

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



E47281

การพัฒนาเทคนิคอย่างง่ายสำหรับการตรวจวัดการกระจายขนาดของฝุ่นกัมมันตรังสีของเฮกซามิ  
เรดอนและโพตรอนเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณรังสี

นางสาวบุษิมา ภิรมย์รอด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2553  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๒๐๐25๐242

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



E47281

การพัฒนาเทคนิคอย่างง่ายสำหรับการตรวจวัดการกระจายขนาดของฝุ่นกัมมันตรังสีของธาตุลูก  
เรดอนและโทรอนเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณรังสี



นางสาว ชุติมา ธารนรอด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



4 9 7 1 8 0 9 0 2 1

**DEVELOPMENT OF A SIMPLE TECHNIQUE FOR MEASURING  
THE ACTIVITY SIZE DISTRIBUTION OF ATTACHED RADON  
AND THORON PROGENY FOR DOSE ASSESSMENT**

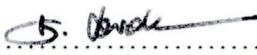
**Miss Chutima Kranrod**

**A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Doctor of Engineering Program in Nuclear Engineering  
Department of Nuclear Technology  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic year 2010  
Copyright of Chulalongkorn University**

Thesis Title                    DEVELOPMENT OF A SIMPLE TECHNIQUE  
FOR MEASURING THE ACTIVITY SIZE  
DISTRIBUTION OF ATTACHED RADON AND  
THORON PROGENY FOR DOSE ASSESSMENT  
By                                    Miss Chutima Kranrod  
Field of Study                    Nuclear Engineering  
Thesis Advisor                   Associate Professor Supitcha Chanyotha, Ph.D.  
Thesis Co-Advisor              Professor Shinji Tokonami, Ph.D.,  
Associate Professor Nares Chankow, M.Eng.

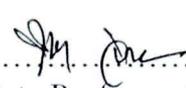
---

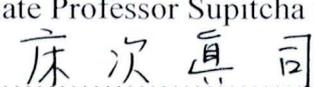
Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in  
Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

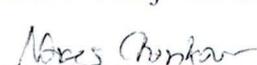
.....Dean of the Faculty of Engineering  
(Associate Professor Boonsom Lerdhirunwong, Dr.Ing.)

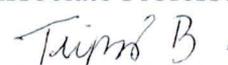
THESIS COMMITTEE

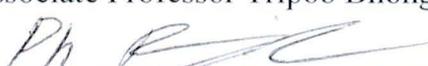
..... Chairman  
(Associate Professor Sunchai Nilswankosit, Ph.D.)

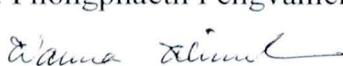
..... Thesis Advisor  
(Associate Professor Supitcha Chanyotha, Ph.D.)

..... Thesis Co-Advisor  
(Professor Shinji Tokonami, Ph.D.)

..... Thesis Co-Advisor  
(Associate Professor Nares Chankow, M.Eng.)

..... Examiner  
(Associate Professor Tripob Bhongsuwan, Ph.D.)

..... Examiner  
(Mr. Phongphaeth Pengvanich, Ph.D.)

..... External Examiner  
(Mrs. Wanna Wimolwattanapun, Ph.D.)

ชุติมา กรานรอด : การพัฒนาเทคนิคอย่างง่ายสำหรับการตรวจวัดการกระจายขนาดของฝุ่นกัมมันตรังสีของธาตุยูเรเนียม และโทรอนเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณรังสี. (DEVELOPMENT OF A SIMPLE TECHNIQUE FOR MEASURING THE ACTIVITY SIZE DISTRIBUTION OF ATTACHED RADON AND THORON PROGENY FOR DOSE ASSESSMENT) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. สุพิชชา จันทโรยธา, อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ศ. ดร. ชินจิ โทโกนามิ, รศ. ดร. นเรศร์ จันทน์ขาว, 106 หน้า.

E47281

การพัฒนาเทคนิคใหม่สำหรับการตรวจวัดการกระจายขนาดของฝุ่นกัมมันตรังสีของธาตุยูเรเนียม และ โทรอน อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อม ได้เลือกและปรับปรุง impactor สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดพวก ที่ประกอบด้วยชั้นแยกเก็บตัวอย่างตามขนาดจำนวน 4 ชั้น และชั้นสำหรับกระจายกรอง 1 ชั้น โดยสามารถคัดแยกขนาดอนุภาคของฝุ่นได้ในช่วง 0.5-10 ไมโครเมตร ที่ flow-rate 4 ลิตรต่อนาที และได้ใช้ CR-39 วัสดุรังสีแอลฟาจากฝุ่นรังสีของธาตุยูเรเนียม และโทรอน และในการตรวจวัดเพื่อคัดแยกธาตุยูเรเนียมและโทรอนนั้นจะใช้ แผ่นไมลา อลูมิเนียมตามความหนาที่เหมาะสมกับพลังงานของแอลฟาที่ถูกปลดปล่อยจากธาตุยูเรเนียม และโทรอนให้ทำอันตรกิริยาบน CR-39 และได้ติดตั้งสกิน (ตารางเหล็ก) ขนาด 400 mesh ไว้ตรงทางเข้าของอากาศ ด้านบน impactor เพื่อป้องกัน unattached fraction ของยูเรเนียมและโทรอน

นอกจากนี้ได้ทำการหาประสิทธิภาพการจับกับฝุ่นกัมมันตรังสีของ impactor โดยผลิตฝุ่นในช่วงขนาดตั้งแต่ 0.1 - 1.23 ไมโครเมตร และได้พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส และคล้ายคลึงกันในชั้นที่สาม และสี่

จากนั้น ได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการวัดการกระจายขนาดของฝุ่นกัมมันตรังสีของธาตุยูเรเนียมและโทรอน ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ( $\approx 30-90\%$ ), อุณหภูมิ ( $\approx 5-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), unattached progeny และการเปลี่ยนแปลงของ air flow-rate ( $\approx 12-75\%$ ) ผลจากการศึกษาพบว่ามีความไวของการสะสมตัวของ unattached radon progeny บน impactor ชั้นที่ 1 และ 2 สำหรับปัจจัยอื่น เช่น ความชื้นสัมพัทธ์, อุณหภูมิ, และการเปลี่ยนแปลงของ air flow-rate ที่ประมาณ 20-40% นั้นแทบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า Activity Median Aerodynamic Diameter (AMAD).

ได้ตรวจสอบความถูกต้องของเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้กับเครื่องมือที่นิยมใช้ในการตรวจวัดการกระจายขนาดของฝุ่นกัมมันตรังสี และผลจากการตรวจสอบทำให้มั่นใจได้ว่าค่าการกระจายตัวของฝุ่นกัมมันตรังสีของธาตุยูเรเนียม และโทรอนที่ได้จากเทคนิคที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการประเมินปริมาณรังสีได้จริง นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบเทคนิคที่พัฒนาขึ้นในการตรวจวัดภาคสนามเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณรังสีที่คนงานได้รับภายในโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารกัมมันตรังสี ตามธรรมชาติแห่งหนึ่งในจังหวัดภูเก็ต

ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์เทคโนโลยี.....ลายมือชื่อ นิสิต.....อุลิตา พรหมรอด  
 สาขาวิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....สุพิชชา จันทโรยธา  
 ปีการศึกษา 2553.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....ชินจิ โทโกนามิ  
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....นเรศร์ จันทน์ขาว

## 4971809021 : MAJOR NUCLEAR ENGINEERING

KEYWORDS : ACTIVITY SIZE DISTRIBUTION /IMPACTOR/ ATTACHED RADON PROGENY / ATTACHED THORON PROGENY / ACTIVITY MEDIAN DIAMETER / DOSE ASSESSMENT

CHUTIMA KRANROD : DEVELOPMENT OF A SIMPLE TECHNIQUE FOR MEASURING THE ACTIVITY SIZE DISTRIBUTION OF ATTACHED RADON AND THORON PROGENY FOR DOSE ASSESSMENT. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUPITCHA CHANYOTHA, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : PROF. SHINJI TOKONAMI, Ph.D., ASSOC. PROF. NARES CHANKOW, 106 PP.

**E47281**

A new portable type cascade impactor has been developed to determine the activity size distribution of radon and thoron progeny in a natural environment more efficiently. The modified impactor consists of 4 stages with a back up filter stage for the collection of aerosol samples. The aerosol cut points in the impactor are set for 10, 2.5, 1 and 0.5  $\mu\text{m}$  at a flow rate of 4 L  $\text{min}^{-1}$ . Five CR-39 chips were used as alpha detectors for each stage. In order to separate  $\alpha$  particles emitted from radon and thoron progeny, CR-39 detectors are covered with aluminum-vaporized Mylar films. Thickness of each film is properly adjusted to allow  $\alpha$  particles emitted from radon and thoron progeny to reach the CR-39 detectors. In addition, a 400-mesh metal wire screen is mounted as diffusion collector at the air inlet of the impactor to remove the unattached fraction of radon and thoron decay products. Furthermore, the particle cutoff characteristics of each stage was determined by mono-disperse aerosols particle size ranging from 0.1-1.23  $\mu\text{m}$  from the collection efficiency curve. The cutoff characteristics were found to be similar for stage 3 and 4 only. We have investigated the influence of relative humidity (30-90%), temperature (5-30°C), unattached progeny, and air sampling at different flow-rates ( $\approx$ 12-75%) for the sensitivity of the developed technique whereas activity median aerodynamic diameter (AMAD) is not much affected due to change in relative humidity, temperature and air flow-rate from 20-40%. The results showed that high-unattached radon progeny enhanced deposition effect at stage 1 and 2 of impactor. Validation of the technique was performed with the commercial devices and results confirmed that the developed technique can provide significant information to estimate the activity size distribution of attached radon and thoron progeny for dose assessment.

The develop technique has been successfully tested in field studies especially inside a NORM industry in Phuket to estimate doses at working environment.

Department : Nuclear Technology

Field of Study : Nuclear Engineering

Academic Year : 2010

Student's Signature *Chutima Kranrod.*

Advisor's Signature *[Signature]*

Co-Advisor's Signature *[Signature]*

Co-Advisor's Signature *Nares Chankow*

## Acknowledgment

The author would like to express her deepest gratitude to Associate Professor Dr. Supitcha Chanyotha, for her kind academic guidance, support and warm encouragement throughout the entire period of doctoral dissertation studies.

Earnest gratefulness is also attributed to co-advisors Professor Dr. Shinji Tokonami and Associate Professor Nares Chankow, for their understanding, expert suggestions and sincere support throughout the study period.

The author also would like to gratefully articulate her heartfelt appreciations to Dr. Tetsuo Ishikawa, National Institute Radiological Science (NIRS), Japan for his support and advices throughout the research period in Japan. Sincere thanks are also due to Dr. Atsuyuki Sorimachi and Mr. Yoshio Ohuchi (NIRS) for their help and co-operations while conducting experiments and for solving many problems during the research period in Japan.

The author also likes to convey her hearty appreciations to Dr. Sarat Sahoo (NIRS), for his scientific suggestions and supportive guidance during her stay at NIRS.

I am thankful to the Japanese Government (MEXT) Scholarship program for which I could visit Japan to pursue my higher studies. My special thanks are also offered to “National Institute of Radiological Sciences” for providing the radon facilities which is unique in the world to continue my doctoral studies with collaborating with Chulalongkorn University.

The author also likes to extend her thanks Ms. Rawiwan Kritsananuwat, Mrs. Tharawadee Takahashi, Ms. Sawwanee Asavaphatiboom, Mr. Nabil Hassan, Dr. Norbert Kavashi, Dr. Mirek Janik and his family, Mrs. Setsuko Endo and her family, for their constant support and friendly attitude throughout the study.

Finally, it is impossible to express gratitude to one's kith and kin but it is no exaggeration for the author to say that without the invaluable moral support, patient understanding, encouragement and continuous co-operations from her father Mr. Boonchoo Kranrod, mother Mrs. Supa Kranrod, younger brother Mr. Theerawut Kranrod, and all close relatives, this piece of research work would never have been completed.

# Contents

	Page
Abstract (Thai).....	iv
Abstract (English).....	v
Acknowledgement.....	vi
Contents.....	vii
List of tables.....	x
List of figures.....	xi
Chapter	
I    INTRODUCTION.....	1
1.1 Background on problems of interest.....	1
1.2 Thesis objective.....	3
1.3 Scope and limitation of the study.....	3
1.4 Expected benefit.....	4
1.5 Research methodology.....	4
1.6 Organization and chapter contents.....	4
II   THEORY AND LITERATURE REVIEW.....	6
2.1 Radon, thoron and their progeny .....	6
2.2 Particle size: A significant parameter of radioactive aerosol.....	9
2.2.1 Activity size distribution for radioactive aerosol.....	11
2.2.2 Activity size distribution determination techniques.....	12
2.3 Alpha detector.....	15
2.3.1 Nuclear track detector as radiation detector.....	16
2.3.2 Stopping power, restricted energy loss.....	17
2.4 Dose assessment.....	19
2.4.1 The new ICRP lung model and LUDEP.....	20
2.4.2 Description of LUDEP.....	20
2.4.3 Mathematical approaches used in LUDEP.....	21
2.4.4 Best estimated parameters for calculating dose using LUDEP.....	24
2.4.5 Dependence of dose on radon/thoron progeny.....	25
III  PRELIMINARY WORK.....	29
3.1 Study Location.....	29
3.2 Measurement Techniques.....	29
3.3 Measurement Conditions.....	31
3.4 Results and Discussion.....	31

## Contents (Continue)

Chapter	Page
3.4.1 Measurement Results.....	31
3.4.2 Estimation of Effective Dose.....	35
3.5 Conclusions.....	36
IV DESIGN AND MODIFICATION OF IMPACTOR, PERFORMANCE TEST AND VALIDATION OF DEVELOPMENT TECHNIQUE.....	38
4.1 Impactor design.....	38
4.1.1 Manufacture of portable cascade impactor.....	40
4.1.2 Modification of the Collection media.....	41
4.2 Performance test of portable impactor.....	42
4.2.1 Discrimination of $^{220}\text{Rn}$ and $^{222}\text{Rn}$ progeny on CR-39 detectors with aluminum-vaporized Mylar films.....	45
4.2.2 Detector efficiency calibration.....	48
4.2.3 Impactor collection efficiency calibration.....	50
4.3 Evaluation parameter that might affect the sensitivity of development technique .....	56
4.3.1 Humidity.....	60
4.3.2 Temperature.....	61
4.3.3 Unattached progeny.....	61
4.3.4 Changing of air sampling flow rate.....	62
4.4 Validation of development technique.....	63
V FIELD EVALUATION ON ATTACHED RADON AND THORON PROGENY SIZE DISTRIBUTION AND DOSE ASSESSMENT IN THE MINERAL TREATMENT INDUSTRY....	66
5.1 Study location.....	66
5.2 Method and measurement setup.....	66
5.2.1 Determination of attached radon and thoron progeny activity size distribution.....	66
5.2.2 Determination of radon, thoron and their progeny concentration .....	68
5.3 Results of field survey.....	69
5.3.1 Attached radon and thoron progeny activity size distribution .....	69
5.3.2 Determination of Equilibrium factor .....	71

## Contents (Continue)

	Page
Chapter	
5.4 Dose assessment.....	71
5.5 Conclusions.....	73
VI SUMMARY AND CONCLUSIONS.....	75
6.1 Conclusions and discussion.....	75
6.2 Suggestions and future studies.....	78
6.3 List of publications.....	79
Reference.....	81
Appendices	
Appendix A: Particle Sizing Method.....	89
Appendix B: Impactors in Particle Size Distribution.....	94
Appendix C: Radiation Detectors.....	102
Biography.....	106

## List of Tables

	Page
Table 2-1 The best estimated parameter values for this study.....	25
Table 3-1 Mean ( $\pm$ standard deviation) concentrations of radon and its progeny.....	32
Table 3-2 Mean ( $\pm$ standard deviation) concentrations of the unattached and total activity concentrations (ranges are given in parentheses).....	34
Table 3-3 Mean values of the activity median aerodynamic diameter (AMAD <sub>i</sub> ), the geometric standard deviation ( $\sigma_{gi}$ ), and the activity fraction ( $f_i$ ) of log-normal activity size distribution of attached progeny (ranges are given in parentheses).....	35
Table 4-1 Design parameters for portable cascade impactor.....	39
Table 4-2 Film area densities absorber for each channel.....	48
Table 4-3 The average counting efficiency of CR-39.....	49
Table 4-4 The collection efficiency of portable impactor.....	52
Table 4-5 Cut point diameters of each impaction substrate for impactor Stage 3 and 4.....	52
Table 4-6 Sharpness of collection efficiency for stage 3 and 4 of portable impactor as a function of substrate.....	56
Table 4-7 AMAD and $\sigma_g$ at various relative humidity.....	60
Table 4-8 AMAD and $\sigma_g$ at various temperature.....	61
Table 4-9 Experimental results for the effect of unattached progeny.....	62
Table 4-10 Experimental resultd for effect of air flow-rate change.....	62
Table 4-11 Verification results of development technique.....	64
Table 4-12 A comparison of dose conversion factor from dosimetric approach..	65
Table 5-1 Sizing information of attached radon and thoron progeny at different places in Thaisarco characterized by the activity median aerodynamic diameter (AMAD) and geometric standard deviations.....	69
Table 5-2 Activity concentration of radon, thoron and their progeny concentration.....	71
Table 5-3 Dose Conversion Factor (DCFs) of attached radon and thoron progeny by LUDEP.....	72
Table 5-4 Annual effective doses at Thaisarco due to exposure of radon thoron and their progeny.....	73

## List of Figures

	Page
Figure 2-1 Natural decay series: Uranium-238.....	7
Figure 2-2 Natural decay series: Thorium-232.....	7
Figure 2-3 a) Basic processes of radon decay product behavior in air defining “unattached” and “aerosol-attached” particle activities. b) Processes of $^{218}\text{Po}$ and $^{214}\text{Pb}$ in air.....	8
Figure 2-4 Variation of dose conversion factor from radon progeny ( $\text{DCF}_{\text{RnP}}$ ) as a function of AMAD.....	27
Figure 2-5 Variation of dose conversion factor from thoron progeny ( $\text{DCF}_{\text{ThP}}$ ) as a function of AMAD.....	28
Figure 3.1 The schematic diagram of unattached radon progeny measuring system.....	31
Figure 3-2 Temporal variations of (a) radon and $\text{EECRn}$ , (b) temperature and relative humidity, and (c) air pressure.....	33
Figure 3-3 The activity size distribution of radon progeny (averaged over the study period).....	34
Figure 4-1 Cross-section view of portable cascade impactor .....	40
Figure 4-2 Picture of portable impactor sampler.....	41
Figure 4-3 Arrangement of the detection channel on the impaction plate.....	41
Figure 4-4 The illustration of reference chambers at NIRS: a) Radon chamber and b) Thoron chamber.....	43
Figure 4-5 Experiment set-up for performance test: a) Radon chamber b) Thoron Chamber.....	44
Figure 4-6 Alpha spectrum results: a) Attenuation of 5.5 MeV from Am-241 b) Attenuation of 7.7 MeV from Pb-214.....	46
Figure 4-7 Relationship between track density and area density of film for cut-off alpha energy 4.2, 6.1 and 7.7 MeV: a) Measuring the alpha particles emitted from aerosols and impinge on CR-39. b) Measuring the alpha particles emitted from the surface of the glass fiber filter and impinges on the CR-39 through an air layer of 22.5 mm.....	47
Figure 4-8 The illustration of detector channel at each impactor plate geometry. ....	48
Figure 4-9 Experiment procedure for alpha track registration a) Measuring the alpha particles emitted from aerosols and impinge on CR-39. b) Measuring the alpha particles emitted from the surface of the glass fiber filter and impinges on the CR-39 through an air layer of 22.5 mm.....	50
Figure 4-10 A block diagram of aerosol generator.....	52
Figure 4-11 Sampling system for collection efficiency of attached radon progeny.....	53
Figure 4-12 The illustration of instruments for collection efficiency calibration.	54

## List of Figures (Continue)

	Page
Figure 4-13 Collection efficiency of stage 3 (1 $\mu\text{m}$ ).....	54
Figure 4-14 Collection efficiency of stage 4 (0.5 $\mu\text{m}$ ).....	55
Figure 4-15 The illustration of etch pits on the surface of CR-39 at each detection channel of stage 3 (Magnification: 100 $\times$ ). Sampling at radon concentration 5000 kBqm <sup>-3</sup> and aerosol size 1 mm was generated: a) CH1, b) CH2, c) CH3 and d) CH4.....	57
Figure 4-16 The activity size distribution of radon progeny: a) ELPI, b) MOUDI and c) 4-stage impactor. Sampling at radon concentration 5000 kBqm <sup>-3</sup> and aerosol size 1 mm was generated.....	65
Figure 5-1 Location of measurement points at Thaisarco, Phuket, Thailand. a) HSE office, b) Ore sampling area, and c) Production storage area.....	67
Figure 5-2 Illustration of the particle size distribution: a) attached radon progeny size distribution b) attached thoron progeny size distribution.....	70