

스태틱 믹서 개발에 대한 연구

양희천* · 박상규*

A Study for the Development of a Static Mixer

H-C Yang* · S-K Park*

Key words : Static Mixer(정적 믹서), Mixing Element(믹싱 엘리먼트), Fluid Mixing(유체 믹싱), Pressure Drop(압력 손실), Mixing Performance(믹싱 효율)

Abstract

Fluid mixing is ubiquitous and essential in many natural and industrial systems. Understanding the mixing processes that occur in these diverse systems is essential for predicting many aspects of practical importance. The objective of this study was to develop a new mixing element and to perform the experimental investigation of flow and mixing in a static mixer that is equipped the new element and the others. Glycerin and gear oil were used as mixing fluids. Pressure drops across the static mixer elements of different designs and different numbers were measured using a hydraulic manometer. The axial and cross-sectional views of tracer mixing were photographed using a digital camera. The pressure drops of SSM mixer were about 20% less than that of Sulzer mixer whereas the mixing performance of SSM mixer was not so good as that of Sulzer mixer

1. 서 론

믹싱 장치란 일반적으로 2종류 이상의 물질에 외력을 가해 교반하고 균질의 혼합물을 얻거나 반응을 촉진하는 장치이다. 이러한 믹싱 장치는 교반축이 수직인 수직형과 수평인 가로형으로 크게 나눌 수 있다. Fig. 1에 나타낸 것과 같은 수직형의 주류인 agitator는 교반익(impeller), 방해판, 구동부, 축부(shaft assembly) 및 저장용기로 구성되

며, 모터로 구동되는 교반익의 에너지 공급으로 믹싱이 이루어진다. 가로형 믹싱장치의 일반적인 특징은 수직형에 비해서 단위 용적당 전열면적이 크며, 연속 프로세스 및 고 점도액의 교반에 적합하고, 체류시간(residence time) 분포를 균일화 할 수 있다. 이러한 가로형 믹싱 장치의 장점을 이용해서 고점도 수지의 중합(polymerization), 증발 및 조성 균질화, 더 나아가 수지 펠릿(pellet)의 건조 등에 사용된다. 특히 인-라인(in-line) 형의 스타

* 여수대학교 응용공학부

틱 믹서(static mixer)는 Fig. 2의 Kenics형 믹서에서 보는 바와 같이 시스템 구성요소 자체에 운동부가 없고, 원형관 내에 일련의 고정된 믹싱 엘리먼트(mixing element)로 구성되며, 믹싱을 위한 별도의 용기없이 유체의 관로 통과시에 연속적으로 유동분할(flow division), 재순환(rotational circulation), 반경방향 믹싱(radial mixing)의 작용에 의해 2가지 이상의 액체, 기체, 분체 등을 믹싱하는 장치로 유체의 연속 믹싱조작에 사용된다⁽¹⁾. 위에서 설명한 바와 같은 스테틱 믹서의 다양한 용도에도 불구하고 믹싱 엘리먼트의 기하학적 복잡성 때문에 믹싱을 및 유동특성에 대한 연구는 실험적으로나 수치해석적으로 그다지 활발하지 못하며, 국내에서의 관련 연구는 거의 없는 실정이다. 그러나 믹서 출구에서의 믹싱율과 압력 강하량은 믹싱 엘리먼트의 설계조건에 따라 변하므로 믹싱에 이용되는 에너지의 이용효율과 믹싱율의 향상 측면에서 믹싱 엘리먼트의 설계조건에 따른 믹서 출구에서의 유체역학적 특성에 대한 이해가 요구된다. 특히 스테틱 믹서출구에서의 압력손실량에 대한 예측은 믹서입구에 동력을 공급할 펌프나 압출기(extruder)의 용량을 결정하기 위해 반드시 필요하다. 따라서 이에 대한 상관관계식들이 Z-인자(Z-factor) 방법을 이용하여 제시되고 있다⁽²⁾.

스테틱 믹서에 대한 실험적 연구 동향은 기본적인 설계변수들에 따른 유체역학적 특성에 대한 측정결과와 무차원 변수간의 상관관계식을 도출하는 연구가 대부분이다. Pahl과 Muschelknautz⁽³⁾, Boss와 Czeastkiewicz⁽⁴⁾는 뉴턴유체의 층류유동에 대해, Shah와 Kale⁽⁵⁾, Candra와 Kale⁽⁶⁾은 비뉴턴 유체의 층류유동에 대해 레이놀드수와 압력손실량의 상관관계식을 제시하였다. 또한 Pahl과 Muschelknautz는 난류유동에 대한 상관관계식과 믹싱효율을 측정하고 믹싱지수(mixing index)에 대한 상관관계식을 제시하는 연구결과를 발표하였다. Berkman과 Calabrese⁽⁷⁾는 Kenics 믹서를 이용하여 난류유동 조건에서 물의 주 유동에 점성이다른 오일 액적들을 부유시켜 레이놀드수에 따른 액적의 크기 분포에 대한 상관관계식을 제시하는 연구결과를 발표하였다. Kusch와 Ottino⁽⁸⁾는 시간적으로나 공간적으로 주기적인 혼돈 유동의 믹싱

현상에 대해 유맥선(streak line)의 구조 등의 특성에 대한 실험결과를 발표하였다. 국내에서는 양희천⁽⁹⁾ 등이 스테틱 믹서의 믹싱 및 압력 손실량에 대해 실험적, 수치 해석적 연구를 수행한바 있다.

본 연구의 목적은 스테틱 믹서의 믹싱 엘리먼트를 개발하고, 믹싱 및 압력 손실량에 대한 실험적 연구를 수행하여 산업용 스테틱 믹서의 성능개선 및 최적설계에 기여하고자 하는데 있다. 실험적 연구를 위하여 4개와 8개의 단위 엘리먼트로 구성된 각각 3종류의 믹싱 엘리먼트 모델을 제작하였으며, 또한 믹싱 엘리먼트 모델을 장착하여 압력 손실량을 측정할 수 있는 스테틱 믹서 시스템을 제작하였다. 압력 손실량은 액주 마노미터를 이용하여 측정하였다. 믹싱 효율은 헤어스타일링 젤에 추적 색소가 혼합되도록 하여 디지털 카메라로 촬영하였다.

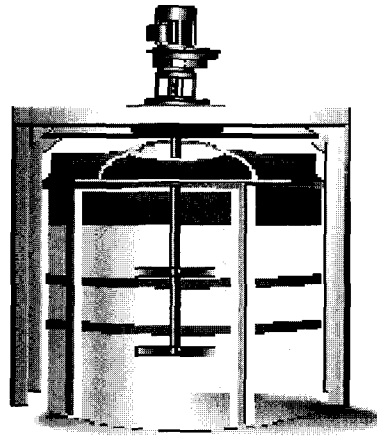


Fig. 1 An example of agitator

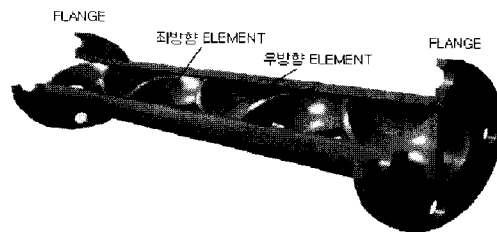


Fig. 2 An example of static mixer; Kenics mixer

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험 장치

본 연구에서는 Fig. 3에 나타낸 것과 같은 Sulzer형, SSM(Sin Sung mixer)형 그리고 PPM(partitioned pipe mixer)형 엘리먼트 모델을 제작하였다. 제작된 엘리먼트 모델중에서 SSM형은 본 연구과정을 통해서 새롭게 개발된 모델이다. Fig. 3의 엘리먼트 모델들은 8개의 단위 엘리먼트의 조합으로 하나의 믹싱 엘리먼트 모델을 구성한 것이고, 이와는 별도로 단위 엘리먼트의 갯수에 따른 유동특성의 영향을 조사하기 위하여 각각 4개의 단위 엘리먼트로 구성된 믹싱 엘리먼트 모델을 제작하였다. Fig. 4에는 Sulzer형에 대한 단위 엘리먼트의 3차원 형상, SSM형과 PPM형에 대한 단위 엘리먼트 2개의 연결 형상을 나타낸다. Sulzer형과 PPM형은 단위 엘리먼트들이 90도로 교차되어 연결되며, SSM형은 Fig. 4의 형상으로 4개의 단위 엘리먼트가 연결되고 다음의 4개의 엘리먼트는 Sulzer형과 PPM형의 연결방식으로 90도 교차되어 연결된다. 스테인레스 스틸로 제작된 단위엘리

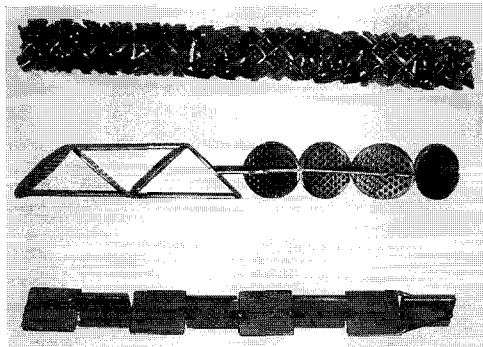


Fig. 3 Mixing elements (from top to bottom ; Sulzer type, SSM type and PPM type)

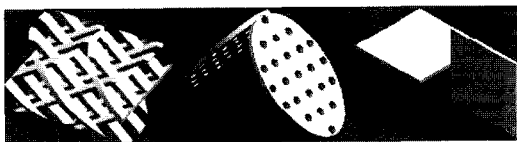


Fig. 4 3-dimensional shape of unit Sulzer element and 2 elements of SSM and PPM type

먼트의 직경/길이의 중횡비는 1:1이다. 여기서 단위 엘리먼트의 직경은 믹서 튜브의 직경과 같은 40mm이며, 또한 길이는 단위 엘리먼트의 길이로 40mm이다. Sulzer형은 분할면의 수가 2ⁿ(n은 엘리먼트수)개인 Kenics형⁽²⁾과는 달리 분할면의 수가 32ⁿ개로 분할면의 수가 상대적으로 많아서 믹싱 효율은 좋지만 믹서 출구에서의 압력손실이 커져서 펌핑 동력이 많아지는 단점이 있다. 여기서 분할면의 수 2ⁿ이나 32ⁿ에서 2나 32는 단위 엘리먼트를 통과할 때 유동이 분할되는 숫자를 나타내며, n은 단위 엘리먼트의 숫자를 나타낸다. 또한 상대적으로 복잡한 엘리먼트 형상의 Sulzer형 믹서가 장착된 폴리머 생산라인의 돌발적인 상황에 따른 운전정지 시에는 반응에 필요한 열 공급의 중단으로 폴리머가 응고되어 클리닝을 위한 시간적, 경제적 손실이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 그러나 이러한 문제점에도 불구하고 믹싱 효율이 우수하기 때문에 국내의 관련 설비들은 독자적으로 개발된 엘리먼트를 장착한 경우는 거의 없고 대부분 Sulzer형 믹서를 단순 모방하여 제작하고 있는 실정이다. 따라서 최근에 들어서 전 세계적으로 강화되고 있는 지적 재산권 문제에 직면하여 국내에서 개발된 독자적인 모델에 대한 요구가 증대되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해 본 연구를 통해서 개발된 모델은 Sulzer형과는 완전히 다른 방식으로 믹싱 효율의 감소는 최소화하고 압력 손실량을 줄여 에너지의 이용효율을 향상시키고, 돌발적인 운전정지 시의 클리닝 문제를 개선할 목적으로 고안된 모델이다. 이 모델은 단위 엘리먼트의 전체

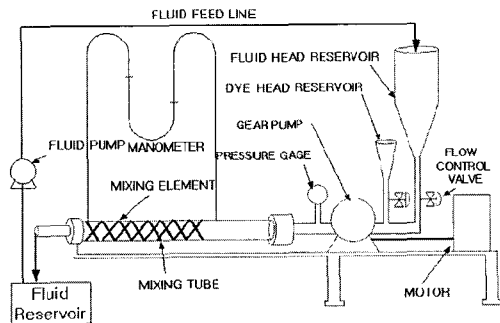


Fig. 5 Schematic diagram of static mixer system

단면적중 약 27%에 해당하는 직경 3mm의 홀들을 통해 유체가 유동하며 믹싱 되도록 고안하였다. PPM형은 믹싱 튜브의 직경과 동일한 폭의 평판을 직교시킨 형상으로 매우 단순한 엘리먼트 구조를 갖고 있어서 Kenics형과 함께 대부분의 이론적, 수치해석 연구^(10~13)의 모델로 이용되고 있다. 본 저자의 연구팀에서도 정적 믹서에 대한 수치해석의 타당성 검증을 위한 예비계산을 PPM형 모델을 이용하여 수행한 바 있으며⁽⁹⁾, 이후에 진행되는 실험 결과와의 비교를 위한 수치계산에서도 상대적으로 단순한 모델인 PPM형을 이용하여 수행할 예정이다.

Fig. 5는 제작된 스테틱 믹서의 개략도를 나타낸다. 전체의 구성은 믹싱 엘리먼트 모델을 교체할 수 있도록 탈착식으로 제작된 믹싱부, 믹싱 유체에 에너지를 공급하는 동력 공급부, 믹싱 유체 저장부 그리고 측정부로 구성하였다. 믹싱부의 믹싱 튜브는 40mm 직경, 500mm 길이의 투명 아크릴관으로 제작하여 믹싱 과정을 가시화 할 수 있도록 하였으며, 믹싱 엘리먼트의 교체를 위한 탈착후의 누설방지를 위해 튜브 양단을 플랜지 형상으로 가공하였다. 믹싱 튜브에는 마노미터를 이용하여 압력 손실 수두를 측정할 수 있도록 입구의 90mm 하류와 출구의 50mm 상류에 각각 압력탭을 제작하였다. 동력 공급부는 기어펌프(Viking Spur Gear Single Pump ; SG-0570)와 3상 유도전동기(효성)로 구성하였다.

믹싱 유체 저장부는 아크릴로 제작된 상하 2개의 저장용기와 1개의 추적색소 저장용기로 구성된다. 측정부는 압력 게이지와 액주 마노미터로 구성된다. 측정 용 유체는 점도가 다른 글리세린(95%, 강남산업)과 기어오일(LG caltex)을 사용하였다. Table 1에는 믹싱 유체의 물성치를 나타낸다. 한편 믹싱 효율의 촬영에 글리세린이나 기어오일을 이용하는 경우에는 유동이 계속되어 믹서 출구에서의 촬영이 곤란한 반면에 헤어 스타일링 젤((주)

나노)은 투명한 연녹색의 젤(gel) 타입의 유체로 유동방향의 믹싱 상태를 가시화할 수 있을 뿐만 아니라 유동을 정지시켜 출구 단면의 믹싱 상태를 촬영하기 용이하여 선택하였다.

2.2 실험 방법

본 연구에서는 2.1절에서 설명한 엘리먼트 모델들을 장착하여 압력 손실량을 측정하였으며, 디지털 카메라를 이용하여 믹싱 효율을 촬영하는 실험적 연구를 수행하였다. 압력 손실량의 측정 실험을 시작하기 전에 측정 유체는 원래의 저장용기로부터 하단의 믹싱유체 공급부에 주입하는 과정에서 포함될 수 있는 기포방울이 액면 위로 제거되도록 하기 위해 약 2시간 정도 하단의 저장용기에 저장하였다. 실험이 시작되면 하단의 저장용기로부터 펌프를 이용하여 상부 탱크로 믹싱 유체를 공급하게 되는데, 상부탱크에 주입될 때 기포가 발생되지 않도록 하기 위해 느린 속도로 펌핑하였다. 믹싱 튜브에는 상부 탱크에 연결된 기어 펌프에 의해서 유체가 펌핑된다. 측정은 믹싱 튜브의 상하류에 설치한 압력탭에 설치된 액주 마노미터를 이용하여 측정하였다. 기어 펌프는 3상 유도 전동기에 의해서 구동된다. 유량은 상부 탱크 출구쪽에 설치된 유량 조절밸브와 유량계를 이용하여 조절하였다.

3. 결과 및 고찰

스테틱 믹서의 성능은 압력 손실량에 대한 무차원 변수인 Z-인자(Z-factor)⁽²⁾와 믹싱효율 등에 대한 이론적 근거와 정량적 자료를 바탕으로 평가할 수 있으며, 이를 근거로 믹서의 신뢰성을 확보할 수 있다. 특히 믹서 출구에서의 압력 손실량에 대한 자료는 믹서 입구에 동력을 공급할 펌프의 용량이나 믹싱 엘리먼트의 설계조건을 결정하기 위해 반드시 필요하다.

$$Z = \frac{\Delta P_{sm}}{\Delta P_{et}}$$

여기서 P_{et} 는 믹싱 엘리먼트가 없는 중공관의 압력손실, P_{sm} 은 엘리먼트가 장착된 스테틱 믹서의

Table 1 Mixing fluid properties

Fluids	Density	Viscosity (N s/m ²)
	(kg/m ³)	
Glycerin	1257.6	1.49
Gear oil	867	0.05

Table 2 Calculated Z-factor

	Glycerin	Gear oil
Sulzer1(8 unit element)	19.7	9.0
SSM1(8 unit element)	15.4	7.2
PPM1(8 unit element)	2.9	1.6
Sulzer2(4 unit element)	10.1	3.9
SSM2(4 unit element)	8.1	3.3
PPM2(4 unit element)	1.3	1.3

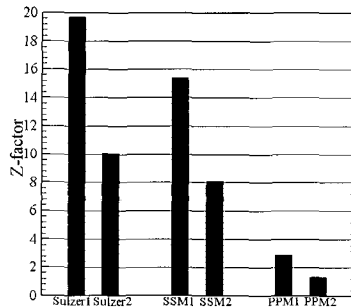


Fig. 6 Comparison of Z-factor of glycerin

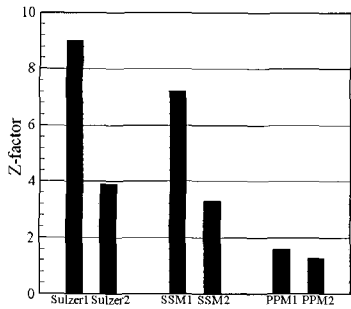


Fig. 7 Comparison of Z-factor of gear oil

압력 손실을 나타낸다. Table 2는 측정된 압력 손실량을 바탕으로 계산된 Z-인자를 나타낸다. Fig. 6과 Fig. 7은 믹싱 유체에 따라 엘리먼트의 설계조건에 대한 Z-인자를 막대 그래프로 비교한 결과이다. Sulzer형과 SSM형의 단위 엘리먼트 수가 2배로 증가하면 상대적으로 고 점도인 글리세린의 경우에는 거의 선형적으로 약 2배정도 압력손실이 증가하지만, 상대적으로 점도가 낮은 기어오일의 경우에는 엘리먼트 수의 증가비 보다 압력손실의 증가율이 커지는 경향을 나타낸다. 이는 상대적으로 점성효과가 낮은 기어오일이 믹서내에서 믹싱되는 과정에서 대류 매카니즘의 활성으로 주 유동에 수직한 평면에 발생하는 2차 유동에 기인한 것



Fig. 8 Axial views for tracer mixing of Sulzer1, SSM1 and PPM1 model

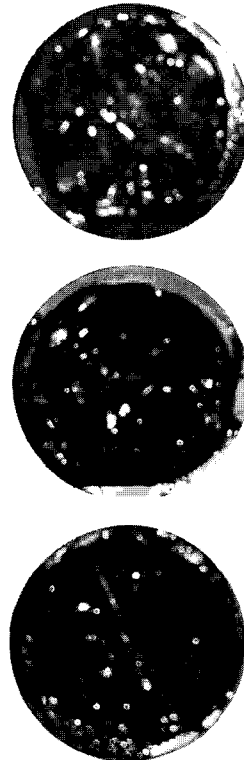


Fig. 9 Cross-sectional views for tracer mixing of Sulzer1, SSM1 and PPM1 model

으로 생각된다. 즉, 믹서의 단면 방향으로 발생하는 2차 유동은 형상항력의 증가를 수반하기 때문에 압력손실이 커지게 된다. 한편 상대적으로 단순한 엘리먼트 구성의 PPM형은 일정한 경향을 나타내지 못하는데, 이러한 원인이 다른 특정한 매카니즘에 의한 것인지, 측정오차에 기인한 것인지 명확

하지 않아서 추후 추가적인 실험이 필요한 것으로 사료된다. 믹싱 유체에 상관없이 단위 엘리먼트 8개로 구성된 Sulzer형과 SSM형이 PPM형에 비해서 약 5배 이상 압력손실이 커지며, 4개의 단위 엘리먼트로 구성된 경우에는 믹싱 유체가 고 점도인 글리세린 일 때 Sulzer형과 SSM형이 PPM형에 비해서 약 5배 이상 압력손실이 증가한다. 이는 8개의 단위 엘리먼트로 구성된 경우에는 PPM형에 비해서 상대적으로 복잡한 엘리먼트 형상에 기인하고, 4개의 단위 엘리먼트 구성된 경우에는 상대적으로 고 점도에 기인한 부차적 손실의 증가 때문인 것으로 생각된다. 4개의 단위 엘리먼트 구성의 PPM형을 제외하고 모든 엘리먼트 형상에서 저 점도인 기어오일보다 글리세린의 Z-인자가 2배 이상 커지는 것을 알 수 있다. 한편 믹싱 유체에 상관없이 본 연구과정에서 개발한 SSM형의 압력손실이 Sulzer형에 비해 약 20%정도 감소하였다.

Fig. 8과 Fig. 9는 8개의 단위 엘리먼트로 구성된 모델의 믹싱 튜브 측면에서의 유동방향 혼합상태와 믹싱 튜브의 출구단면에서의 혼합상태를 촬영한 결과이다. 혼합 상태를 촬영하기 위한 실험은 믹서에서 믹싱 튜브를 분리하여 각각의 엘리먼트 모델을 장착시키고 헤어 스타일링 젤의 중심부에 직경과 높이를 각각 10mm 정도로 붉은색 추적 색소를 넣고 가압하여 믹싱되게 한 후 튜브의 측면과 출구에서 디지털 카메라를 이용하여 촬영하였다. 본 실험결과로부터 정량적인 혼합율을 산출할 수는 없지만, PPM형의 경우에 비해서 Sulzer형과 SSM형은 거의 전 평면에 추적 색소가 분포하는 것을 알 수 있다. 기존의 수치해석 결과(10 11)에서 나타난 바와 같이 PPM형 믹서내의 유동상태는 혼돈적인 특성이 약하기 때문에 추적색소는 비교적 일정한 유로를 따라 흐르게 되어 Sulzer형이나 SSM형과 같은 유동방향의 혼합상태를 나타내지 못한다. Sulzer형과 SSM형을 비교하면 Sulzer형이 보다 고르게 확산된 결과를 보여주고 있다. 따라서 압력 손실량은 SSM형이 약 20% 정도 적지만 혼합상태를 고려하면 어떤 엘리먼트 형상이 우수하다고 단정적으로 설명하기는 곤란하고 보다 다양한 성능 실험이 필요할 것으로 사료된다. 또한 엘리먼트의 가공 및 제작비용, 내구성 그리고 클리

닝 문제 등에 대한 종합적인 고려가 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

고효율 스테틱 믹서의 개발을 위해 3종류의 믹싱 엘리먼트 모델과 스테틱 믹서를 제작하여 혼합상태와 압력 손실량에 대한 실험적 연구를 수행한 결과는 다음과 같다.

1) Sulzer형과 SSM형의 단위 엘리먼트 수가 2배로 증가하면 상대적으로 고 점도인 글리세린의 경우에는 거의 선형적으로 압력손실이 증가하지만, 점도가 낮은 기어오일의 경우에는 엘리먼트 수의 증가비보다 압력손실의 증가율이 커진다.

2) 믹싱 유체에 상관없이 단위 엘리먼트 8개로 구성된 Sulzer형과 SSM형이 PPM형에 비해서 약 5배 이상, 4개의 단위 엘리먼트로 구성된 경우에는 믹싱 유체가 고 점도인 글리세린 일 때 Sulzer형과 SSM형이 PPM형에 비해서 약 5배 이상 압력손실이 증가한다.

3) 믹싱 유체에 상관없이 본 연구과정에서 개발한 SSM형의 압력손실이 Sulzer형에 비해 약 20% 정도 감소하였다.

4) PPM형의 경우에 비해서 Sulzer형과 SSM형은 거의 전 평면에 추적 색소가 분포하였으며, SSM형에 비해서 Sulzer형의 믹싱 효율이 보다 좋은 것으로 나타났다.

5) 압력 손실량은 SSM형이 Sulzer형에 비해 약 20% 정도 감소하였지만 혼합상태를 고려하면 어떤 엘리먼트 형상이 우수하다고 단정적으로 판단하기는 곤란하고 보다 다양한 성능 실험이 필요하며, 엘리먼트의 가공 및 제작비용, 내구성 그리고 클리닝 문제 등에 대한 종합적인 고려가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 기계공학사전편찬위원회, 기계공학편람사전 II, 엔지니어링편(C), 한국사전연구소, pp. C1-42 C1-4, 1995.
- (2) D. M. Hobbs, "Characterization of a Kenics Static

- Mixer Under Laminar Flow Conditions”, Ph.D Paper The State University of New Jersey, 1997.
- (3) M. H. Pahl and E. Muschelknautz, “Static Mixers and Their Application,” *Int. Chem. Eng.*, Vol. 22, pp. 197 203, 1982.
- (4) J. Boss and W. Czastkiewicz, “Principles of Scale-Up for Laminar Mixing Processes of Newtonian Fluids in Static Mixers,” *Int. Chem. Eng.*, Vol. 22, pp. 362 373, 1982.
- (5) N. F. Shah and D. D. Kale, “Pressure drop for laminar flow of non-Newtonian fluids in static mixers,” *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 46, No. 8, pp. 2159 2161, 1991.
- (6) K. G. Chandra and D. D. Kale, “Pressure Drop for Laminar Flow of Viscoelastic Fluids in Static Mixers,” *Chem. Eng. Sci.*, Vol. 47, No. 8, pp. 2097 2100, 1992.
- (7) P. D. Berkman and R. V. Calabrese, “Dispersion of Viscous Liquids by Turbulent Flow in a Static Mixer,” *AIChE Journal*, Vol. 34, No. 4, pp. 602 609, 1988.
- (8) H. A. Kusch and J. M. Ottino, “Experiments on Mixing in Continuous Chaotic Flows,” *J. Fluid Mech.*, Vol. 236, pp. 319 348, 1992.
- (9) 양희천, 박상규, 임용석, 라병열, “스태틱 믹서의 유동 및 혼합에 대한 연구,” *대한기계학회 2001년도 추계학술대회논문집 B*, pp. 557 562, 2001.
- (10) D. V. Khakhar, J. G. Franjone and J. M. Ottino, “A Case Study of Chaotic Mixing in Deterministic Flows: The Partitioned-Pipe Mixer,” *Chemical Engineering Science*, Vol. 42, No. 12, pp. 2909 2962, 1987.
- (11) F. H. Ling, “Chaotic Mixing in a Spatially Periodic Continuous Mixer,” *Phys. Fluids A*, Vol. 5, No. 9, pp. 2147 2160, 1993.
- (12) F. H. Ling and X. Zhang, “A Numerical Study on Mixing in the Kenics Static Mixer,” *Chem. Eng. Comm.*, Vol. 136, pp. 119 141, 1995.
- (13) T. Avalosse and M. J. Crochet, “Finite -Element Simulation of Mixing: 2. Three -Dimensional Flow Through a Kenics Mixer,” *AIChE Journal*, Vol. 43, No. 3, pp. 588 597, 1997.

저 자 소 개



양희천 (楊熙千)

1961년 4월생. 1985년 중앙대학교 기계공학과 졸업. 1994년 중앙대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1997~여수대학교 응용공학부 조교수.



박상규 (朴相圭)

1960년 5월생. 1981년 조선대학교 금속대학 정밀기계공학과 졸업. 1983년 인하대학교 기계공학과 졸업(석사). 1989년 인하대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1991년~여수대학교 기계공학과 부교수. 당학회 종신회원.