高温ガス炉炉心内冷却材の混合特性

プレナムブロック内の7噴流混合実験

功 刀 資 彰*

(1988年 7月1日 受理)

Thermal Mixing of Coolant Flows in High Temperature Gas-Cooled Reactor

Seven-Jet Mixing Experiments in Plenum Block

By Tomoaki KUNUGI

KEYWORDS: HTGR type reactors, reactor core, thermal mixing characteristics, seven-jet experiment, temperature distribution, plenum block, scale model, nozzle angle, nozzle diameter, mass flow rate

現在、日本原子力研究所ではHeガスを冷却材とした高温ガス炉(高温工学試験研究炉:HTTR)の開発が進められている。炉心部を通過した冷却材は各炉心領域下部のプレナムブロック空洞内に集められ、空洞内の熱電対で炉心領域出口ガス温度を監視する構造となっている。冷却材は、プレナムブロック空洞内に温度の異なる複数の噴流(400~1,000℃)として流入する。ガス温度の正確な計測と高温プレナム部に接続する出口管へのホットストリークによる熱衝撃を防止するためには、プレナムブロックで冷却材を十分に混合させる必要がある。これまでに、プレナムブロック内2噴流混合特性については実験的に検討し、混合を促進させるプレナムブロック形状条件を明らかにした⁽¹⁾。

本報では、これまでに提案された主なプレナムブロック設計形状⁽²⁾における冷却材7噴流混合特性を実験的に検討・評価した結果を報告する。

1. 実験装置および実験方法

実験装置の概略をFig.1に示す。プレナムブロック空洞を模擬した内径176mmのアクリル製円筒状の試験部に7本の冷却材流入管を取り付け、中央ノズル(管径: d_c)にはヒータで加熱した高温の空気(室温+約20℃, 体積流量: Q_c)、6本の側部ノズル(管径: d_s)には室温の空気(体積流量: $Q_{s1} \sim Q_{s6}$)を作動流体として供給した。また、試験部外表面に綿状断熱材を施工して放熱を防止した。

空洞内温度分布は、熱電対レイク(銅・コンスタンタン熱電対11本を直径方向に楕円に配置したもの)を水平断面内で15°ずつ回転させて測定した。1条件当りの計測点数は、726点(1断面当り121点で管軸方向に6水平断面で測定)であった。試験部のモデル形状はノズル交差角 θ とノズル径比 $d_R (=d_s/d_c)$ で特徴付けられ、以下の3種類とした。

$$\textcircled{1} \theta=38.7^\circ, d_R=1.84$$

(旧設計形状)

$$\textcircled{2} \theta=60^\circ, d_R=2.4$$

$$\textcircled{3} \theta=90^\circ, d_R=2.4$$

(現設計形状)

流動条件は、側部ノズル1本当りの質量流量比 $W_R (\sum \rho_i Q_{si} / \rho_c Q_c)$ を4~22.5とした。

Fig. 1 Experimental apparatus

2. 無次元化

空洞内へ流入する噴流のノズル出口温度差 $\Delta t (=t_c - t_s)$ を用いて無次元温度 T を次式で定義した。

$$T = 1 - (t - t_s) / \Delta t \quad (1)$$

上式の定義は、実際のプレナムブロックの温度条件を模擬する場合、6本の側部噴流を均等に加熱するよりも、中央噴流のみを加熱した方が制御し易いという実験上の理由を反映したものである。

* 日本原子力研究所 (Japan At. Energy Res. Inst.)

また、各断面における無次元温度差 $\Delta T (=T_{max}-T_{min})$ を用いた無次元温度 T^* を次式で定義し、空洞断面内の空間的温度分布を視覚化した。

$$T^* = (T - T_{min}) / \Delta T \quad (2)$$

3. 実験結果および検討

Fig. 2 は、 $\theta=90^\circ$ の形状の場合について噴流衝突点のやや下流位置 ($L/D=0.28$) における水平断面内温度分布を示したものである (流量条件は $W_R=22.5$)。等温線分布は同心円状をしており、7 噴流が衝突・合流している複雑な流れ場にもかかわらず、温度場は軸対称の単純な分布を持つことがわかった。Fig. 3 は、空洞垂直断面内の温度分布を $W_R=6, 12, 22.5$ について示したものである。 W_R が増加するに従って中央ノズ

Fig. 2 Temperature contours at horizontal cross section of test model

Fig. 3 Temperature contours at axial cross section of test model for three flow conditions

ルからの低温噴流の温度ポテンシャル・コアの長さ (例えば、 $T^*=0.8$ または 0.9 の下流側への伸び) が減少して空洞内が均一な温度場となる様子がわかる。

Fig. 4 は、 $\theta=90^\circ$ のモデルで $W_R=12$ の条件における各水平断面内の温度差 ΔT の下流方向の変化を示したものである。図中の○と●印は同一 W_R でも噴流総流量の異なる場合の結果を示したものであるが、両者は良い一致を示している。 ΔT の軸方向変化は図中の実線で近似される直線的な変化を示し、この関係は次式で表わされる。

$$\Delta T = a(L/D)^n \quad (3)$$

上式で n は水平断面内の温度差の下流方向への減衰率を表わしており、係数 a がその流量比条件における混合の指標と考えられる。他の流量比条件の結果も上式で良く近似できた。Fig. 5 は、 $\theta=90^\circ$ のモデルにおける a と W_R の関係を示したものであり、両者は非常に良い直線関係にあることがわかった。直線を外挿して完全混合 ($a=0$ となる) の W_R 値を求めると約32であった。また、 $\theta=38.7^\circ$ の場合の外挿値は約26であった。

Fig. 4 Change of temperature differences towards downstream direction

Fig. 6 は、以上のすべての実験結果について同様な整理を行い、 a と W_R の関係を示したものである。 $\theta=60^\circ$ のモデルは非常に混合しにくい形状であること、また $\theta=90^\circ$ のモデルは本実験 W_R 範囲のほとんどの領域で他のモデルより混合特性が優れていることがわかった。 $\theta=60^\circ$ のモデルの温度分布は、 W_R の増加

Fig. 6 Thermal mixing characteristics of three test models

Fig. 5 Relationship between coefficients a and ratio of flow rate W_R

に対して低温噴流の温度ポテンシャル・コアの減少が小さい傾向にあることを示している。これは噴流相互の運動量交換の機構に起因していると考えられ、流れの可視化や数値解析を通じて流動状況をよりの確に把握する必要があると思われる。

4. まとめ

高温ガス炉のプレナムブロックの縮尺モデルを用いた7噴流混合実験を行なった結果、現設計形状 ($\theta=90^\circ$) は、 $\theta=60^\circ$ モデルや従来の形状 ($\theta=38.7^\circ$) に比べて W_R のほとんどの範囲にわたって混合特性が優れているといえ、設計条件 (W_R = 約60) において十分な混合が得られることがわかった。

— 参考文献 —

- (1) 功刀資彰, 他: 機論B, 51[465], 1688 (1985).
- (2) 原研: 多目的高温ガス炉の研究開発の現状, (1980~85), 高温ガス炉研究開発の現状, (1986), 高温工学試験研究の現状, (1987).

「放射線安全管理講習会」のご案内

主 催 財原子力安全技術センター
放射線障害防止中央協議会

開催期日・場所

第59回(広島地区)	11月16日(水)	八丁堀シャンテ
第60回(福岡地区)	11月18日(金)	都久志会館
第61回(東京地区)	11月21日(月)	第一生命ホール
第63回(")	12月2日(金)	"
第62回(名古屋地区)	11月29日(火)	名古屋公会堂
第64回(仙台地区)	12月7日(水)	仙建ビルホール
第65回(札幌地区)	12月9日(金)	北海道会館
第66回(大阪地区)	12月13日(火)	大阪市中央公会堂

講演題目(各会場共通)

特別講演 放射線障害防止に関する最近の動向

(放医研)松平寛通

I. 放射線障害防止法の施行状況 (原子力安全局)末広恵雄

II. 法令改正に伴う行政指導通知

原子力安全局放射線安全課

III. 法令改正に伴う記帳・記録の義務 (東理大)久保寺昭子, 他

IV. 原子力安全技術センターおよび放射線障害防止中央協議会の活動

質疑討論

参加費 10,000円(テキスト代含む)

問合せ・申込先

(〒112)東京都文京区白山5-1-3-101 東京富山会館ビル

原子力安全技術センター業務部(03-814-7481)