

<論 文>

噴射가스의 擴散舉動에 관한 實驗的 研究

朴 涇 錫*

(1989년 7월 25일 접수)

An Experimental Study on the Behavior of Injection Gas

Kyoung Suk Park

Key Words : Mixture Formation(혼합기 형성), Hydrogen Engine(수소 엔진), Compound Jets(동축 분류), Potential Core(포텐셜 코아), Transient Length(천이 길이), Turbulent Jet(난류 분류), Extension Angle(확대각)

Abstract

The mixture formation process has a great influence on the performance and exhaust gas characteristics in the direct injection engines, such as Hydrogen engines and Diesel engines. This paper presents a fundamental study on the mixing process of compound jets. In this experimental study, the tracers used are CO₂, H₂ and He. The average-velocity of the air injected is 3m/sec, 5m/sec, 8m/sec, and 10m/sec. To observe spreading behavior of gas fuel, the Schlieren apparatus was used to take a picture of the fluid density. Then the values of the potential core length (Z_p), the transient length (Z_t), and the visual extension angle (ϕ) were obtained by visualized photo-analysed.

1. 序 論

最近 燃燒排氣가스에 의한 大氣汚染, 에너지 消費節約, 燃燒騒音등의 문제가 대두됨에 따라 石油 대신에 水素와 天然가스 등의 燃料를 사용하는 內燃機關의 研究가 활발하여 지고 있으며, 특히 水素를 燃料로 사용하는 電氣 點火機關이나 水素디젤機關의 研究가 최근 활발하게 행하여 지고 있다⁽¹⁻⁵⁾.

水素와 같은 가스연료 使用機關의 開發에 있어서는 異常燃燒의 對策이나 安全성의 문제와 더불어 最近은 混合氣의 給氣방식의 研究가 중요하게 진행되고 있다. 가스연료를 機關의 실린더 내에 直接噴射하는 경우나 吸氣밸브직전에 噴射하는 경우, 실린더내의 初期火災의 발생이나 발달에 대한 情報가

필요하고 이를 위하여는 噴射되는 가스의 噴流가 어떻게 空氣流動과 混合되는가, 즉 空氣流動中에 가스분류의 舉動을 정확히 파악할 필요가 있다. 따라서 本 研究의 目的은 空氣 流動場내에 가스분류의 舉動을 調査하고 실용 가스機關의 設計時에 필요한 기초적 데이터를 提供하고자 하는데 있다.

本 研究와 관련된 後來의 研究를 보면 齊間등⁽⁶⁾은 熱線濃度프로브를 사용하여 正常噴流중의 농도 측정을 행하였고, 噴流內의 內部構造를 상세히 조사하였다. 특히, 종래에는 일정하게 보였던 噴流 코아 部의 농도변동값의 경향을 구체적으로 나타내었다.

또한 임의의 거리에서 주위공기와 가스분류속도에 대한 2차원 同軸噴流의 실험은 Weinstein등⁽⁷⁾에 의하여 $V_g/V_a=1.5, 2.0$ 및 3.0 의 경우에서 행하였고, $V_g/V_a=6.25$ 및 1.43 에 대해서는 Bradbury⁽⁸⁾가 또한 $V_g/V_a=2.5$ 로 부터 14.2 범위에서는

*정회원, 경희대학교 공과대학 기계공학과

Bradbury와 Riley⁽⁹⁾가 實驗을 행하였다. 그외에 $V_g/V_a=8.7, 71.5$ 및 118.0 의 경우에 대해서는 Anwar와 Weller⁽¹⁰⁾의 實驗이 행하여 졌다. 이들 중, Bradbury의 研究는 특히 광범위하게 亂流의 구조에 관한 측정을 행하였다.

申⁽¹¹⁾은 亂流擴散火炎의 구조에 관해 研究를 행하였고, LDV에 의해 속도를 측정하였고, 슈리렌(Schlieren) 사진촬영에 의해 噴流 및 噴出火炎의 가시화를 통해 亂流特性을 研究하였다.

Abramovich⁽¹²⁾에 의해 強制通風中에서 混合에 관한 研究가 행하여졌으며 이 研究에서는 가스 噴流가 같은 방향으로 유동하는 空氣中에 분출하는 경우는 그 速度比에 따라 噴流의 확대정도가 다르게 되고, 일반적으로 噴流의 境界層 두께의 擴大率은 흐름의 橫方向의 속도변동에 비례하고, 또 속도변동은 流動에 대한 직각 방향의 速度勾配와 亂流混合距離의 積에 비례한다고 하였다. 또한 同軸噴流의 境界층을 그림자사진에 의해 가시화하였고 周圍空氣流速이 증가할수록 擴大角이 감소한다고 하였다.

지금까지의 주된 研究는 충분히 발달된 混合領域에서의 速度, 濃度, 分布의 計測 또는 豫測에 관한 것들이 많았으나, 本 研究에서는 이제까지의 研究들과 중복되는 部分도 있지만 軸對稱 同軸噴流에 대한 綜合的인 基礎研究로서 다음과 같은 入力條件을 變化시켰다.

- (1) 가스主流와 周圍流와의 相對速度
- (2) 가스主流 流體의 化學種의 變化
- (3) 가스主流의 速度變化

이들의 파라메타로부터 형성되는 亂流擴散 混合場을 슈리렌 觀測을 하여 포텐셜코어(potential core) (Z_p)와 포텐셜코어 길이와 천이 領域(transient region)의 합 (Z_t) 및 混合領域(mixing region)을 측정하고 또한 可視화된 亂流擴大角(ϕ)을 測定하여 同軸噴流에서의 噴射가스가 擴散되어가는 形상을 定性的으로 규명하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1 實驗裝置

Fig. 1은 본 실험에 사용한 全 實驗裝置의 概要圖이다.

本 實驗裝置는 크게 송풍기에서 空氣를 도입하는 空氣導入部, 風洞本體 및 空氣流動장치, 가스를 도입하고 計量하는 가스導入부와 가스 노즐, 周圍空

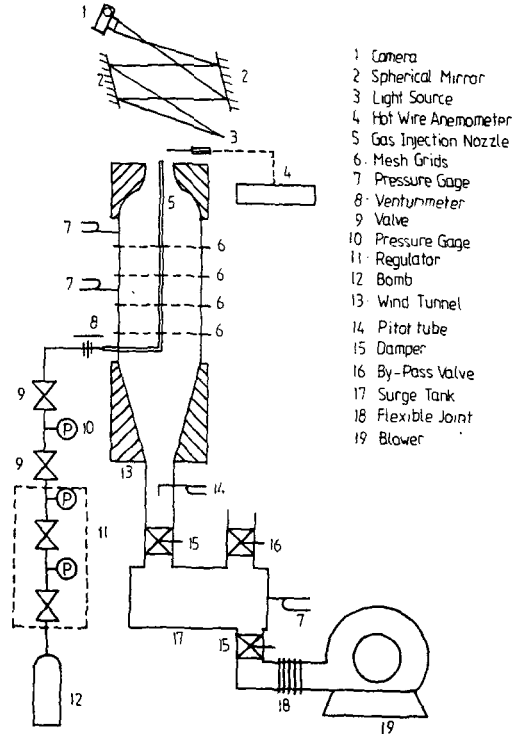


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

氣의 속도를 측정하는 속도측정장치, 噴流의 可視화를 위한 슈리렌 사진촬영장치로 분류된다.

(1) 空氣導入部

送風機에서 나오는 空氣는 송풍기의 진동을 흡수시키기 위하여 설치한 플렉시블 조인트(flexible joint)를 거쳐 서지탱크(surge tank)로 들어간다. 서지 탱크 상부에 서지탱크 내의 壓力을 測定하기 위해 水柱 마노미터(manometer)를 설치하였다. 또한, 風洞本體로 들어가는 空氣量을 조절하기 위해 調節板을 설치하였으며, 송풍기에서 분출되는 空氣量이 과다할 경우를 대비하여 서지 탱크의 하부에 바이패스 밸브(by-pass valve)를 설치하였다.

(2) 風洞本體 및 空氣流動裝置

空氣流動裝置는 서지탱크로부터 들어오는 空氣를 받아들이는 空氣吸入部, 整流部, 空氣噴射縮小노즐로 이루어져 있다. 空氣吸入部는 韓國工業規格(KS B 6311)의 接續管의 설계자료에 의해 擴大角 14° 를 갖도록 自作하였다. 흡입된 空氣流를 정류하는 整流部는 금속 메쉬(mesh)와 아크릴판(acryle plate)에 다수의 小孔을 뚫어 多數 설치함으로써 亂流를

감시시키도록 하였다.

(3) 가스噴射裝置 및 가스噴射 노즐

噴射가스로는 H₂, He 및 CO₂를 사용하였고 이 가스들은 고압 용기로 부터 조정기(regulator), 압력조절 밸브를 거쳐 가스의 흐름을 선택하여 조정할수 있게 설치한 분배기(distributor) 및 안전 밸브를 지나 벤투리 미터(venturymeter)에서 계량되어 噴射노즐에 의해 噴射된다. 가스噴射 노즐은 內徑 5.3mm의 동관으로 Fig. 1에 표시한 바와 같이 空氣流動裝置의 중심을 따라 설치하였다.

(4) 周圍空氣의 속도측정장치

空氣噴射縮小노즐로 부터 噴射된 空氣의 軸방향 平均속도의 측정은 한 軸方向으로 최대이송거리 210mm인 三軸移送裝置에 피토티관 및 熱線風速計(SOGO DENSI社) 프로브(probe)를 장착하여 三次元으로 이동시키면서 측정하도록 하였다.

(5) 슈리렌 사진촬영장치

流動을 可視化하는 光學的인 방법에는 직접촬영법, 그림자사진 촬영법, 슈리렌 촬영법, 마하젠다(mach-Zehnder) 간섭법 등이 있는데 噴射 노즐에 의해 噴射되는 가스噴流에 周圍空氣를 동반한 同軸噴流 流動場에는 급속한 密度勾配가 존재하므로 密度구배에 의한 光線의 屈折을 이용한 슈리렌 사진 관찰이 流動場의 正성적인 流動特性을 研究하는데 많이 이용되고 있다.

本 實驗에서는 空氣와 가스의 噴射速度, 분자량의 변화, 가스종류의 변화에 따르는 同軸噴流 流動 현상을 슈리렌 사진촬영하여 定性的으로 조사하였다.

광원은 1kW 할로겐 램프(Halogen lamp)이며, 빛의 밝기는 變壓機에 의해 電壓調整을 하여 調節하였다. 點光源을 얻기 위하여 압축렌즈(condense lens)를 설치하고 光源側 오목거울(초점거리 1500 mm, 유효직경 200mm)의 焦點거리에 슬릿 slit)을 놓았다. 그러면 광원측 오목거울에서 나온 平行광선은 試驗部分을 지난 상대면 오목거울에 도달한다. 이때 披寫體의 밀도구배에 의해 平行광선은 屈折하여 오목거울에 집광된다. 또 초점거리에 나이프에지(knife edge)를 설치하여 屈折된 빛의 일부를 차단하므로써 카메라의 필름에 슈리렌像이 멎히게 된다. 슈리렌용 카메라를 사용하면 바로 초점뒤에서 필름에 像이 멎히게하여 촬영할수 있으나 일반 카메라를 사용할 경우에는 거울에 의해 反射된 像이 필름앞에 멎히므로 이를 교정하여야 한다.

本 實驗에서는 일반 카메라에 210mm 줌 렌즈

(zoom lens)를 붙여 사용하였다.

나이프에지로 像을 가릴때 像을 가리는 정도는 像의 對比나 感도와 관계가 있다. 像을 많이 가릴 경우, 對比는 좋아지지만 어두어져 感도가 떨어지고, 像을 조금 가릴 경우 밝게 나타나고 감도가 좋아지지만 對比가 나빠져 구분이 잘 되지 않으므로 實驗狀況에 따라 조절한다.

2.2 實驗方法

(1) 吸入空氣量

본실험에서 吸入空氣量의 측정은 관내의평균유속을 측정하기 위해 空氣流動裝置 전 200mm 위치에서 管徑 75mm인 관의 중앙부에 피토티관을 설치하고, 水柱 마노미터로 그 全壓力과 靜壓力의 차를 측정하여 吸入空氣의 유량을 측정하였다. 또한 空氣流動裝置의 空氣噴射縮小노즐부 상단에서 휴대형 열선풍속계(portable hot-wire anemometer)를 사용하여 噴出空氣의 軸방향 平均유속을 측정하여 連續整理에 의하여 空氣의 유량을 비교 검토하였다.

(2) 周圍空氣速度

空氣噴射 노즐로부터 분사되는 空氣의 軸방향 平均速度分布를 측정하기 위해 휴대형 열선풍속계를 사용하였다. 軸방향속도 측정은 한 軸方向으로 최대이송거리 210mm인 삼축이송장치에 熱線風速計의 프로브를 장착하여가스분사 노즐 출구를 원점으로 하여 軸방향으로는 20mm의 간격으로 200mm까지 측정하였고, 半徑方向으로는 각 5mm의 간격으로 이송하여 가면서 측정하였다.

(3) 噴射가스 流量

本 실험에서 噴射되는 가스의 유량측정은 버블미터(bubble meter)를 제작, 설치하여 가스噴射 노즐전의 벤투리 미터의 水柱差와 버블미터의 유량과의 상관 관계에 의해 噴射가스의 유량을 보정, 계량하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 周圍空氣의 速度分布

가스를 噴射하지 않은 상태에서 空氣噴射縮小 노즐에서 空氣만을 噴射하였을 경우 空氣噴射縮小 노즐상단에서 軸方向 平均속도가 $V_a=3m/sec$, $V_a=5m/sec$, $V_a=8m/sec$, $V_a=10m/sec$ 일때의 반경방향 平均속도분포를 휴대형 열선풍속계로 측정하였고, 그 一例로 $V_a=3m/sec$ 인 경우를 Fig. 2에 표

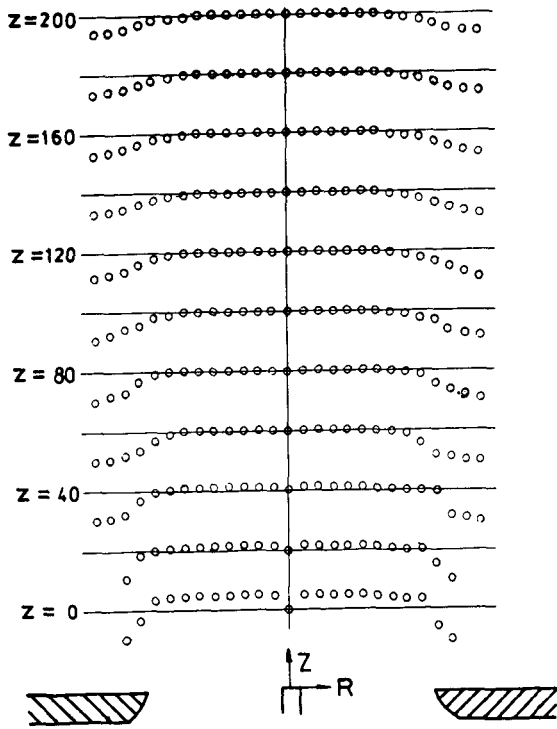


Fig. 2 The velocity distribution of air jet at $V_a=3\text{m/sec}$

시하였다.

축방향으로는 가스 噴射노즐의 出口를 源點으로 하여 20mm의 간격으로 200mm까지 측정하였고, 반경방향으로는 각각 5mm의 간격으로 속도측정 프로브를 이동하여가며 측정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 가스 噴射노즐이 空氣 噴射縮小 노즐보다 5mm 위에 있으므로 이에 대한 영향으로 軸方向 중심부에서의 속도는 축방향거리가 0인 점을 기준으로 하여 軸方向 거리가 증가함에 따라 점차로 周圍空氣의 平均流速과 같아져감을 관찰할 수 있고, 축방향 거리가 증가함에 따라 周圍空氣의 포텐셜 코아부는 점차로 그 폭을 감소해 감을 알 수 있다.

3.2 슈리렌 사진촬영에 의한 同軸噴流의 형상

(1) 同軸噴流의 모델 설정

(a) 난류 분류(turbulent jet)가 있는 경우

Fig. 3(a)는 난류분류가 있는 경우 본 실험결과를 해석하기 위하여 설정한 亂流擴散 모델이다.

난류분류가 있는 경우의 亂流擴散 모델은 크게 포텐셜 코아領域, 천이(transient)領域, 혼합(mixing)領域으로 분류하였고, 이에따른 포텐셜 코아 길이를 Z_p , 포텐셜 코아 길이와 천이 영역 길

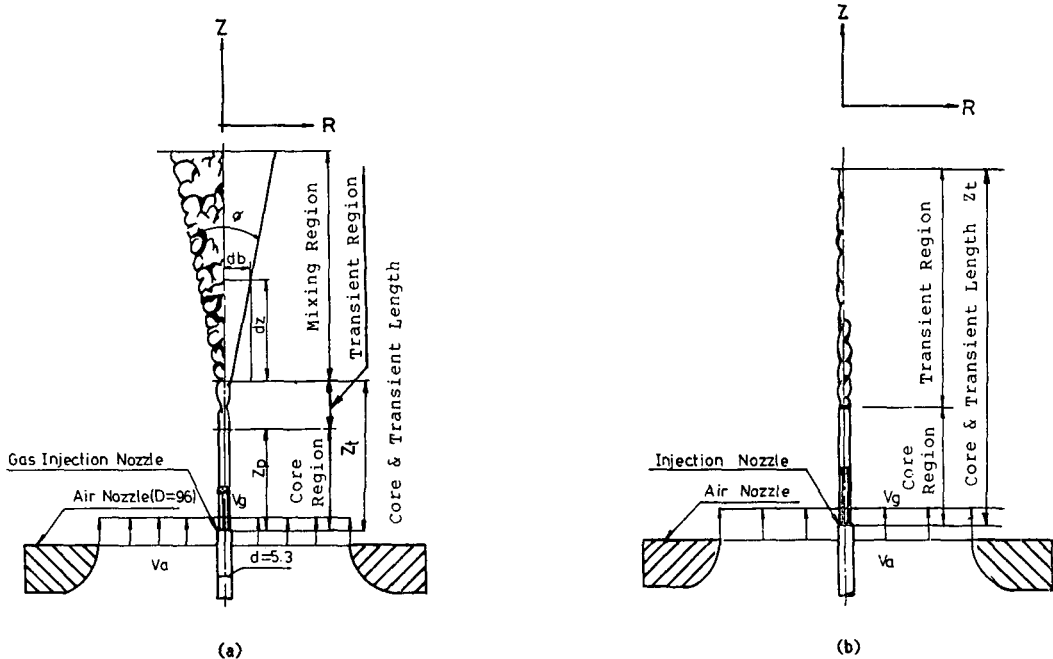


Fig. 3 Injection model

이 (potential core length & transient length)의 합을 Z_t 로 정의하였으며, 혼합領域에서 亂流擴散되는 db/dz 를 가시화된 난류 擴大角 $\phi/2$ 로서 정의하였다. 이때 軸方向을 Z 축으로 하고, 半徑方向을 R 축으로 하였으며, 周圍空氣의 유속을 V_a , 가스 분사 노즐출구에서의 가스분사 속도를 V_g 로 하였다. b 는 임의의 거리 Z 에서의 亂流擴散幅이다.

(b) 난류분류가 없는 경우

Fig. 3(b)는 난류분류가 없는 경우 본 實驗結果를 분석하기 위하여 설정한 噴流 모델이다.

본 噴流 모델은 분사가스의 종류에 따라 비교적 낮은 분사가스의 레이놀즈수(Reynolds number)에서 발생하는 擴散形狀에 적용하기 위하여 설정하였다. 본 噴流 모델은 포텐셜 코아 領域과 천이 領域으로 分類하였고, 포텐셜 코아 길이를 Z_1 , 포텐셜 코아 길이와 천이 領域길이의 합을 Z_t 로 정의하였으며, 周圍空氣속도를 V_a , 가스분사 노즐출구에서의 가스噴流速度를 V_g 로 하였다.

(2) 亂流擴散流動場의 可視化

本 실험에서는 噴射가스로 프로판(propan) (C_3H_8)과 分子量이 같은 이산화탄소(CO_2)와 수소(H_2) 및 수소와 분자량이 같은 헬륨(He) 가스를 사용하였다. 각 噴射가스에 대하여 周圍空氣 平均流速 V_a 를 3m/sec, 5m/sec, 8m/sec, 10m/sec로 변화시키면서 주류의 噴射노즐에서의 噴射가스의 레이놀즈수에 따른 슈리렌 촬영을 행하였다. 이 중 周圍空氣 平均流速 $V_a=3$ m/sec인 경우의 각 噴射가스에 대한 슈리렌 촬영사진의 一例를 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6에 표시하였다. 또한 CO_2 가스 主流가 $Re=3000$ 인 경우의 周圍 空氣速度에 따른 슈리

렌 寫眞의 一例를 Fig. 7에 表示하였다.

(3) 噴射가스의 레이놀즈수의 변화에 따른 擴散形狀의 分析

Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11은 周圍空氣 平

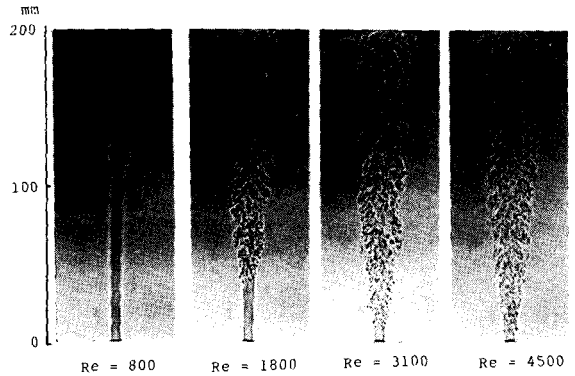


Fig. 5 The visualized photograph of H_2 jet at $V_a=3$ m/sec

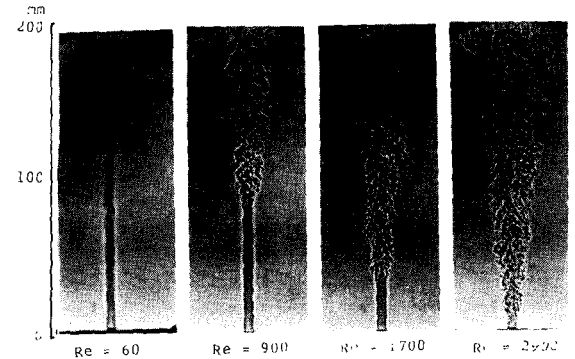


Fig. 6 The visualized photograph of He jet at $V_a=3$ m/sec

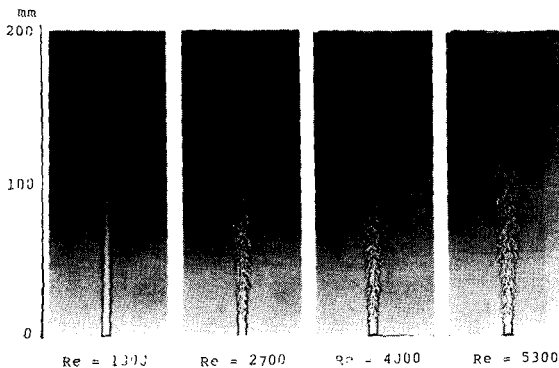


Fig. 4 The visualized photograph of CO_2 jet at $V_a=3$ m/sec

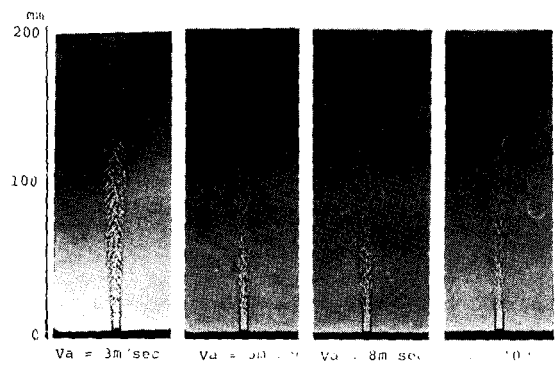


Fig. 7 The visualized photograph of CO_2 jet at $Re=3000$

均流速을 $V_a=3, 5, 8, 10\text{m/sec}$ 로 변화시키면서 분사가스인 CO_2 , H_2 및 He 의 레이놀즈수를 변화시켰을 경우, 亂流擴散混合場에서의 포텐셜 코아 길이와 천이 영역 길이의 합(Z_t)의 변화를 구하여

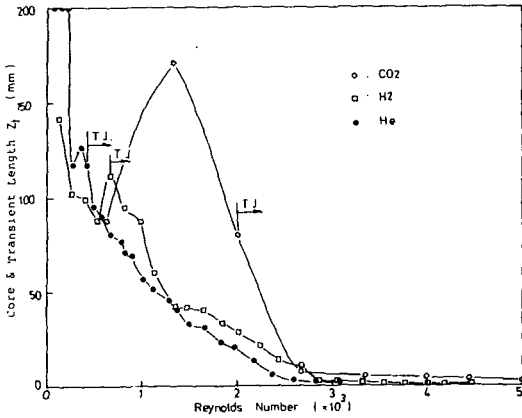


Fig. 8 Transient length at $V_a=3\text{m/sec}$

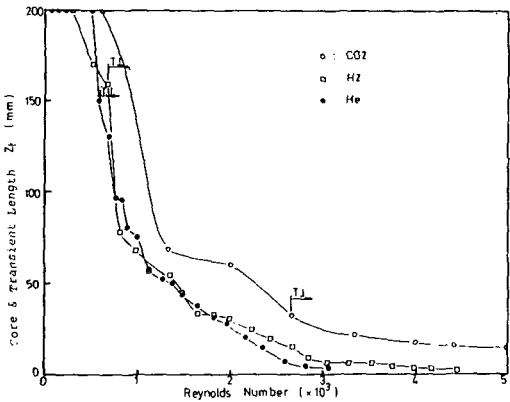


Fig. 9 Transient length at $V_a=5\text{m/sec}$

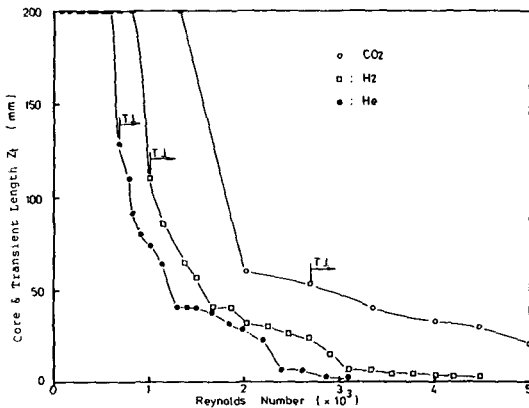


Fig. 10 Transient length at $V_a=8\text{m/sec}$

나타낸 것이다. CO_2 의 경우, 周圍空氣平均流速이 3m/sec 일때 $Re=3000$ 부근에서 난류유동으로 되고, 周圍空氣 平均流速이 3m/sec 보다 증가함에 따라 난류 분류가 발생하는 領域이 Re 數가 증가하는 쪽으로 이동하며, 점차 포텐셜 코아 길이와 천이 영역 길이의 합(Z_t)가 길어진다. H_2 와 He 는 周圍空氣 平均流速이 증가함에 거의 무관하게 약 $Re=2700\sim 3000$ 부근에서 완전히 난류가 되고, 그림에서 T.J로 표시된 亂流噴流의 發生은 거의 일정한 레이놀즈수의 領域에서 發生됨을 알 수 있다.

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13은 周圍空氣 平均流速을 $V_a=3, 5, 10\text{m/sec}$ 로 변화시키고, 분사가스의 레이놀즈수를 변화시켰을 때의 亂流混合場에서의 포텐셜 코아 길이(Z_p)의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. CO_2 는 周圍空氣 平均流速 $V_a=3\text{m/sec}$ 인 경우, 비교적 낮은 레이놀즈수에서는 Z_p 가 급격히 증가하였다가 감소하지만 $Re=2700$ 부근에서 완전

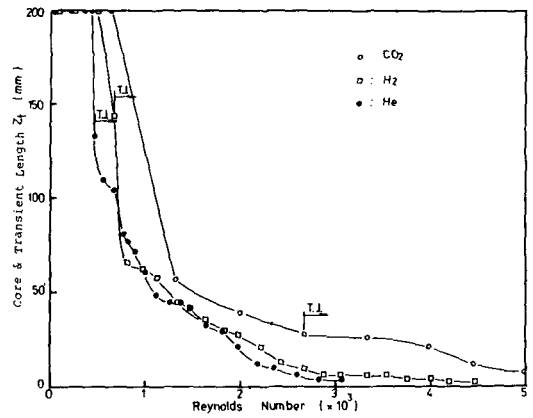


Fig. 11 Transient length at $V_a=10\text{m/sec}$

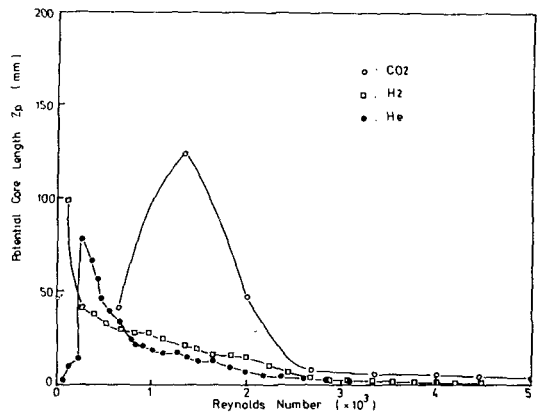


Fig. 12 Potential core length at $V_a=3\text{m/sec}$

히 난류가 된다.

周圍空氣 平均流速이 3m/sec보다 커지면 비교적 낮은 레이놀즈수에서부터 周圍周圍空氣 平均流速의 영향을 받아 분사되는 가스의 포텐셜 코어 領域이 급격히 짧아지고, 周圍空氣 平均流速의 증가와 레이놀즈수의 증가에 거의 무관한 값을 갖는다. H₂와 He는 난류분류가 발생하는 레이놀즈수의 領域에서 Z_p가 최고의 길이를 갖고 서서히 감소하다가 레이놀즈수가 3000인 부근에서 일정한 Z_p의 길이를 갖는다.

Fig. 14, Fig. 15, Fig. 16은 周圍空氣 平均流速을 변화시키고 분사가스의 레이놀즈수를 변화시켰을 때 가시 擴大角(visual extension angle) ($\phi/2$)의 변화를 나타낸 그래프이다. 周圍空氣 平均流速이 증가함에 따라 분사된 가스의 종류에 무관하게 可視擴大角은 대체로 감소하며 난류분류가 발생하는 領域에서는 일정한 구배를 갖고 증가하지만 $Re =$

3000인 영역에서부터 可視擴大角은 변화가 없이 거의 일정하게 된다.

또한 Abramovich⁽¹²⁾의 同軸噴流 모델에서 공기 유동중에 고온의 압축공기를 분사한 경우의 亂流擴

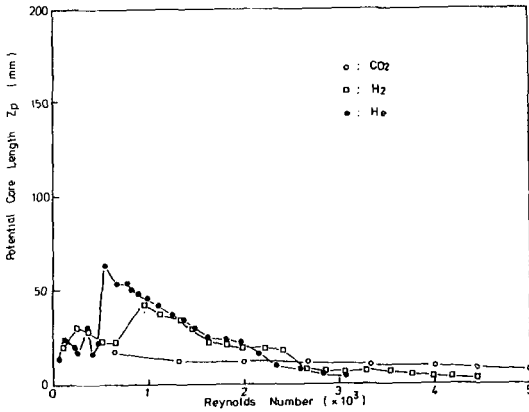


Fig. 13 Potential core length at $V_a=5\text{m/sec}$

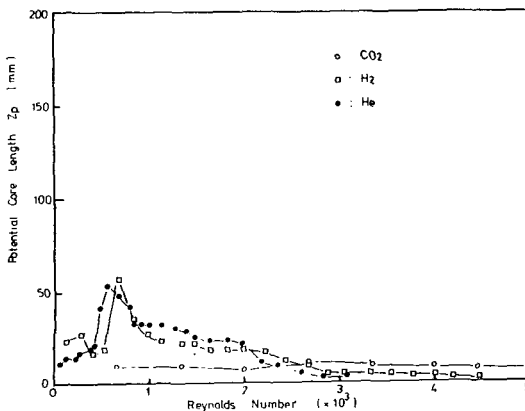


Fig. 14 Potential core length at $V_a=10\text{m/sec}$

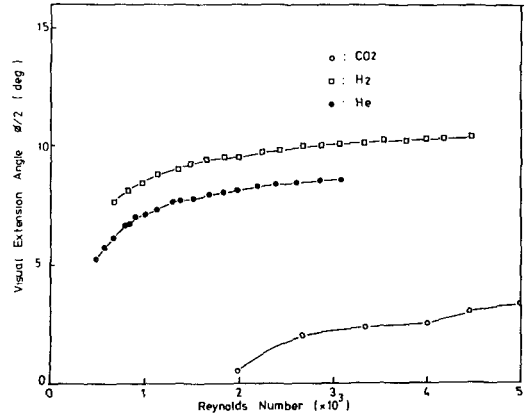


Fig. 15 Visual extension angle at $V_a=3\text{m/sec}$

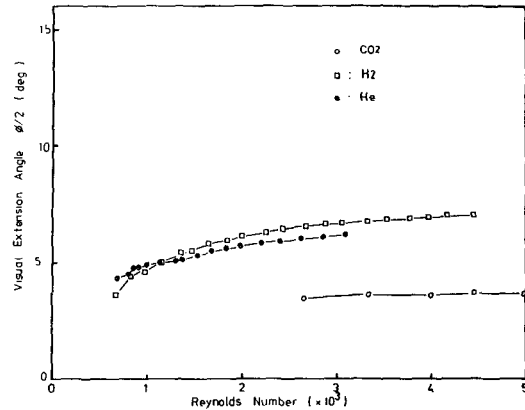


Fig. 16 Visual extension angle at $V_a=5\text{m/sec}$

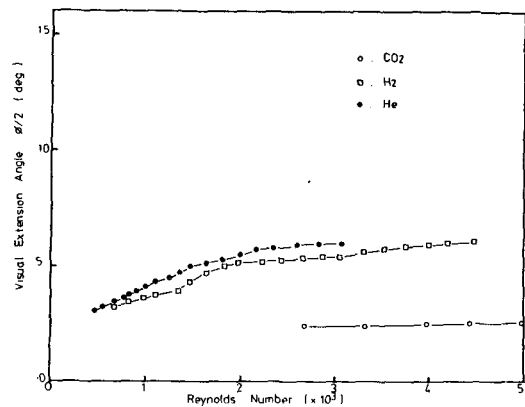


Fig. 17 Visual extension angle at $V_a=10\text{m/sec}$

大角에 대한 實驗式

$$\frac{dp}{dz} = k \frac{|1+m|}{|1-m|}, \quad (m = \frac{V_a}{V_g})$$

b : 噴流의 幅

k : 噴流의 확대계수

V_a : 가스분류의 속도

z : 流動方向의 거리

V_g : 周圍空氣 平均速度

에 의하여 본 연구에서 實驗的으로 측정한 可視 擴大係數는 CO_2 의 경우 $K=0.12$ 이고, H_2 의 경우 $K=0.196$, He 의 경우 $K=0.186$ 이었다.

4. 結 論

본 연구는 亂流擴散混合場의 混合特性을 綜合的으로 규명하기 위한 基礎的인 實驗的 研究로 周圍空氣를 동반한 同軸噴流의 가스混合場에서 周圍空氣의 平均 유속이 噴射가스의 噴流擴散에 미치는 영향과 適정한 레이놀즈수($Re=1000\sim 5000$)에서 噴射가스의 擴散形狀을 슈리렌 촬영에 의해 可視化하여 포텐셜 코아길이(Z_p), 포텐셜 코아길이와 천이영역길이의 합(Z_t) 및 可視亂流擴散角(visual extension angle) (ϕ)을 實驗的으로 측정하였다. 본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 周圍空氣 平均流速의 증가에 따라 H_2 , He , CO_2 의 분류의 포텐셜코아길이와 천이영역길이의 합(Z_t)의 변화:

(i) H_2 , He 의 경우: 周圍空氣 平均流速의 증가에 거의 무관하게 약 $Re=2700\sim 3000$ 부근에서 완전히 발달된 난류가 된다.

(ii) CO_2 의 경우: 周圍空氣 平均流速이 3m/sec 일때 $Re=3000$ 부근에서 난류로되고, 周圍空氣 平均流速이 3m/sec보다 커지면 점차 Z_t 가 길어진다.

(2) 周圍空氣 平均流速의 증가에 따른 H_2 , He , CO_2 분류의 포텐셜 코아길이 (Z_p)의 변화:

(i) H_2 , He 의 경우: Z_p 는 亂流噴流가 발생하는 領域에서는 급격히 증가하였다가 서서히 감소하고, 周圍空氣 平均流速의 증가에 거의 무관하게 된다.

(ii) CO_2 의 경우: 周圍空氣 平均流速이 3m/sec

인 경우는 비교적 레이놀즈수가 낮은 領域에서는 급격한 변화를 보이지만 周圍空氣 平均流速의 증가에 무관하게 일정하게 된다.

(3) 周圍空氣 平均流速의 증가에 따른 H_2 , He , CO_2 噴流의 可視亂流擴大角(ϕ)의 변화:

周圍空氣 平均流速이 증가함에 따라 噴射된 가스의 종류에 무관하게 可視亂流擴大角은 감소하며, 亂流噴流가 시작되는 領域에서는 일정한 구배를 갖고 증가하지만 $Re=2700\sim 3000$ 인 領域에서부터 可視亂流 擴大角은 거의 일정한 값을 갖는다.

참 고 문 헌

- (1) 古瀆堅一, 山口郁夫, 1975, "水準一酸素 エソシンの運轉特性", 日本機械學會講演論文集, No. 760-7, p.1.
- (2) 古瀆堅一, 外 2名, 1976, "液體水素エンシンの特性", 日本機械學會講演論文集, No. 760-7, p. 1.
- (3) 池土詢, 外 3名, 1979.4, "水素ディーゼル燃焼に関する研究 (第1報)", 日本機械學會 講演論文集, No. 750-15, p. 239.
- (4) 鹽路昌宏, 外 3名, 1979, "水素ディーゼル燃焼に関する研究 (第2報)", 日本機械學會 講演論文集, No. 770-4, p. 19.
- (5) Finegold, J.G, 1973, "The UCLA Hydrogen car Design, Construction & Performance", SAE Trans. 730507.
- (6) 祭間, 江良, 松桓, 1978, "自由噴流における濃度變動について", 日本機械學會講演論文集, p. 103.
- (7) Weinstein, A.S., 1955, "Diffusion of Momentum from free & Confined Slot Jets into Moving Secondary Streams Dissertation", Carnegie Institute of Tech.
- (8) Bradbury, L.J.S, 1965, "The structure of a Self-Preserving Turbulent Jets", J.Fluid Mech.23, p.31.
- (9) Bradbury, L.J.S & Reley J., 1967, "The Spread of a Turbulent Plane Jet into a Parallel Moving Airstream", J. Fluid Mech. 27, pp.381~394.
- (10) Anwar, H.O. & Weller J.A., 1969, "A Thin Rectangular Jet Discharging into a Slow Moving Stream", Water Power. 21, pp. 214~219.
- (11) 申鉉東, 1970, "亂流擴散火炎の構造に関する基礎的研究", 大阪大學學位論文, pp. 37~57.
- (12) Abramovich, G.N., 1963, "The Theory of Turbulent Jets", MIT Press.