

Toluene/Glycerin分散系에서 Toluene의 液滴粒度가 系の 相對粘度에 미치는 影響

許珥琪* · 金基貞 · 睦榮一

*仁荷大學校 工科大学 生物工學科

垂洲大學校 工科大学 化學工學科

(1986년 2월 17일 접수, 1986년 10월 6일 채택)

Effect of Drop Size of Toluene on the Relative Viscosity in the Toluene-Glycerin Dispersion

Byung Ki Hur*, Kee Jeong Kim and Young Il Mok

*College of Engineering, Inha University, Incheon 160, Korea

College of Engineering, Ajou University, Suwon 170, Korea

(Received 17 February 1986; accepted 6 October 1986)

要 約

Toluene/Glycerin分散系에서 分散相인 toluene의 液滴粒度分布가 分散系の 相對粘度에 미치는 영향을 고려하기 위하여 Oldroyd의 相對粘度式으로부터 分散相의 液滴粒度分布를 고려한 相對粘度式을 얻었다.

分散相인 toluene의 부피濃도가 5%에서 25%인 分散系の 相對粘度 실험結果로부터 toluene/glycerin界面에서의 粘度特性值가 1.696 cp·cm, 실험値와 誘導된 式의 計算値 사이에 最小誤差 0.24%, 最大誤差 2.06%, 平均誤差 1.109%인 것을 얻을 수 있었다.

Abstract—The successive application of Oldroyd's equation of relative viscosity to toluene-glycerin dispersion system leads to a equation, expressing the functional relationship among the relative viscosity of the dispersion, volume concentration and drop size distribution.

The experimental results of the toluene-glycerin dispersions from 5% to 25% of the volume of toluene were tested against the derived equation. The viscosity property of the interface was 1.696 cp·cm. And the errors between experimental viscosities and the values calculated by the proposed model ranged from 0.24% to 2.06%. The average error percentage was 1.109% and the maximum error percentage for the system was 2.06%.

1. 序 論

일반적으로 機械的 攪拌에 의하여 생성되는 非相

溶性인 두 液相의 分散狀態는 分散相의 平均 液滴
粒度에 따라서 에멀전系(粒度; 1~10 μ)와 分散系
(粒度; 50~600 μ)로 分類된다[1]. 이때, 平均 液

滴 粒 度는 液 滴들이 破 壞되고 再 結 合되는 動的 平 衡 狀 態에서의 平均 粒 度를 意 味 한다. 液 滴 粒 度 分 布는 分 散 系의 連 續 相과 分 散 相의 物 理 的 性 質과 分 散 相의 부 피 濃 度 및 攪 拌 強 度, 攪 拌 機의 裝 置 特 性 등에 影 響을 받는다 [2~5, 24].

分 散 系는 液 滴들이 破 壞되는 速 度보다 再 結 合하는 速 度가 比 較 적 빠르기 때 문에 불 안 定 한 液-液 分 散 狀 態를 形 成 하고 있다. 이 런 不 安 定 한 分 散 系는 熱 또는 物 質 傳 達을 위 해 서로 섞이지 않는 두 液 體를 수 송 하거나 攪 拌 시키는 과 程에서 發 生되는 現 象으로, 分 散 系의 有 効 粘 度는 그 系의 移 動 現 象을 解 析 하 는데 重 要 한 物 理 的 性 質 中의 一 個이다. 또 한 分 散 系의 相 對 粘 度는 分 散 系의 有 効 粘 度와 連 續 相의 粘 度의 比로 定 義 되 어 지 고 있 다 [2, 6~8].

液-液 分 散 系에서 일 어 나 는 現 象은 固-液 浮 游 系에서 發 生되는 現 象보다 複 雜 하 기 때 문에 分 散 系의 相 對 粘 度에 대 한 理 論 的 式을 誘 導 하 기는 상 당 히 어 렵 다. 固-液 浮 游 系와 는 달 리 液-液 分 散 系에서 는 液 滴 內 部 에서 의 液 體의 循 環, 分 散 相과 連 續 相 界 面 에서 의 部 分 的인 循 環, 液 滴 들의 變 形과 相 互 作 用 및 두 液 相 사이 의 微 細 한 相 溶 등 複 雜 한 現 象이 發 生 하 여 液-液 分 散 系의 動的 現 象을 理 論 的으로 解 析 하 기는 상 당 히 어 렵 다. 따 라 서 液-液 分 散 系의 相 對 粘 度는 固-液 浮 游 系의 相 對 粘 度에 關 한 研 究 結 果로 부 터 類 推 하 여 解 析 하 였 다 [1, 9~11]. 이 들 研 究의 대 부 분은 液-液 分 散 系의 相 對 粘 度와 分 散 相의 部 皮 濃 度 사이 의 函 數 關 係 究 明에 초 점을 두 고 進 行 되 어 왔 으 나 液 滴 粒 度 分 布의 影 響에 關 해서는 研 究가 進 行 되 고 있 지 않 는 실 정 이 다.

本 研 究에서 는 分 散 系의 相 對 粘 度와 分 散 相의 部 皮 濃 度 및 液 滴 粒 度 分 布 사이 의 函 數 關 係를 究 明 하 기 위 하 여 임 의 의 液 滴 粒 度 分 布를 形 成 하 고 있 는 分 散 相의 全 液 滴을 均 一 한 液 滴 들로 形 成 된 數 個의 液 滴 群으로 나 누 고, 分 散 系를 連 續 相에 分 散 相의 液 滴 群이 한 群씩 連 鎖 的으로 添 加 되는 狀 態로 解 析 하 였 다. 各 液 滴 群이 添 加 되는 過 程에서 다음 液 滴 群이 添 加 되기 前의 分 散 狀 態를 擬 連 續 相으로 간 주 하 였 다. 添 加 되는 分 散 相 各 群의 擬 連 續 相에 대 한 部 皮 濃 度는 대 당 히 稀 薄 하 기 때 문에, 無 限 稀 釋 濃 度의 에 멀 전 系에 대 한 理 論 的 相 對 粘

度 式을 各 群이 添 加 되는 分 散 系의 相 對 粘 度 計 算에 應 用 할 수 있 다 고 가 정 하 여 液-液 分 散 系의 相 對 粘 度와 分 散 相의 部 皮 濃 度 및 粒 度 分 布 사이 의 函 數 關 係에 대 한 數 學 的 模 型을 導 出 하 였 다.

誘 導 된 模 型의 타 당 性을 검 토 하 기 위 하 여, toluene/glycerin 分 散 系의 相 對 粘 度와 分 散 相의 濃 度 및 液 滴 粘 度 分 布 등을 측 정 하 여 實 驗 結 果와 誘 導 된 式의 結 果를 比 較 檢 討 하 였 다.

2. 理 論 的 考 察

球 形 固 體 粒 子의 部 皮 濃 度가 매 우 稀 薄 한 浮 游 系에 대 하 여 Einstein [12, 13]은 粒 子 周 圍의 層 流에 緩 曲 에 따 른 速 度 勾 配의 增 加를 고 려 하 여 浮 游 系의 相 對 粘 度에 關 한 다음 理 論 式을 誘 導 하 였 다.

$$\mu_r = \frac{\mu_o}{\mu_c} = 1 + 2.5\Phi, (\Phi \rightarrow 0) \quad (1)$$

여 기 서, Φ 는 溶 液 內의 固 體 粒 子의 部 皮 濃 度, μ_r 은 浮 游 系의 相 對 粘 度, μ_o 는 浮 游 系의 有 効 粘 度, μ_c 는 連 續 相의 粘 度를 意 味 한 다.

高 濃 度의 浮 游 系에 까 지 式(1)을 확 장 適 用 하 기 위 하 여 서 는 粒 子間의 衝 돌 및 流 體 力 學 的 相 互 作 用, 粒 子의 回 轉, 두 個 또는 그 以 上 의 粒 子間의 結 合 現 象 등 을 고 려 하 여 야 한 다. 그 러 나 무 질 서 한 形 態를 지 니 고 있 는 高 濃 度의 浮 游 系를 간 단 한 模 型으로 表 現 할 수 없 는 것 이 이 系의 動 特 性에 대 한 理 論을 定 立 하 는데 있 어 서 가 장 어 렵 은 점 이 다. 지 금 까 지 發 表 된 高 濃 度의 浮 游 系에 대 한 相 對 粘 度 式은 粒 子間의 相 互 作 用을 고 려 한 reflection technique과 cell 모 형을 어 용 하 여 式(1)을 확 장 시 킴 으 로 써 얻 은 準 理 論 式 들 이 다 [6~8, 14~19]. 이 式 들 中에서 가 장 대 표 적 인 式은 다음 과 같 이 表 現 되는 指 數 式 이 다.

$$\mu_r = \exp\left(\frac{2.5\Phi}{1-\Phi}\right) \quad (2)$$

固 體 粒 子대 신 液 滴이 分 散 되 어 있 는 情 우 에 는 液 滴의 變 形과 境 界 條 件을 精 確 히 規 定 할 수 없 기 때 문에 相 對 粘 度에 關 한 理 論 式을 세 우 기가 거 의 不 可 能 하 다. Taylor [9]는 거 의 球 形을 유 지 할 수 있 을 정 도로 充 분 히 작 은 液 滴, 接 線 方 向 만의 應 力 傳 達, 界 面 上에서는 미 끄 러 짐 이 없 다는 條 件 하 여 서 매 우 低 濃 度의 에 멀 전 系에 대 하 여 式(1)을 理

論的으로 확장시켜 다음 式을 誘導하였다.

$$\mu_r = 1 + 2.5\Phi \left(\frac{0.4 + \mu_a/\mu_c}{1 + \mu_a/\mu_c} \right), (\Phi \rightarrow 0) \quad (3)$$

여기서, μ_a 는 分散相의 粘度를 의미한다.

Oldroyd[10, 11]는 均一한 球形의 液滴들로 이루어진 에멀전계에 대하여 液滴 내부의 循環은 물론 界面에서의 部分 循環까지 고려하여 式(3)을 다음과 같이 理論的으로 확장하였다.

$$\mu_r = 1 + 2.5\Phi \left(\frac{2/5\mu_c + \mu_a + 4/5(2s+3\sigma)/d}{\mu_c + \mu_a + 4/5(2s+3\sigma)/d} \right), (\Phi \rightarrow 0) \quad (4)$$

위의 式에서 d 는 液滴粒도를 의미하며, s 는 界面에서의 二次元的 剪斷粘度, σ 는 界面의 面積粘度를 의미한다.

本 研究에서는 分散相의 부피濃도 뿐만 아니라 液滴粒도 및 分布가 相對粘度에 미치는 영향을 고려하기 위하여 分散系를 다음과 같이 解析하였다.

일정한 溫度에서 임의의 液滴分布를 形成하고 있는 液-液 分散系의 分散相의 全 液滴은 液滴의 크기가 서로 다른 여러 個의 群으로 形成되어 있으며, 群내에 포함되어 있는 液滴은 크기가 동일하며 부피濃도는 매우 稀薄하다고 解析하였다. 連續相에 分散相의 첫 液滴群이 添加된 分散系에 두번째 液滴群이 添加될 때 처음 分散系를 두번째 群에 대한 擬 連續相으로 간주하였다. 이와같은 방법으로, 임의의 液滴粒도 分布를 形成하고 있는 高濃도의 分散系는 各各의 擬 連續相에 매우 적은 量의 分散相 液滴群들이 連鎖적으로 添加되어 이루어진다고 解析하였다.

直徑이 各各 d_1, d_2, \dots, d_{i-1} 인 分散相의 液滴群과 連續相으로 이루어진 擬 連續相에 直徑 d_i 인 分散相의 粒子群이 添加된 分散系의 擬 連續相에 대한 相對粘度는 式(5)와 같이 Oldroyd式으로 表現할 수 있다.

$$\mu_{r_i} = \frac{\mu_{\Phi_i}}{\mu_{\Phi_{i-1}}} = 1 + K_i \Phi_i \quad (5)$$

위의 式에서,

$$\mu_{\Phi_0} = \mu_c \quad (6)$$

$$K_i = 2.5 \frac{0.4\mu_{\Phi_{i-1}} + \mu_{d_i}^*}{\mu_{\Phi_{i-1}} + \mu_{d_i}^*} \quad (7)$$

$$\mu_{d_i}^* = \mu_a + k/d_i \quad (8)$$

$$k = \frac{4}{5} (2s + 3\sigma) \quad (9)$$

Φ_i 는 直徑 d_i 에서 d_i 까지의 分散相의 液滴群과 連續相으로 形成된 分散系에서 直徑 d_i 인 液滴群이 차지하는 부피分率이고 μ_{Φ_i} 는 이 分散系의 有效粘度이다. 또한 式(7)의 K_i 를 μ_c 項까지 전개하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} K_i &= 2.5 \frac{0.4\mu_{\Phi_{i-2}} [1 + K_{i-1} \Phi_{i-1}] + \mu_{d_i}^*}{\mu_{\Phi_{i-2}} [1 + K_{i-1} \Phi_{i-1}] + \mu_{d_i}^*} \\ &= 2.5 \frac{0.4\mu_{\Phi_{i-3}} [1 + K_{i-2} \Phi_{i-2}] [1 + K_{i-1} \Phi_{i-1}] + \mu_{d_i}^*}{\mu_{\Phi_{i-3}} [1 + K_{i-2} \Phi_{i-2}] [1 + K_{i-1} \Phi_{i-1}] + \mu_{d_i}^*} \\ &= 2.5 \frac{0.4\mu_c \prod_{j=1}^{i-1} [1 + K_j \Phi_j] + \mu_{d_i}^*}{\mu_c \prod_{j=1}^{i-1} [1 + K_j \Phi_j] + \mu_{d_i}^*} \quad (10) \end{aligned}$$

各 液滴群의 부피分率 $\Phi_i \rightarrow 0$ 인 조건을 윗 式(10)에 적용하면 K_i 는 다음 式으로 表現된다.

$$K_i = \frac{0.4\mu_c + \mu_a + k/d_i}{\mu_c + \mu_a + k/d_i} \quad (11)$$

위의 式(11)을 이용하면, n 個의 液滴群을 內包하고 있는 分散系에서 連續相에 대한 分散系의 相對粘度 式은 다음 式으로 表現된다.

$$\frac{\mu_{\Phi n}}{\mu_c} = \frac{\mu_{\Phi n}}{\mu_{\Phi 0}} = \prod_{j=1}^n \mu_{r_j} = \prod_{j=1}^n (1 + K_j \Phi_j), (\Phi_j \rightarrow 0) \quad (12)$$

3. 實 驗

前章에서 提示한 物理的 模型의 타당성을 검토하기 위하여 Fig. 1과 같은 裝置를 사용하여 비교적 안정한 toluene/glycerin 分散系에서 有效粘度와 分散相의 濃도 및 液滴 粒도 分布를 측정하였다. 측정에 사용된 攪拌槽는 4 l 용량의 원통형 유리 용기이고, 攪拌 效果를 높이기 위하여 4개의 Baffle을 設置하였다. 分散系의 有效粘度에 미치는 溫度 변화의 영향을 줄이기 위하여 攪拌槽를 恒溫槽內에 設置하고, 溫度 調節機를 이용하여 恒溫槽의 溫度를 일정하게 유지시켰다. 그 結果 모든 측정이 진행되는 동안 恒溫槽內의 分散系의 溫度는 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 범위 내에서 일정하게 유지되었다.

分散相인 toluene과 連續相인 glycerin의 부피 比를 調節하여 分散系를 만드므로써 分散相의 部피濃도를 임의로 변화시켰고, 일정한 分散相의 濃도

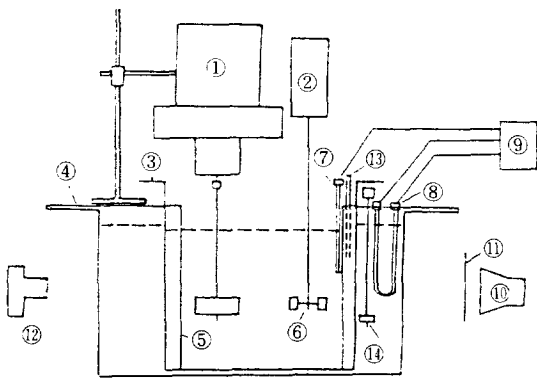


Fig. 1. Experimental setup.

1. Brookfield viscometer
2. Universal motor (220V/500W)
3. Agitated vessel
4. Water bath with its cover
5. Four baffles
6. Turbine impeller with 6-bladed disk
7. Thermocouple
8. Heater (110V/500W)
9. Thermocontroller
10. Lamp (110V/500W)
11. Tracing papers
12. Camera
13. Thermometer
14. Impeller

에서攪拌強度를 조절하여分散系를 만드므로써液滴粒度を 변화시켰다. 分散系의 有効粘度는 Brookfield RVF 粘度計의 #1 Spindle 을 이용하여 10 rpm 의 剪斷變形率에서 측정하였다. 液滴粒度分布의 측정을 위하여 Mok과 Treybal [21-23]에 의해 사용되었던 방법을 개선하여 焦点深度를 매우 얇게 조정한 Cannon TLb 카메라로攪拌槽 내벽 부위에設置된基準線을焦点中心으로 하여 有効粘度 측정과 동시에 分布狀態를 촬영하였다. 이때,基準線으로는 直径 158 μ 으로 均一한銅線을 사용하였다. 현상된 필름을 20배 정도로 확대기를 이용하여 확대시킨 후, 확대된基準線의 直径과 焦点이 확실하게 잡힌液滴들의粒度を 측정하였고 아울러 그 分布를 측정하였다.

分散相과 連續相 사이의物質傳達效果는 Barn-
ea [1]에 의하여 시도됐던 방법으로, 各相이 서로飽和된狀態에서分散系를 만드므로써 배제하였다. Toluene과 glycerin이 相溶하도록 충분히攪拌시킨 후, 12-13시간 정도 방치시켜 相分離시킴으로써飽和狀態의 兩相을 만들었다. 液-液分散狀態에서는分散相의濃도가 증가함에 따라 相變換과 Non-Newtonian習性 및 불규칙적이고 非可逆的인現象들이 나타난다고 알려져 있다 [1,8]. 이 영향을 없애기 위하여 分散相의濃도를 0.25 이하에서 변화시켰다.

500cc와 4 l의 용기에서 25℃와 35℃ 사이의 여러 溫度에 걸쳐 측정한 순수한 95% glycerin의 粘度들을 文献値와 비교함으로써 粘度計와 용기의 확대에 따른 效果를 각각 보정하였다.

相對粘度의 計算을 위해 toluene에 포화된 glyce-
rin의 粘度를 27℃와 32℃ 사이에서 측정하여 溫度와의關係를 圖示함으로써 30℃에서 連續相의 粘度를 구하였다.

攪拌槽 내에서攪拌機에 의한 流体回轉이 粘度측정에 미치는 干涉效果를 조사하기 위하여,攪拌機의回轉速度를 600 rpm에서 1000 rpm까지 변화시키면서攪拌機를 멈춘 후 시간에 따른 粘度變化를 측정하였다. 그 結果攪拌機를 멈춘 다음 10내지 15초 후에는 干涉效果를 무시할 수 있었다.

일정한濃도의分散系에서液滴들이 파괴되고 再結合하는 과정이 平衡에 도달하도록 일정한回轉速度로 20분간攪拌시키고,攪拌를 멈춘지 15초 후에液滴粒度和 有効粘度를 동시에 측정하였다. 이때, Non-Newtonian習性を 조사하기 위하여 粘度計의剪斷變形率을 4, 10, 20 rpm등으로 변화시키면서 粘度를 측정하여 10 rpm에서의 측정치를 기준으로 誤差를 計算하였다. 동일한 조건에서 위의 측정과

Table 1. Physical properties of the materials used at 30C.

Material	Produced by	Grade	Density (g/cc)	Viscosity (cp)
Glycerin	Jensei Chem. Co. (Japan)	E. P.	1.396	629
Toluene	Jensei Chem. Co. (Japan)	E. P.	0.874	0.526
Glycerin saturated with Toluene	—	—	1.443	442.185
Toluene saturated with Glycerin	—	—	0.849	0.458

정을 두번 반복한 뒤, 分散相의 부피 濃도와 攪拌 強度를 변화시키면서 측정과정을 반복하였다.

Table 1은 본 研究에서 사용한 toluene과 glycerin의 30℃에서의 物理的 性質을 나타내고 있다.

4. 結果 및 檢討

單一 相의 粘度를 粘度計의 剪斷 變形率의 變化에 따라 측정한 結果들로부터 粘度計의 正確도가 $\pm 2\%$ 임을 발견하였다. Toluene/glycerin分散系에서 剪斷 變形率의 變化에 따라 有效粘度를 측정한 結果, 分散相의 濃도가 증가함에 따라 分散系는 점차 擬 可塑性 流體의 特性을 나타내었으나 分散相의 濃도가 0.25 以下에서는 剪斷 變形率의 증가에 따른 有效粘度의 감소는 粘度計의 機械的 誤差 範圍 內에서 이루어졌다. 그러므로 分散相의 濃도가 0.25 以下인 toluene/glycerin分散系는 Newtonian流體로 취급할 수 있었다.

Table 2는 toluene/glycerin分散系의 有效粘度, 粒度分布등의 實驗結果를 나타내고 있다. 分散相의 液滴 粒度는 40μ 에서 600μ 사이에 分布되어 있었

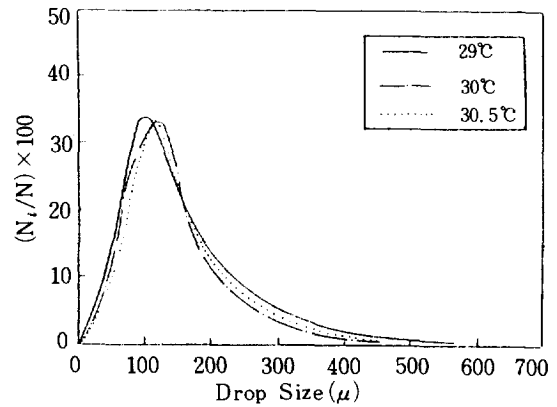


Fig. 2. Drop size distribution with change in temperature, at $\phi=0.15/900$ rpm.

고 그 分布는 分散相의 부피 濃도와 攪拌 強度에 따라서 變化하였다. 온도와 液滴粒度分布의 關係를 조사하기 위하여 小幅의 溫度變化에 따라 測定한 液滴粒度分布를 Fig. 2와 같이 圖示하였다. 그림에서 보는 바와같이 온도 이외의 다른 條件을 同一하게 하고 測定한 分散系의 液滴粒度分布는 小幅의 溫度變化에 관계없이 일정하였다.

本 研究에서 提示한 液-液 分散系의 相對粘度

Table 2. Number of drops having mean diameter d_m for toluene-glycerin dispersion.

ϕ d_m	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15	0.15	0.15	0.2	0.2	0.25	0.25
42.73	13	25	12	8	8	2	8	12	3	12	3	7	6	3	2	2	3
85.46	26	28	51	49	37	33	52	47	34	27	25	40	37	44	32	36	44
128.19	22	23	24	33	31	35	24	22	34	16	32	27	28	12	28	26	18
170.92	16	8	6	7	26	11	8	12	14	14	13	11	14	10	14	14	14
213.65	9	5	3	5	5	7	2	1	9	11	9	5	6	8	8	7	9
256.38	6	4	1	-	3	6	3	2	4	8	6	4	5	3	7	6	4
299.11	-	3	1	-	1	5	-	2	-	3	2	2	4	7	4	5	2
341.84	4	2	-	-	1	1	2	-	1	3	4	1	4	5	2	3	2
384.84	-	1	-	-	1	1	1	-	-	2	3	1	-	1	2	1	2
427.30	-	1	-	-	1	-	1	-	-	1	1	-	3	1	-	1	-
470.03	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	-
512.75	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
555.48	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
598.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
μ_c	426.41	422.19	437.17	426.41	426.47	422.19	426.41	422.19	422.19	424.29	422.19	422.19	422.19	422.19	426.41	426.41	424.29
μ_s	452.90	442.37	461.17	446.03	476.21	481.47	486.74	469.44	469.44	508.30	502.53	501.03	497.27	538.63	541.63	589.01	598.84

式 (12)에서 $K, \Phi_j \ll 1$ 이므로 計算의 편의를 위하여 式 (12)의 K, Φ_j 의 2次項 이하를 무시하면 다음 式과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\mu_{rn}}{\mu_c} &= \prod_{j=1}^n (1 + K_j \Phi_j) \cong 1 + \sum_{j=1}^n K_j \Phi_j \\ &= 1 + 2.5 \sum_{j=1}^n \left[\frac{0.4\mu_c + \mu_d + k/d_j}{\mu_c + \mu_d + k/d_j} \right] \Phi_j \quad (13) \end{aligned}$$

Table 1의 μ_c 와 μ_d 의 값과 Table 2의 實驗值 및 式 (13)을 이용하여 最小自乘法에 의하여 k 를 구하면 $k = 1.696 \text{ cp} \cdot \text{cm}$ 를 얻는다.

Fig. 3에 式 (1), (2), (3)과 本 研究에서 얻어진 式 (13)에 의한 結果를 實驗值와 비교하였다. 그림에서 보는 바와 같이 固-液 浮游系에 의한 相對粘度 式의 값은 測定值 보다 陽의 方向으로 크게 벗어났으며, 式 (3)에 의한 相對粘度値는 分散系의 濃도가 0.05인 경우에는 實驗值를 잘 나타내고 있으나 非分散度가 증가할수록 陰의 方向으로 벗어나고

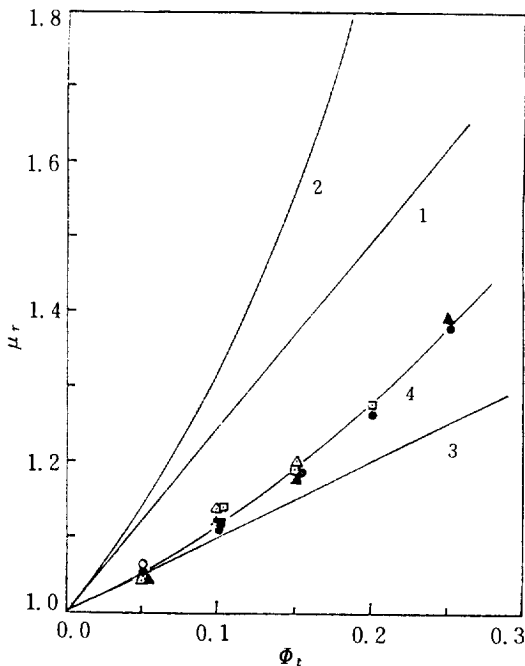


Fig. 3. Correlation of relative viscosity to volume fraction of dispersed phase: toluene (dispersed) - glycerin.

1=Einstein equation 2=Exponential model
3=Taylor's equation 4=Proposed model
Experimental data; ■=600rpm, ○=700rpm,
△=800rpm, □=900rpm, ●=1000rpm, ▲=1100rpm

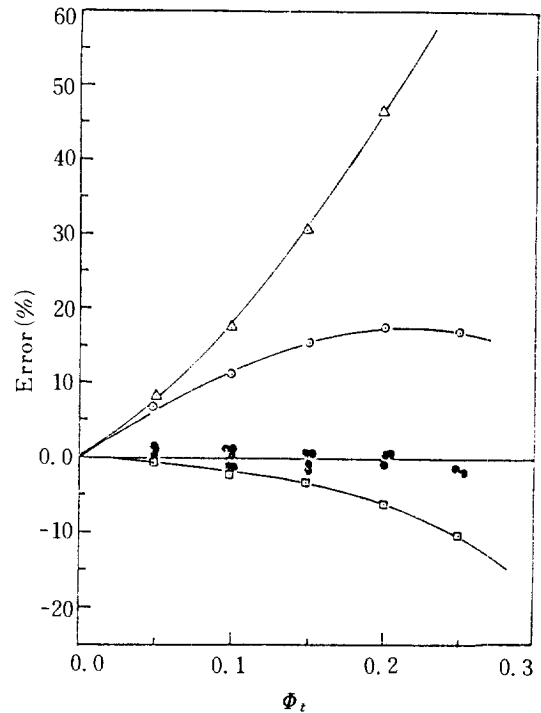


Fig. 4. Error(%) of various equations from experimental data.

△=Exponential model
○=Einstein's equation
□=Taylor's equation
●=Proposed model

있음을 알 수 있다. 이에 반하여 式 (13)에 의한 計算值는 分散系의 非分散度 25%까지는 實驗值를 잘 代辯하고 있다.

Fig. 4는 式 (14)로 정의된 誤差 %를 各 方程式에 適用한 結果이다.

$$\text{Error \%} = \frac{\mu_{rcal} - \mu_{rm}}{\mu_{rm}} \times 100 \quad (14)$$

윗 式에서,

μ_{rcal} = 計算된 相對粘度值

μ_{rm} = 測定된 相對粘度值

이 結果에 의하면 式 (13)에 의한 誤差는 分散相인 toluene의 非分散度가 25%까지는 증가와 감소의 現象을 나타내지 않았으며, 最大絶對誤差 2.06%, 最小絶對誤差 0.24%, 平均絶對誤差 1.109%를 나타내었다.

式 (13)으로부터 toluene/glycerin分散系의 分散相 液滴粒도가 系의 流動現象에 미치는 영향을 살펴

면 $d_j \rightarrow 0$ 인 경우에는 $K_j = 2.5$ 가 되어 식 (13)은 Einstein 식 (1)과 같이 되어 液滴들은 固体粒子和 같이 舉動하며 d_j 가 600μ 이상이 되면 K_j 의 값은 다음 식 (15)와 같이 되어 Taylor 식 (3)과 같이 된다.

$$K_j = 2.5 \frac{0.4\mu_c + \mu_d}{\mu_c + \mu_d} \quad (15)$$

환언하면, 液滴의 粒徑이 600μ 이상이 되면 分散系의 分散相과 連續相 界面에서의 循環이 相對粘度에 미치는 영향은 液滴 内部의 循環에 의한 영향에 비하여 대단히 작다는 것을 알 수 있다.

5. 結 論

分散相의 液滴이 비교적 크고 불안정한 toluene / glycerin 의 分散系에서 分散相인 toluene 의 부피濃도와 液滴粒度分布가 계의 相對粘度에 미치는 영향에 대한 研究結果를 綜合하면 다음과 같다.

Toluene/glycerin 分散系에서 分散相인 toluene 의 液滴을 同一한 粒徑으로 이루어진 液滴群으로 나누고 각 液滴群이 分散系의 相對粘度에 미치는 영향을 Oldroyd의 相對粘度式으로 解析함으로써 다음과 같은 π 函數를 얻었다.

$$\mu_r = \prod_{i=1}^n (1 + K_i \Phi_i), \quad (\Phi_i \rightarrow 0)$$

Toluene 의 부피濃도를 5%에서 25%까지 변화시켜가면서 實測한 相對粘度値와 Einstein의 相對粘度値, 指數函數式, Taylor의 相對粘度式 및 本 研究의 式의 計算値를 比較하여 本 結果, Einstein式과 指數式은 0%와 65% 사이의 誤差를 나타내었으며, Taylor式은 0%에서 -10% 사이의 誤差分布를 나타내었고 本 研究의 式은 平均絕對誤差 1.109%, 最大絕對誤差 2.06%를 나타내었다.

NOMENCLATURE

- a : experimental constant, dimensionless
 d, d_i : diameters of drops, cm
 d_m : mean diameter of drops, cm
 f_i : volume fraction of drops having diameter d_i in dispersed phase, dimensionless
 K, K_1, K_2 : constants, dimensionless
 k : viscosity property of the interface be-

tween the continuous phase and the dispersed phase, cp·cm

- n_i : number of drops having diameter d_i , dimensionless
 S : two dimension shear viscosity of the interface, cp·cm
 V_i : volume of drops having diameter d_i in a dispersion, cm
 μ_c : viscosity of the continuous phase, cp
 μ_d : viscosity of the dispersed phase, cp
 μ_d^* : effective viscosity of the dispersed phase, cp
 μ_r : relative viscosity of dispersion, dimensionless
 μ_ϕ : effective viscosity of dispersion, cp
 Φ, Φ_i : volume concentration of the dispersed phase, dimensionless
 Φ_i : fractional volume concentration of the dispersed phase, dimensionless
 σ : area viscosity of the interface, cp·cm

REFERENCES

1. Barnea, E.: *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, **120**, 15 (1976).
2. Matsumoto, S. and Sherman, P.: *J. Colloid and Interface Sci.*, **525**, 30 (1969).
3. Djakovic, L., Dovic, P. and Radivojevic, R.: *Kolloid-Z*, **324**, 244 (1971).
4. Djakovic, L., Dovic, P. and Kler, V.: *Colloid & Polymer Sci.*, **907**, 254 (1976).
5. Djakovic, L. and Dovic, P.: *Colloid and Polymer Sci.*, **1177**, 256 (1978).
6. Mooney, M.: *J. Colloid Sci.*, **162**, 6 (1951).
7. Thomas, D.G.: *J. Colloid Sci.*, **267**, 20 (1965).
8. Falco, J.W., Walker, R.D. and Shah, D.O.: *AIChE J.*, **510**, 20 (1974).
9. Taylor, G.I.: *Proc. Roy. Soc. Ser. A.*, **41**, 138 (1931).
10. Oldroyd, J.G.: *Proc. Roy. Soc. Ser. A.*, **122**, 218 (1953).
11. Oldroyd, J.G.: *Proc. Roy. Soc. Ser. A.*, **567**, 232 (1955).
12. Einstein, A.: *Ann. Phys.*, **286**, 16 (1906).

13. Einstein, A.: *Ann. Phys.*, **591**, 34 (1911).
14. Guth, Eugene, and Simha, R.: *Kolloid-Z*, **266**, 74 (1936).
15. Saito, N.: *J. Phys. Soc. (Japan)*, **4**, 5 (1950).
16. Vand, V.: *J. Phys. & Colloid Chem.*, **277**, 52 (1948).
17. Manley, R. St. J. and Marson, S.G.: *Can. J. Chem.*, **763**, 33 (1955).
18. Happel, M.: *J. Appl. Phys.*, **1288**, 28 (1957).
19. Barnea, E. and Mizrahi, J.: *Chem. Eng. J.*, **171**, 33 (1973).
20. Leviton, A. and Leighton, A.: *J. Phys. Chem.*, **71**, 40 (1936).
21. Mok, Y.I. and Treybal, R.E.: *AIChE J.*, **4**, 17 (1971).
22. Mok, Y.I. and Treybal, R.E.: 67th National AIChE Symp., Atlanta, Ga. (1970).
23. Mok, Y.I.: Ph.D. Dissertation, N.Y.U., New York, (1968).
24. Kim, K.J.: M. Eng. Thesis, Ajou Univ., Suwon, Korea (1983).