

<연구논문>

난류교반되는 오일/오일 분산계의 평균입자경 예측

이 성 재

수원대학교 공과대학 고분자공학과
(1998년 1월 26일)

Prediction of Average Drop Size in Turbulently Agitated Oil-in-Oil Dispersions

Seong Jae Lee

Department of Polymer Engineering, The University of Suwon, Suwon 445-743, Korea
(Received January 26, 1998)

요 약

액체와 액체를 교반할 경우 혹은 두가지 이상의 상이 함께 반응하는 화학공정의 경우에는 비상용성인 액체들을 난류조건하에 분산시켜 섞이게 한다. 분산계로 구성된 중합반응기의 경우 분산입자의 크기는 최종제품의 생산성 및 품질에 큰 영향을 미치게 되므로 분산입자의 크기를 예측하는 것은 대단히 중요하다. 이러한 분산계에서 분산입자의 크기는 분산입자가 겪는 유동장에 의해 결정된다. 오일/오일 분산계로 이루어진 고분자 유탁액의 난류교반시 유동장은 종종 점성전단 부영역에 속하게 되는데 이 경우의 분산입자의 크기를 예측하는 모델에 대한 연구는 별로 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 오일/오일 분산계의 고분자 유탁액에 대한 분산입자의 크기를 예측하는 모델식을 유체동력학적인 이론을 배경으로 하여 개발하였다. 개발한 모델식을 난류교반을 겪은 오일/오일 분산계를 거쳐 생산된 제품인 내충격성 폴리스티렌으로 검증하여 모델식의 타당성을 입증하였다.

Abstract—Many industrial operations, such as liquid-liquid mixing and multi-phase reaction, involve the formation of stirred dispersions of immiscible liquids. In a polymerization reactor to produce incompatible polymer mixture, the prediction of average drop size is one of the most important factors that affect the productivity and product quality. In such systems drop sizes are determined by the condition of flow ranges. Oil-in-oil dispersions such as polymeric emulsion often occur within the viscous shear subrange in turbulent agitation, but few attempts have been made to predict the drop size. In this study, a mechanistic model based on hydrodynamic force balance is suggested to predict the average drop size in polymeric emulsion. The agreement between the model and the data of high impact polystyrene was quite satisfactory for the prediction of the average particle size of rubber dispersed phase.

Keywords: Drop Size Prediction, Oil-in-Oil Dispersions, Viscous Shear Subrange, Phase Inversion, High Impact Polystyrene

1. 서 론

분산상과 연속상으로 존재하는 액체와 액체간의 교반이나 여러가지 상 사이의 반응을 수반하는 공정에서는 경우에 따라 비상용성 액체를 난류교반함으로써 분산계를 형성시킨다. 이러한 분산계에서 교반조 내의 난류유동의 강도에 의한 입자의 분열(breakage)과 합체(coalescence) 과정은 예를 들어 연속상과 분산상 사이의 열 및 물질전달에 중요한 요소인 표면적을 변화시켜 전체적인 공정의 수행능력에 상당히 영향을 끼칠 수 있다. 즉, 분산계에서 중요한 요소로 작용하는 입자경 및 분포는 분산입자의 분열과 합체의 결과로 인해 궁극적으로 결정된다고 볼 수 있을 것이다. 분산계로 구성된 중합반응기의 경우 분산입자의 크기는 최종적으로 제품의 생산성 및 품질에 큰 영향을 미치게 되는데 그 예로 원료비용, 고분자의 형태구조, 기계적 물성, 단열성, 색, 광택 등을 들 수 있을 것이다.

유동상황에 영향을 받는 입자경 및 분포는 에어로졸(aerosols), 버블(bubbles), 물/오일 유탁액, 또는 고분자 유탁액과 같이 입자의 크기가 변형가능한 분산계의 중요한 특징이다. 분산입자의 크기를 예측하려는 가장 일반적인 방법은 Weber수 이론(Weber number theory)[1]에 기초하여 평균 입자경을 예측하는 방법인데 이는 입자를 나누려는 유동에 견딜 수 있는 최대 안정 입자경(maximum stable drop size)을 고려하여 상관관계식을 구성한 것이다. 물/오일로 구성되는 전형적인 유탁액은 주로 난류유동의 관성 부영역(inertial subrange) 하에서 교반이 이루어지는데 이미 많은 연구자들이 분산입자의 분열은 입자의 저항응력(cohesive stress)에 대한 관성응력(inertial stress)의 비가 임계치를 넘을 때 일어나는 것으로 설정하여 분산입자의 크기를 예측하는 아주 좋은 상관관계 모델식을 개발하였고 그 후 분산상의 비율[2,3], 계면안정제의 영향[4,5], 분산상 점도의 효과[6] 등을 포함하는 식으로 확장하였다.

지금까지의 대부분의 연구는 일반적인 액체와 액체간의 교

반인 관성 부영역에 대하여 이루어진 것으로, 매우 작은 계면장력계수를 갖는 오일/오일 분산계의 경우에서 일어나는 점성전단 부영역(viscous shear subrange) 하에서 적용할 수 있는 입자경 예측식의 개발은 거의 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 Weber수 이론에 기초를 두고 유체동력학적 수지식(hydrodynamic force balance)을 구성하여 점성전단 부영역에서의 분산 입자경 예측 모델식을 구성하고 이러한 상황에서 중합 제조된 내충격성 폴리스티렌(high impact polystyrene: HIPS)의 분산상인 고무 입자경으로 검증하고자 한다.

2. 입자경 예측 모델의 개발

산업용 교반기에 사용되는 대형 임펠러에 의해 발생하는 난류유동장은 일반적으로 균일한 유동장이 아니다. 하지만 난류영역이 등방적이지 않더라도 주된 유동장의 크기에 비하여 고려대상이 되는 부분이 충분히 작을 때에는 국부적으로 등방적 유동장(local isotropy)이라는 가정을 사용할 수 있다[1]. 국부적 등방성의 가정하에서 난류유동장의 거동은 유동영역에 따라 다른 형태를 보여주는데, 그 유동영역은 관성 부영역과 점성전단 부영역으로 나뉜다. 이러한 부영역을 판별하는 기준식으로 다음과 같은 'Kolmogorov의 길이'라는 판별식[7]이 있다.

$$\eta = (v_c^3/\epsilon)^{1/4} \quad (1)$$

여기서 v_c 는 연속상의 동점도를, ϵ 은 단위질량당 에너지 분산율을 나타낸다.

2.1. 관성 부영역하의 모델

난류교반을 겪는 분산 입자경이 $L \gg d \gg \eta$ 인 경우 관성 부영역에 속하게 된다. 여기서 L 은 macro eddy의 크기로 임펠러 블레이드(blade)의 길이에 상당하는 것이며 d 는 입자경을 나타낸다. 관성 부영역에서 속도벡터의 진동성분(fluctuation component)의 제곱평균은 다음과 같다.

$$u^2 \propto (\epsilon d_{\max})^{2/3} \quad (2)$$

입자를 분열시킬 수 있는 최소값인 임계 Weber수는, 안정한 형태로 최대의 크기를 유지하는 것이 가능한 입자의 표면력에 대한 관성력의 비로 정의하며, 이는 다음처럼 표현할 수 있다.

$$We_{crit} = \rho_c d_{\max} u^2 / \sigma = C_1 \rho_c \epsilon^{2/3} d_{\max}^{5/3} / \sigma \quad (3)$$

여기서 σ 는 계면장력계수를 나타낸다. 이 표현을 최대 안정 입자경으로 나타내면 다음과 같다.

$$d_{\max} = C_2 \sigma^{0.6} \rho_c^{0.6} \epsilon^{-0.4} \quad (4)$$

이 형태는 점성이 없는 입자(inviscid drop)에 대해서만 적용가능한 식으로, 점성이 있는 입자에 대해서는 계면장력 이외에 입자내의 점성력을 포함한 저항력과 입자를 분열시키려는 관성력과의 균형에 의해 최대안정 입자경이 표현된다[8].

$$d_{\max} = A_1 \left(\frac{\sigma}{\rho_c} \right)^{3/5} \epsilon^{-2/5} \left[1 + B_1 \left(\frac{\rho_c}{\rho_d} \right)^{1/2} \frac{\mu_d (\epsilon d_{\max})^{1/3}}{\sigma} \right]^{3/5} \quad (5)$$

여기서 ρ 는 밀도를 나타내고 하첨자 c , d 는 각각 연속상과 분산상을 의미하며, 두 상수 A_1 , B_1 은 교반조와 임펠러의 형태에 의존하므로 실험적으로 구해야 한다.

2.2. 점성전단 부영역하의 모델

난류교반을 겪는 분산 입자경이 Kolmogorov의 길이보다 훨씬 작을 경우, 즉 $\eta \gg d$, 난류유동은 점성전단 부영역에 속하게 되는데, 일반적으로 난류유동의 강도가 강할수록, 분산상과 연속상의 계면장력계수가 작을수록 난류유동은 점성전단 부영역에 속하게 된다. 이 영역에서 속도벡터의 진동성분의 제곱평균은 다음과 같이 식 (2)와는 다르게 표현된다.

$$u^2 \propto d_{\max} (\epsilon/v_c) \quad (6)$$

속도 기울기(velocity gradient)는 $(\epsilon/v_c)^{0.5}$ 의 차수[1,9]를 가지므로 입자를 분열시키려는 힘은 $\mu_c (\epsilon/v_c)^{0.5}$ 에 비례하고 이것이 단위면적당 표면력 σ/d_{\max} 와 균형을 이룰 때 최대 안정 입자경의 올바른 형태는 다음과 같다.

$$d_{\max} = C_3 \sigma \mu_c^{-1} v_c^{0.5} \epsilon^{-0.5} \quad (7)$$

그렇지만 이 표현식에는 점성전단 부영역에서 중요한 역할을 하는 연속상에 대한 분산상의 점도비에 대한 항을 가지고 있지 않다. 점도비의 중요성은 이미 Karam과 Bellinger[10], Taylor[11]의 실험에 의해 확인되었고 Shinnar[1]는 다음과 같은 함수의 형태로 가정하였다.

$$d_{\max} = C_4 \sigma \mu_c^{-1} v_c^{0.5} \epsilon^{-0.5} f(\mu_d/\mu_c) \quad (8)$$

점도비를 포함하는 식으로 표현하기 위하여 관성 부영역에서 고려했던 것과 같은 방법으로 다음과 같이 입자내의 저항 점성응력을 도입해 보면,

$$\begin{aligned} \tau_v &= \mu_d \left(\frac{du_d}{dr} \right) \propto \mu_d \left(\frac{\rho_c}{\rho_d} \right)^{1/2} \left(\frac{du}{dr} \right) \\ &\propto \mu_d \left(\frac{\rho_c}{\rho_d} \right)^{1/2} \left(\frac{\epsilon}{v_c} \right)^{1/2} \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 du_d/dr 은 입자내 진동속도의 기울기를, du/dr 은 입자밖 진동속도의 기울기를 나타낸다. 이 추가항을 포함하여 수지식을 세우면 최종적으로 표현되는 최대 안정 입자경 예측식은 다음과 같다.

$$d_{\max} = \frac{A_2 \sigma (\mu_c \rho_c \epsilon)^{-0.5}}{\left[1 - B_2 \left(\frac{\mu_d}{\mu_c} \right) \left(\frac{\rho_c}{\rho_d} \right)^{0.5} \right]} \quad (10)$$

Table 1. Turbulent flow subranges

Kolmogorov's Length Scale $\eta=(\nu_c^3/\epsilon)^{1/4}$	
$L \gg d \gg \eta$	$d \ll \eta$
Inertial subrange	Viscous shear subrange
$\rho_c u^2 \gg \mu_c \frac{du}{dr}$	$\rho_c u^2 \ll \mu_c \frac{du}{dr}$
Inertial force Surface force	Viscous force Surface force
$d_{max} = A_1 \left(\frac{\sigma}{\rho_c} \right)^{3/5} \epsilon^{-2/5} \left[1 + B_1 \left(\frac{\rho_c}{\rho_d} \right)^{1/2} \frac{\mu_d (\epsilon d)^{1/5}}{\sigma} \right]^{3/5}$	$d_{max} = \frac{A_2 \sigma (\mu_d \rho_c \epsilon)^{-1/2}}{\left[1 - B_2 \left(\frac{\mu_d}{\mu_c} \right) \left(\frac{\rho_c}{\rho_d} \right)^{1/2} \right]}$
: Oil in Water Dispersion	: Polymeric Emulsion
$d_{max} = f(\sigma, \mu_d, \mu_c, \epsilon, \rho_d, \rho_c, \phi)$	

여기서도 A_2, B_2 는 교반기의 구조와 임펠러의 형태에 의존하는 상관계수로 이것은 실험데이터로 구해야 한다. 제시된 모델은 점성전단 부영역에서 표현되는 속도 기울기 항을 고려하고 있다는 점과, 실험[10]에서 관찰되는 바와 같이 어느 임계치 이상의 점도비에서는 입자가 깨질 수 없다는 hyperbolic형의 점도비를 표현하고 있다는 점에 그 특징이 있다. 모델식 속의 각 인자들은 온도, 원료의 조성, 전환율, 임펠러의 회전속도 혹은 토오크(torque) 등 공정시의 조업조건과 밀접하게 연계되어 있다.

난류교반의 두 가지 유동 부영역에 대한 특징과 입자경 예측모델식을 Table 1에 요약하여 정리하였다.

3. 검증 및 고찰

점성전단 부영역하의 분산계에 적용할 수 있도록 개발된 입자경 예측모델식을 검증하기 위하여 같은 조업조건에서는 동일한 등급(grade)의 내충격성 폴리스티렌을 생산하는 일련의 산업용 중합반응기에서 그 단위공정중의 하나인 전중합반응기(prepolymerization reactor)를 해석하였다. 내충격성 폴리스티렌의 중합반응시 일어나는 상변화의 개략도는 Fig. 1과 같다. 물성에 중요한 영향을 미치는 최종제품의 고무상 입자경은 상역전(phase inversion)이 일어나는 전중합반응기에서 결정된다고 알려져 있으며 그 이후의 공정에서는 중합이 진행되면서 단지 비율적으로만 크기가 작아져 최종상태의 입자가 된다고 볼 수 있다.

주어진 Table 2 속의 %R, %EB는 각각 부타디엔 고무(butadiene rubber), 에틸벤젠(ethyl benzene)의 중량%, 그리고 차례대로 반응기에서의 폴리스티렌의 전환율, 임펠러의 총소요동력, 용액의 총질량, 반응온도를 나타낸다.

해석의 대상은 Mitsubishi 화학(주)의 HIPS 전중합반응기로 직경 2.35 m, 높이 5 m 정도이며 2단의 helical ribbon을 2쌍 가지고 있는 임펠러가 대략 30~40 rpm으로 용액을 교반시키는

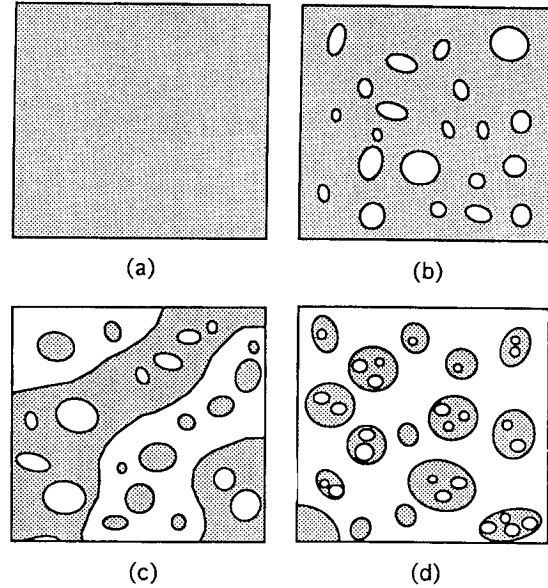


Fig. 1. Process of phase inversion in the preparation of high impact polystyrene (white: polystyrene phase, gray: polybutadiene phase): (a) initial solution of polybutadiene in styrene, (b) phase separation (polystyrene in styrene is dispersed), (c) phase inversion stage (metastable), (d) after phase inversion (polybutadiene in styrene is dispersed).

Table 2. Operation conditions for the prepolymerization reactor

Operation number	%R	%EB	%conv. overall	Power {kW}	Weight {ton}	Temp. {°C}	d* {μm}
HIPS_Run1	8.95	13.8	17.9	51.	13.02	110.1	3.5
HIPS_Run2	8.95	13.8	24.4	47.	13.05	111.5	2.15
HIPS_Run3	8.97	13.85	21.4	56.	13.	111.8	2.85
HIPS_Run4	11.35	10.12	22.7	110.5	13.02	117.	2.66
HIPS_Run5	11.35	10.3	20.9	109.	13.02	116.6	2.77
HIPS_Run6	11.35	10.2	21.0	122.	13.02	116.8	2.65
HIPS_Run7	7.85	13.94	20.2	41.	13.02	112.2	3.35
HIPS_Run8	7.85	13.98	20.4	38.5	12.89	111.7	3.6
HIPS_Run9	7.84	14.04	20.4	40.2	13.02	111.5	3.2

* Average rubber particle size measured at the final HIPS product.

구조를 하고 있다. 먼저 교반되는 유동장의 유동영역을 판별해 보았다. 반응기 내에서 가장 강한 유동을 겪는 교반 임펠러 선단에서의 Kolmogorov의 길이를 대략적으로 계산해 보면 700 μm 정도이다. 한편 제품의 고무상 입자의 크기는 평균 2~4 μm인데, 상역전 직후의 고무상 입자가 최종제품의 고무상 입자에 상당한다는 가정을 하면, 상역전 직후의 고무상 입자의 크기는 Kolmogorov의 길이보다 훨씬 작으므로 난류유동의 형태는 점성전단 유동에 속하는 것으로 추론할 수 있다. 그러면 점성전단 유동에서 적용할 수 있는 입자경 예측모델인 식 (10)을 이용할 수 있는데 이 모델에서 요구되는 중요한 인자는 상역전이 일어날 때의 계면장력계수, 연속상 및 분산상의 점도, 분산상의 부피분율이다. 단위질량에 대한 평균동력은 총질량에 대한 총소요동력으로 구해지며 두 상은 같은 밀도를 갖는 것으로 가정하였다. 폴리스티렌상과 폴리부타디엔상의 점도와

상역전이 일어날 때의 고무상의 부피분율을 추정하기 위하여 혼합점도 예측식[12-16]을 이용하였다. 이 때 요구되는 폴리부타디엔에 대한 데이터는 Asaprene 755A로 고정시켜 계산했는데 이는 cis 33%, trans 49%, vinyl 18%로 구성되어 있으며 25°C, 5% 스티렌 용액에서의 용액점도는 95cp를 나타낸다. 폴리스티렌의 전환율에 따라 추정된 혼합점도의 예를 Figs. 2, 3에 나타내었는데, 점도곡선이 불연속을 나타내는 곳이 상역전이 일어나는 지점이다. 폴리스티렌상과 폴리부타디엔상 사이의 계면장력계수는 발표된 문헌[17-20]을 통하여 분자량, 온도, 공중합체의 질량분율, 용액속에서 생성된 폴리머 분율에 대한 의존성을 조사하여 추정하였는데 Fig. 4는 각각에 대한 의존성을 개략적으로 나타낸 것이다. 분자량에 따른 계면장력계수를 보면 분자량이 작은 경우 지수가 0.5, 무한대에 가까울수록 1에 접근하는 경향을 보여준다. 일반적으로 폴리스티렌상과 폴리부타디엔상 사이의 계면장력계수는 분자량이 클수록, 온도가 낮을수록, 전환율이 높을수록 큰 값을 갖게 되지만 두 상 사이에 생성되는 그래프트의 양이 많을수록 지수적으로 감소하는 경향을 나타낸다. 이와 같은 사항을 근거로 하여 점성전단 유동에서 적용할 수 있는 입자경 예측모델식을 사용할 수 있는데, 모델에서 요구되는 변수를 추정하여 정리하면

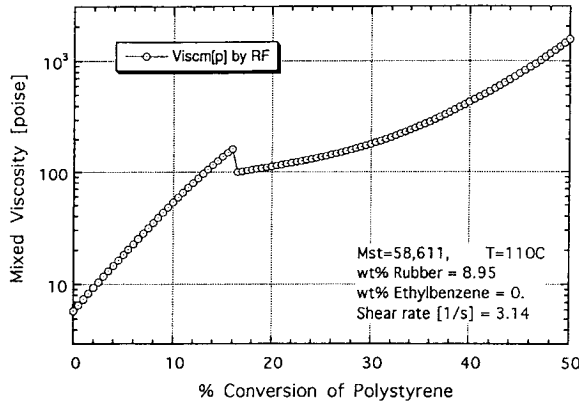


Fig. 2. Overall mixture viscosity of HIPS syrup as a function of polystyrene conversion (without diluent).

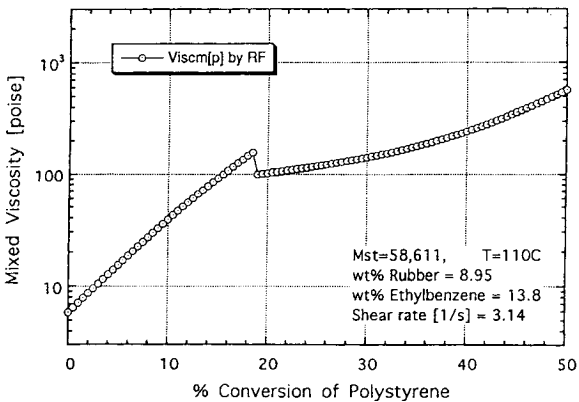


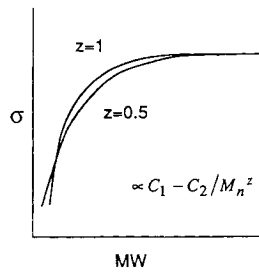
Fig. 3. Overall mixture viscosity of HIPS syrup as a function of polystyrene conversion (with diluent).

Table 3와 같다.

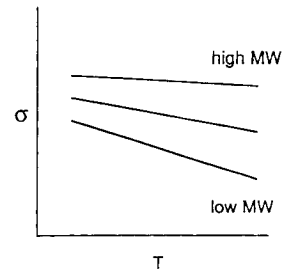
최대 안정 입자경을 평균입자경으로 두고 분산상의 부피분율을 고려하도록 식을 개선한 후 추정된 변수를 입자경 예측 모델식에 대입하여 직선식으로 curve fitting하여 보면 모델식 속의 A_2 , B_2 를 얻을 수 있는데 그 값은 각각 0.45581, 0.0073139였다. 이제 모델식 속의 두 계수가 결정되었으므로 Table 3의 인자를 모델식에 대입하여 고무상 입자경을 예측할 수 있다. 다음에 주어진 Table 4는 제품의 입자경과 모델식으로 예측한 입자경을 비교한 것인데 제품의 입자경에는 측정 오차범위를 함께 나타내었다.

결과에서 보듯이 조업조건 데이터로부터 예측한 입자경은 제품의 입자경과 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 모델식으로 각 변수에 따른 내충격성 폴리스티렌의 고무상 입자경의 변화를 예측하여 Figs. 5~8에 표시하였는데 실제 조

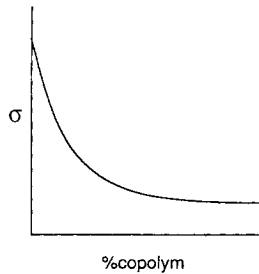
1. Molecular Weight



2. Temperature



3. Copolymer



4. Solvent

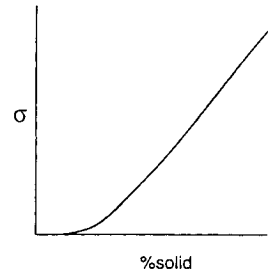


Fig. 4. Dependence of interfacial tension coefficient on some variables (polystyrene/polybutadiene system).

Table 3. Parameters required for the prediction of rubber particle size

Operation number	ϵ {m ² /s ² }	μ_c {Pa · s}	μ_d/μ_c	ρ {kg/m ³ }	σ {mN/m}	ϕ
HIPS_Run1	3.9171	0.4386	34.578	844.91	0.366	0.5322
HIPS_Run2	3.6015	1.1293	34.990	854.03	0.452	0.4738
HIPS_Run3	4.3077	0.7221	35.326	848.87	0.413	0.5015
HIPS_Run4	8.4869	1.2653	70.759	847.25	0.456	0.5294
HIPS_Run5	8.3717	0.9892	70.424	844.69	0.433	0.5259
HIPS_Run6	9.3702	0.9992	70.591	844.72	0.435	0.5263
HIPS_Run7	3.1490	0.4746	23.501	846.84	0.384	0.4906
HIPS_Run8	2.9868	0.4938	23.422	847.62	0.386	0.4881
HIPS_Run9	3.0876	0.4946	23.302	847.78	0.386	0.4878

Table 4. Comparison between experimental and predicted particle sizes

Operation number	d_{exp} { μm }	d_{pred} { μm }
HIPS_Run1	3.50 ± 0.30	3.403
HIPS_Run2	2.15 ± 0.35	2.544
HIPS_Run3	2.85 ± 0.30	2.766
HIPS_Run4	2.66 ± 0.11	2.614
HIPS_Run5	2.77 ± 0.12	2.805
HIPS_Run6	2.65 ± 0.15	2.658
HIPS_Run7	3.35 ± 0.25	3.284
HIPS_Run8	3.60 ± 0.20	3.309
HIPS_Run9	3.20 ± 0.40	3.247

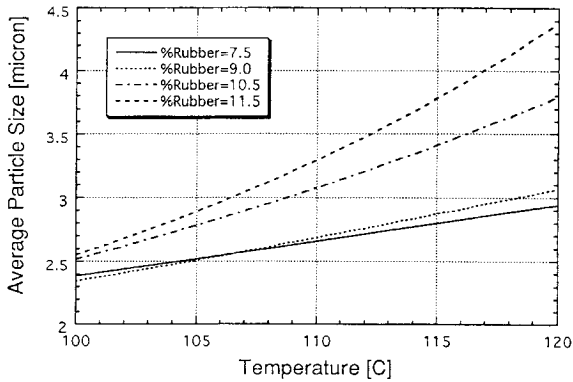


Fig. 5. Prediction of HIPS particle size with temperature at different rubber weight % (%conversion overall=20, $\rho_c=\rho_p=850 \text{ kg/m}^3$, $\sigma=0.0001 \text{ N/m}$, $\bar{\epsilon}=5 \text{ m}^2/\text{s}^3$, $\dot{\gamma}=3.14 \text{ s}^{-1}$).

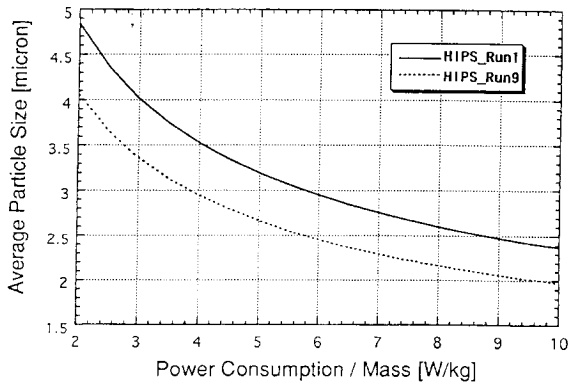


Fig. 6. Prediction of HIPS particle size with power consumption at two sample data, where μ and $\dot{\gamma}$ vary with power consumption.

업조건의 변화에 따른 입자경의 변화를 제대로 설명해 주고 있다.

4. 결 론

난류유동으로 교반되고 있는 액체/액체 분산계에서 분산입자의 크기를 예측하기 위한 모델은 입자가 겪는 교반 상황에 따라 다르게 표현된다. 난류유동의 두 영역인 관성 부영역과 점성전단 부영역 중에서 고분자 유타액과 같은 오일/오일 분산

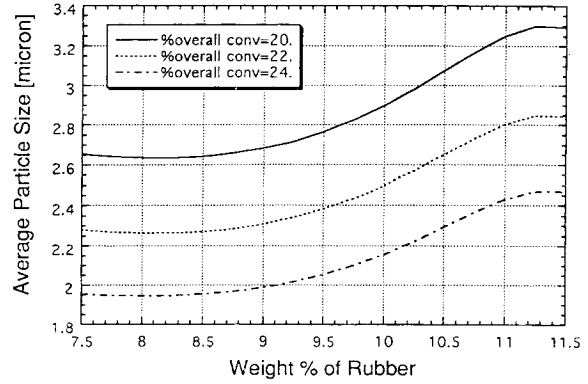


Fig. 7. Prediction of HIPS particle size with rubber weight % at different overall conversion ($T=110^\circ\text{C}$, $\rho_c=\rho_p=850 \text{ kg/m}^3$, $\sigma=0.0001 \text{ N/m}$, $\bar{\epsilon}=5 \text{ m}^2/\text{s}^3$, $\dot{\gamma}=3.14 \text{ s}^{-1}$).

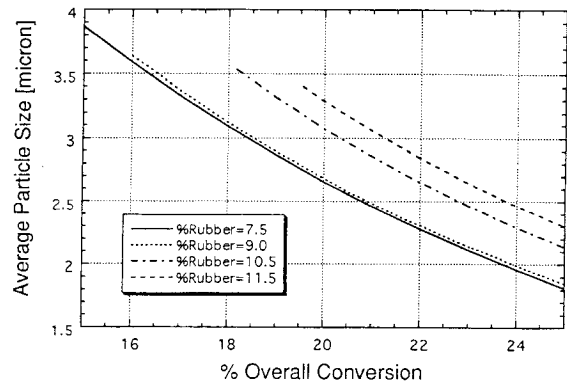


Fig. 8. Prediction of HIPS particle size with overall conversion at different rubber weight % ($T=110^\circ\text{C}$, $\rho_c=\rho_p=850 \text{ kg/m}^3$, $\sigma=0.0001 \text{ N/m}$, $\bar{\epsilon}=5 \text{ m}^2/\text{s}^3$, $\dot{\gamma}=3.14 \text{ s}^{-1}$).

계는 분산상과 연속상 사이의 계면장력계수가 작아 분산입자의 최대 안정 입자경이 Kolmogorov의 길이보다 작은 경우가 생겨 유동영역이 종종 점성전단 부영역에 속하게 된다. 본 연구에서는 유체동력학적인 이론을 바탕으로 점성전단 부영역 하에서 분산입자의 크기를 예측할 수 있는 모델을 개발하였다. 식 (10)으로 표현되는 모델식은 온도, 원료의 조성, 소요동력, 전환율과 같은 조업조건으로부터 식 속의 인자를 구하면 입자경이 커지거나 작아지는 경향을 예측해 준다. 제시한 모델의 타당성을 검증하기 위하여 오일/오일 분산계를 거쳐 생산되는 내충격성 폴리스티렌을 대상으로 분산상인 고무입자의 평균크기와 비교하였다. 본 연구에서 대상으로한 내충격성 폴리스티렌의 전중합반응기에서 가장 좋은 입자경 예측을 해 주는 모델식 속의 두 계수 A, B는 해석 결과 각각 0.45581, 0.0073139였다. 해석한 반응기에 정량화시킨 모델식으로 예측한 입자경은 제조된 입자경과 오차범위 내에 대부분 존재하는 것을 확인할 수 있는데 이는 제시한 모델식이 오일/오일 분산계와 같은 점성전단 부영역 하의 입자경 예측에 타당한 모델이라는 것을 확인해 주는 것이다. 앞으로는 예측모델식에 사용한 점도 및 계면장력계수를 실험적으로 측정할 수 있는 방법들

개발하거나 주장하기 위한 보다 개선된 방법이 제시되어야 하겠다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단 신진교수 연구지원 사업에 의하여 이루어졌습니다. 귀 재단의 연구지원에 감사드립니다.

기 호

d	: average diameter of drop or particle
d_{\max}	: maximum stable drop diameter
L	: macroscale of turbulence
r	: distance of radial direction
u	: component of velocity fluctuation vector
u_d	: component of velocity fluctuation vector within drop
u^2	: mean-square of velocity fluctuation vector

Greek letters

$\dot{\gamma}$: shear rate
ϵ	: local energy dissipation rate per unit mass
$\bar{\epsilon}$: average energy dissipation rate per unit mass
ϕ	: volume fraction of dispersed phase
η	: Kolmogorov's length scale
μ	: viscosity
μ_c	: viscosity of continuous phase
μ_d	: viscosity of dispersed phase
ν_c	: kinematic viscosity of continuous phase
ρ	: density of mixture
ρ_c	: density of continuous phase

ρ_d	: density of dispersed phase
σ	: interfacial tension coefficient
τ_v	: resisting viscous stress within drop

참고문헌

1. R. Shinnar, *J. Fluid Mech.*, **10**, 259 (1961).
2. J.S. Lagisetty, P.K. Das, R. Kumar and K.S. Gandhi, *Chem. Eng. Sci.*, **41**, 65 (1986).
3. R.V. Calabrese, T.P.K. Chang and P.T. Dang, *AIChE J.*, **32**, 657 (1986).
4. M. Konno, K. Arai and S. Saito, *J. Chem. Eng. Japan*, **15**, 131 (1982).
5. J.M. Lee and Y. Soong, *Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev.*, **24**, 118 (1984).
6. K. Arai, M. Konno, Y. Matunaga and S. Saito, *J. Chem. Eng. Japan*, **10**, 325 (1977).
7. A.N. Kolmogorov, *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **30**, 301 (1941).
8. R.V. Calabrese, C.Y. Wang and N.P. Bryner, *AIChE J.*, **32**, 677 (1986).
9. J.R. Bourne, *Chem. Eng. Sci.*, **49**, 1077 (1994).
10. H.J. Karam and J.C. Bellinger, *Ind. Eng. Chem. Fundamentals*, **7**, 576 (1968).
11. G.I. Taylor, *Proc. Roy. Soc.*, **A146**, 501 (1934).
12. G.F. Freeguard and M. Karmarkar, *J. Appl. Polym. Sci.*, **15**, 1649 (1971).
13. G.I. Taylor, *Proc. Roy. Soc.*, **A138**, 41 (1932).
14. Monsanto Report, Job Nos. 3337, 3841 DI-HIPS (1976).
15. D.G. Thomas, *J. Coll. Sci.*, **20**, 267 (1965).
16. 이성재, 한국유변학회 추계학술발표회 논문집, 22 (1996).
17. S.H. Anastasiadis, I. Gancarz and J.T. Koberstein, *Macromolecules*, **22**, 2980 (1989).
18. P. Gaillard, M. Ossenbach-Sauter and G. Riess, *Makromol. Chem. Rapid Comm.*, **1**, 771 (1980).
19. S.H. Anastasiadis, I. Gancarz and J.T. Koberstein, *Macromolecules*, **22**, 1449 (1989).
20. K. M. Hong and J. Noolandi, *Macromolecules*, **14**, 727 (1981).