

تست لوپ ترموهیدرولیکی جریان گردش طبیعی SHUNCL

مهدی رضائیان^(۱) - محمدرضا نعمت الهی^{*}(۲)

سازمان انرژی اتمی ایران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای
دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک، بخش مهندسی هسته ای

چکیده:

جریان گردش طبیعی در راکتورهای آبی پیشرفته کاربردهای فراوانی دارد. تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL در راستای مطالعه جریان گردش طبیعی و چالش های پیش روی به کارگیری آن، در دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده، که مشخصات و مطالعات صورت پذیرفته روی آن در این مقاله ارائه شده است. مهمترین چالش های پیش روی به کارگیری جریان گردش طبیعی نیروی محرک، افت فشارهای سیستم، ناپایداری ها، شرایط کاری و شرایط شروع اولیه، و شار گرمایی بحرانی می باشند. نتایج حاصل از مطالعات تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL در ارزیابی قابلیت به کارگیری روابط تجربی و نیمه تجربی موجود برای جریان گردش طبیعی، اعتبارسنجی شبیه سازی های کدهای ترموهیدرولیک موجود و نیز تدوین کدهای ترموهیدرولیکی قابل استفاده می باشد.

کلید واژه: راکتورهای آبی پیشرفته، جریان گردش طبیعی، تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL.

مقدمه :

گردش سیال به طور طبیعی به دلیل مزایای آن کاربردهای فراوانی در صنعت هسته ای به ویژه در راکتورهای آبی پیشرفته^۱ یافته است. از جمله مزایای آن امکان حذف پمپ، توزیع بهتر جریان، جنبه های ایمنی آن، سادگی سیستم و ویژگی های جریانی آن (افزایش جریان با افزایش توان) می باشد [۱]. در برخی طراحی ها جریان گردش طبیعی به منظور خنک کردن قلب در شرایط عادی کارکرد مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین اغلب سیستم های ایمنی غیرعامل^۲ از پدیده گردش طبیعی بهره می گیرند [۲].

از انواع راکتورهایی که گردش طبیعی جریان دوفازی در طراحی آنها به کار رفته است می توان موارد^۳ AHWR،^۴ ESBWR،^۵ VK-۳۰۰،^۶ TOSBWR،^۷ HSBWR را نام برد. به منظور به کارگیری جریان گردش طبیعی، باید چالش ها و مسائل پیش روی به کارگیری آن به طور کامل مد نظر قرار گیرند. مهمترین چالشها و مسائل پیش

^۱ Advanced Light Water Reactors (ALWRs)

^۲ Passive safety systems

^۳ Advanced Heavy Water Reactor (AHWR)

^۴ Economical Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR)

^۵ Russian boiling water reactor

^۶ Toshiba Simplified Boiling Water Reactor (TOSBWR)

^۷ Hitachi Simplified Boiling Water Reactor (HSBWR)

روی به کارگیری جریان گردش طبیعی نیروی محرک^۱، افت فشارهای سیستم^۲، ناپایداری ها^۳، شرایط کاری و شرایط شروع اولیه^۴، شار گرمایی بحرانی^۵، می باشند [۱].

در گزارشی [۳] که توسط سه آژانس بین المللی^۶ منتشر شده و هدف آن بیان فرصت ها برای تعریف پروژه های مشترک در زمینه توسعه تکنولوژی های راکتورهای شکافت هسته ای بوده است، یکی از زمینه های مطالعاتی مهم، جریان گردش طبیعی معرفی شده است [۴]. در سال ۲۰۰۴ آژانس بین المللی انرژی اتمی پروژه تحقیقاتی هماهنگی^۷ روی پدیده جریان گردش طبیعی، مدلسازی و قابلیت اطمینان^۸ سیستم های غیرعاملی که از جریان گردش طبیعی استفاده می کنند را آغاز کرد که در همین چهارچوب سه گزارش فنی منتشر شده است [۲ و ۵ و ۶].

مجموع این مطالعات بیانگر نیاز مطالعاتی بیشتر در برخی زمینه های جریان گردش طبیعی نظیر ارزیابی قابلیت به کارگیری روابط ترموهیدرولیکی تجربی و نیمه تجربی موجود که بر پایه جریان اجباری به دست آمده اند برای جریان گردش طبیعی، بدست آوردن روابط ترموهیدرولیکی برای گستره هایی که تاکنون روابط کافی برای آن ارائه نشده است مانند شار جرمی پایین^۹ [۷]، و نظایر آن می باشد. در همین راستا و به منظور مطالعه جریان گردش طبیعی و چالش های پیش روی به کارگیری آن تست لوپ ترموهیدرولیکی^{۱۰} SHUNCL، در دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده است [۸].

تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL :

تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL به منظور مطالعه جریان گردش طبیعی و چالش های پیش روی به کارگیری آن، در دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده است. ارتفاع تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL از زمین و محل قرارگیری لوله پایینی^{۱۱} تا بالای مخزن در حدود ۱۰ متر می باشد. تست لوپ دارای یک کانال جریان در حال جوشش^{۱۲} ۸/۵ متری (ناحیه حرارتی^{۱۳}) است که قابلیت انجام آزمایش در محدوده توان های

^۱ Driving force

^۲ System pressure losses

^۳ Instability effects

^۴ Specification of a startup and operation procedure

^۵ Critical Heat Flux (CHF)

^۶ The International Energy Agency (IEA), the OECD Nuclear Energy Agency (NEA), and the International Atomic Energy Agency (IAEA)

^۷ Coordinated Research Project (CRP)

^۸ Reliability

^۹ Low mass flux

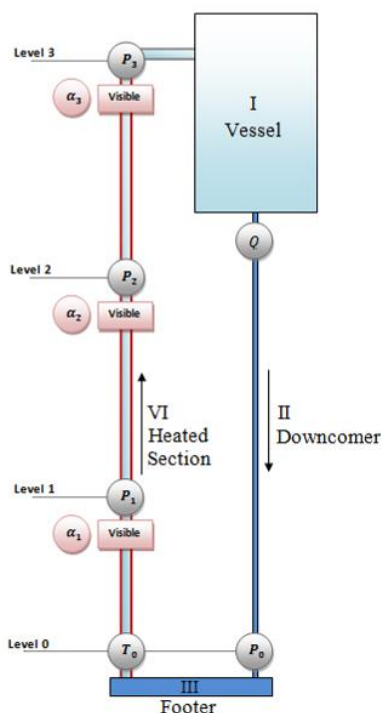
^{۱۰} Shiraz University Natural Circulation Loop (SHUNCL)

^{۱۱} Footer

^{۱۲} Boiling channel

^{۱۳} Heated section

اکیلووات در متر تا ۸ کیلووات در متر را دارا می باشد. همچنین مطالعه اثر دودکش^۱ در همین محدوده های توان امکان پذیر می باشد. توان مذکور از طریق المنت های حرارتی در پیرامون لوله های جریان تأمین می شود. آزمایشات در تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL تاکنون در فشار اتمسفریک که مشابه شرایط شروع اولیه^۲ در راکتورهای هسته ای می باشد، انجام پذیرفته است. برای مطالعات بعدی انجام آزمایش ها در فشارهای بالاتر و تا حداکثر فشار ۱۰ بار پیش بینی شده است. شماتیک ساده ای از تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.



شکل شماره (۱) شماتیک ساده تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL

از جمله پارامترهای مهم جریان های دوفازی، به ویژه در راکتورهای هسته ای آب جوشان، کسر خلاء^۳ می باشد. کسر خلاء یا همان نسبت حجمی فاز گاز به کل، پارامتر کلیدی برای تعیین سایر پارامترهای جریان دوفازی است. همچنین کسر خلاء نقش مهمی در مدل سازی افت فشار جریان دوفازی، حالت گذرای الگوی جریان، و انتقال حرارت ایفا می کند. در راکتورهای هسته ای که آب سبک علاوه بر خنک کننده به عنوان کندکننده نوترون نیز به کار می رود، کسر خلاء در تخمین راکتیویته حائز اهمیت می باشد [۹]. روش های تجربی مختلفی برای اندازه گیری کسر خلاء در تست لوپ های ترموهیدرولیکی وجود دارد که از جمله

^۱ Chimney

^۲ Startup

^۳ Void fraction

مهمترین آنها می‌توان به روش شیر سریع بسته شونده^۱، جذب تابش گاما^[۱۰]، سنسور خازن^۲، مانومتر، پراکندگی نوترون، رسانایی^۳ و سایر روش‌ها^[۱۱] اشاره نمود^[۱۲]. در حال حاضر اندازه گیری کسرخلأ در فشارهای پائین، و همچنین تعیین رژیم جریان در تست لوپ SHUNCL از طریق عکسبرداری از جریان دوفازی با دوربین پرسرعت انجام می‌پذیرد. کسر خلأ با پردازش عکس‌های حاصل به وسیله ابزار پردازش تصویر^۴ نرم افزار MATLAB برآورد می‌شود.

در تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL امکان اندازه گیری دبی جریان در پایین ریز و اندازه گیری دما و فشار در قسمت های مختلف ناحیه حرارتی، بسته به آزمایش تعریف شده، فراهم شده است. در فواصل مختلف ناحیه حرارتی، قسمت های قابل رؤیت به منظور عکسبرداری از جریان و تعیین رژیم جریان و کسر خلأ تعبیه شده است. قسمت های قابل رؤیت و محل اندازه گیری پارامترهای مختلف در شکل شماره (۱) نشان داده شده است. به منظور مطالعه و تعیین الگوی جریان و همچنین برآورد تجربی کسر خلأ و نسبت لغزش در جریان گردش طبیعی در آزمایش های فشار پایین، قسمت های قابل رویت در ناحیه حرارتی تعبیه شده است. در شکل شماره (۲) نمونه این قسمت های قابل رؤیت نشان داده شده است.



شکل شماره (۲) قسمت قابل رؤیت در تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL

برنامه مطالعاتی تست لوپ SHUNCL :

با توجه به مرور مطالعات صورت پذیرفته پیرامون جریان گردش طبیعی و نیز مطالعات آژانس بین المللی انرژی اتمی در این زمینه که در گزارش فنی-۱۶۷۷ این آژانس جمع بندی شده است^[۲]، برنامه مطالعاتی بلند مدتی در زمینه جریان گردش طبیعی با تأکید بر کاربردهای آن در نیروگاه های هسته ای، در دانشگاه شیراز در

^۱ Quick closing valve

^۲ Capacitance sensor

^۳ Conductance probe

^۴ Image processing

حال تدوین می باشد. تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL که مشخصات آن در این مقاله ارائه شده است، بخشی از این برنامه مطالعاتی می باشد. در میان پدیده ها و زمینه های مطرح جریان گردش طبیعی در راکتورهای هسته ای، دو موضوع دینامیک حرارتی- سیالاتی و افت فشارها در شرایط هندسی مختلف^۱ و جریان گردش طبیعی در لوپ های بسته^۲ در اولویت برنامه مطالعاتی در حال تدوین قرار دارند که شرایط انجام آزمایشات مربوط به آنها در تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL فراهم شده است.

در همین راستا و در میان مطالعات صورت پذیرفته تا به حال نتایج مطالعه در زمینه برآورد تجربی کسر خلاء [۱۳] و نیز برآورد تجربی افت فشار شتاب گیری [۱۴] منتشر شده و مطالعات دیگری نیز در حال انجام می باشند. اندازه گیری تجربی کسر خلاء در این دو مطالعه برای شار حرارتی ۲ کیلووات در متر و برای ناحیه حرارتی ۸/۵ متر صورت پذیرفته است. با استفاده از قسمت های قابل رؤیت، در هنگام عبور جریان دوفازی از ناحیه حرارتی رژیم های مختلف جریان دوفازی قابل تشخیص می باشد. با عکسبرداری از حباب های جریان دوفازی هنگام عبور از این قسمت ها و پردازش تصاویر حاصل می توان کسر خلاء را در شرایط مختلف اندازه گیری کرد. نمونه ای از این عکس ها مربوط به رژیم های مختلف جریان، در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. دوربین پرسرعت به کار رفته در این پژوهش دارای قابلیت عکسبرداری تا صد و نود هزار فریم در ثانیه می باشد. در این مطالعه، عکسبرداری با سرعت های ۳۰۰ فریم در ثانیه صورت پذیرفته است.



شکل شماره (۳) نمونه تصاویر رژیم های مختلف جریان در تست لوپ SHUNCL

جمع بندی و نتیجه گیری :

گردش سیال به طور طبیعی به دلیل مزایای آن کاربردهای فراوانی در صنعت هسته ای به ویژه در راکتورهای آبی پیشرفته یافته است. مهمترین چالشها و مسائل پیش روی به کارگیری جریان گردش طبیعی نیروی محرک، افت فشارهای سیستم، ناپایداری ها، شرایط کاری و شرایط شروع اولیه، شار گرمایی بحرانی، می باشند. مطالعات مروری صورت پذیرفته بیانگر نیاز انجام مطالعات تکمیلی در برخی زمینه های جریان گردش طبیعی

^۱ Thermo-fluid dynamics and pressure drops in various geometrical configurations

^۲ Natural circulation in closed loop

می باشد. در همین راستا و به منظور مطالعه جریان گردش طبیعی و چالش های پیش روی به کارگیری آن تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL، در دانشگاه شیراز طراحی و ساخته شده است. مشخصات این تست لوپ که خود بخشی از یک برنامه مطالعاتی بلند مدت می باشد، در این مقاله ارائه شده است. نتایج حاصل از مطالعات در تست لوپ ترموهیدرولیکی SHUNCL در ارزیابی قابلیت به کارگیری روابط تجربی و نیمه تجربی موجود که بر پایه جریان اجباری به دست آمده اند برای جریان گردش طبیعی، اعتبارسنجی شبیه سازی جریان گردش طبیعی توسط کدهای ترموهیدرولیکی موجود و نیز تدوین کدهای ترموهیدرولیکی در این زمینه قابل استفاده می باشد.

مراجع :

- [۱] Vijayan, P. K., Nayak, A. K., "Natural Circulation Systems: Advantages and Challenges", Natural Circulation in Water Cooled Power Plants, IAEA-TECDOC-۱۴۷۴, ۲۰۰۵.
- [۲] International Atomic Energy Agency, "Natural Circulation Phenomena and Modelling for Advanced Water Cooled Reactors", IAEA-TECDOC-۱۶۷۷, IAEA, Vienna, ۲۰۱۲.
- [۳] Nuclear Energy Agency. "Innovative nuclear reactor development, opportunities for international co-operation", Paris, France : Nuclear Energy Agency (NEA), ۲۰۰۲.
- [۴] Gilberto Espinosa-Paredes and Alejandro Nuñez-Carrera. "SBWR Model for Steady-State and Transient Analysis", Hindawi Publishing Corporation, Science and Technology of Nuclear Installations, ۲۰۰۸.
- [۵] International Atomic Energy Agency, "Natural Circulation in water cooled nuclear power plants: Phenomena, models, and methodology for system reliability assessments", IAEA-TECDOC-۱۴۷۴, IAEA, Vienna, ۲۰۰۵.
- [۶] International Atomic Energy Agency, "Passive Safety Systems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants", IAEA-TECDOC-۱۶۲۴, IAEA, Vienna, ۲۰۰۹.
- [۷] International Atomic Energy Agency, "Thermo-hydraulic relationships for advanced water cooled reactors", IAEA-TECDOC-۱۲۰۳, IAEA, Vienna, ۲۰۰۱.
- [۸] Rezaeian, M., "Experimental Evaluation of Acceleration Pressure Drop and its Role on Natural Circulation Driving Pressure due to Water Boiling in a Circular Channel". M.Sc. Thesis, Shiraz University, Shiraz, ۲۰۱۱.
- [۹] Godbole, P., Tang, C., Ghajar, A., "Comparison of Void Fraction Correlations for Different Flow Patterns in Upward Vertical Two-Phase Flow". Heat Transfer Engineering, ۳۲(۱۰), pp. ۸۴۳-۸۶۰, ۲۰۱۱.
- [۱۰] Smith, L., Rasin Tek, M., Balzhiser, R., "Pressure Drops and Void Fractions in Horizontal Two-Phase Flows of Potassium". Advances in Chemical Engineering Journal, Vol. ۱۲, pp. ۵۰-۵۸, ۱۹۶۶.
- [۱۱] Ahmed, H., Ismail, B., "Innovative Techniques for Two-Phase Flow Measurements". Recent Patents on Electrical Engineering, Vol. ۱, pp. ۱-۱۳, ۲۰۰۸.
- [۱۲] Ghajar, A., Tang, C., "Void Fraction and Flow Patterns of Two-Phase Flow in Upward and Downward Vertical and Horizontal Pipes". Advances in Multiphase Flow and Heat Transfer, Vol. ۴, pp. ۲۳۲-۲۶۷, ۲۰۱۰.
- [۱۳] M. Rezaiean, M. Nematollahi, "Experimental Evaluation of Void Fraction in a Natural Circulation Two-phase Flow", ۲۰th Annual International Iranian Mechanical Engineering Conference, May ۱۶-۱۸, ۲۰۱۲.



۲ و ۳ اسفند ماه ۱۳۹۱
دانشگاه فردوسی مشهد



Nuclear society of Iran
19 th Iranian's Nuclear Conference
20-21February , 2013
Ferdowsi University of Mashhad

19 th Iranian's Nuclear Conference

- [۱۴] M. Nematollahi, M. Rezaiean “Experimental Evaluation of Natural Circulation Pressure Drop in a Boiling Channel”, ۱۰th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems, USA, May ۱۵-۱۹, ۲۰۱۱.