판이 파열된 시점에서 1초 후에 임펠러를 상부에서 내려온 DMF유가 이 지점을 통과하게 된다는 것으로 해석될 수 있다. 탱크의 하부(Y=-153mm)의 위치에서의 농도는 1vol% 전후로 매우 낮은 농도분포를 보였다.

한편 임펠러에서 가까운 Y=-12mm에서의 수평선상의 농도변화는 반경방향으로 약 5vol%정도로 균일하게 나타남을 알 수 있는데, 이는 원래 교반기 탱크내부에 들어있었던 JetA1유에 유입되는 DMF유 (3.75ℓ)가 14.5vol%에 해당된다는 점을 고려하면 약 DMF유의 1/3(=5/14.5)의 즉 30%가 이 지역에 균일하게 혼합되어 있음을 의미한다.

Fig. 11은 탱크의 중간 지점인 Y=-84mm의 위치에서의 시간 변화(1, 4, 7, 10, 13초)에 따른 농도분포

Fig. 11 Concentration distributions at horizontal line (at $Y=84\text{mm}$) along the X-axis with time changes

변화를 나타낸다. 격막이 파열된 시점으로부터 시간이 지날수록 농도 값은 커지고 10초 이후에는 약 13vol%의 농도가 수평방향으로 균일하게 분포하고 있음을 알 수 있는데, 이는 원래 투입된 DMF유의 량 14.5vol%에 근접하는 수치이며 DMF유의 90%가 JetA1에 혼합되었음을 의미한다. 10초와 13초에서의 농도분포를 보면 반경방향으로 균일하며 함을 알 수 있는데 이는 시간이 갈수록 균일한 혼합이 이루어지고 있음을 의미한다. 특히, 13초의 경우를 보면 원래의 DMF유의 량에 해당되는 14.5vol% 근처에서 농도분포를 보이고 있는 것으로 보아, DMF유와 JetA1유가 완전하게 혼합되기 위한 최소한의 시간은 13초임을 알 수 있었다.

4초에서의 DMF유 농도분포를 보면 수평방향으로 균일한 분포를 보이고 있음을 알 수 있는데, 이 분포는 탱크중간 지점에서의 분포라는 점을 감안하면 4초 전후에서부터 DMF유가 JetA1유와 골고루 혼합되기 시작하여 그 이후 완전한 혼합이 되는 시점인 13초까지의 시간인 약 9초간의 시간이 필요함을 알 수 있다. 이는 DMF유와 JetA1유가 혼합이 되기 위해서는 임펠러와 같은 기구로 강제적 혼합이 필요함을 시사하며 임펠러의 혼합성능에 따라 혼합시간을 단축시킬 수 있음을 의미한다.

4. 결 론

이종액체의 과도 혼합 상태를 정량적으로 평가할 수 있는 가시화기술을 이용한 농도장 측정기법을 구축하였으며, 이를 DMF유와 JetA1유와의 과도 혼합 농도장 측정에 적용하는 과정에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

DMF유의 색상정보(R, G, B, H, S, I)와 탱크내 위치(X, Y)정보를 이용한 신경망 기반의 색상-농도 교정기법을 구축함으로써 동일한 농도장임에도 실험환경에 따른 가시광원의 색상영향을 고려할 수 있는 농도장 측정기법을 구축하였다.

격막이 파열된 시점으로부터 시간의 변화에 따른 탱크내의 DMF유의 농도분포 변화를 측정한 결과 DMF유가 JetA1유에 완전하게 혼합되기까지의 시간이 약 13초인 것으로 나타났다. 또한 DMF유가 탱크 내에서 JetA1유와 균일하게 혼합되기 시작하는 시간은 격막이 파열된 시점에서부터 약 4초 정도인 것으로 나타났으며, 이후 완전하게 혼합이 되기 위해서는 약 9초의 시간이 필요한 것으로 나타났다. 이는 혼합 성능을 향상시키기 위해 사용된 임펠러의 혼합특성을 고려하여야 함을 의미한다. 한편, 합성수지를 이용하여 새로운 연료유를 생성하여 에너지를 절약하고자 하는 연구(Park 등)⁷⁾가 진행되어 왔으나 본 연구에서는 연료와 연료와의 혼합을 통한 연료성능의 향상을 도모함으로써 에너지를 절약하고자 하는 연구에 해당된다고 볼 수 있다.

후 기

본 연구는 한국연구재단 도약과제(2008-0060153)와 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. K. Van't Riet, and J. M. Smith, "The Trailing Vortex System Produced by Ruston Turbine Agitators", Chemical Engineering Science, Vol. 30, 1975, pp.

- 1093-1105.
2. J. Costes and J. P. Couderc, "Study by Laser Doppler Anemometry of the Turbulent Flow Induced by a Rushton Turbine in Stirred Tank: Influence of the Size of the Units - Mean Flow and Turbulence", *Chemical Engineering Science*, Vol. 43, No. 10, 1988, pp. 2751-2764.
3. I. Houcine, H. Vivier, E. Plasari, R. David and J. Villermaux, "Planar Laser Induced Fluorescence Technique for Measurements of Concentration Fields in Continuous Stirred Reactors", *Exp. in Fluids*, Vol. 22, 1996, pp. 96-102.
4. F. Guillard, C. Tragardh and L. Fuchs, "A Study of Turbulent Mixing in a Turbine-Agitated Tank Using a Fluorescence Technique", *Exp. in Fluids*, Vol. 28, 2000, pp. 225-235.
5. E. H. Jeong and K. C. Kim, "A Study on the Mixing Characteristics in a Rushton Turbine Reactor by a Laser Induced Fluorescence Method", *KSME(B)*, Vol. 26, No. 8, 2002, pp. 1145-1152.
6. D. E. Rumelhart, G. E. Hinton and R. J. Williams, "Learning Representations by Back-Propagating Errors", *Nature*, 1986, pp. 323-333.
7. Y. C. Pak, J. H. Choi and S. H. Oh, "The Effects of Silica-Alumina Type Inorganic Compounds on the Pyrolysis Reaction of EVA to Produce Fuel-Oil", *Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, 2011, Vol.22, No.5, pp. 706-713.