

**การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มชนิด extended dose range เพื่อใช้ในการประกันคุณภาพของ
dynamic intensity modulated radiation therapy**

นางสาวนพวรรณ พิทักษ์ธานินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฉายาเวชศาสตร์ ภาควิหารังสีวิทยา

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF AN EXTENDED DOSE
RANGE RADIOGRAPHIC FILM FOR VERIFICATION OF
DYNAMIC INTENSITY MODULATED
RADIATION THERAPY**

Miss Navapan Pitaxtarnin

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Medical Imaging**

Department of Radiology

Faculty of Medicine

Chulalongkorn University

Academic Year 2006


Copyright of Chulalongkorn University

491677

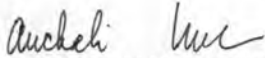
Thesis Title DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF AN
EXTENDED DOSE RANGE RADIOGRAPHIC
FILM FOR VERIFICATION OF DYNAMIC
INTENSITY MODULATED RADIATION
THERAPY

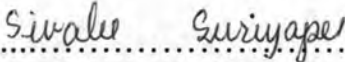
By Miss Navapan Pitaxtarnin
Field of Study Medical Imaging
Thesis Advisor Associate Professor Sivalee Suriyapee
Thesis Co-advisor Mr. Sornjarod Oonsiri

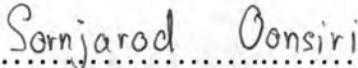
Accepted by the Faculty of Medicine, Chulalongkorn University in
Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree

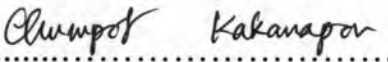

.....Dean of the Faculty of Medicine
(Professor Pirom Kamol-ratanakul, M.D.,M.Sc.)

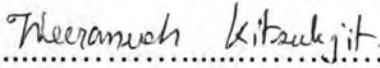
THESIS COMMITTEE:


.....Chairman
(Associate Professor Anchali Krisanachinda, Ph.D.)


.....Thesis Advisor
(Associate Professor Sivalee Suriyapee, M.Eng.)


.....Thesis Co-advisor
(Mr. Sornjarod Oonsiri, M.Sc.)


.....Member
(Assistant Professor Chumpot Kakanaporn, M.Sc.)


.....Member
(Mrs. Weeranuch Kitsukjit, M.Sc.)

นวพรรณ พิทักษ์ธานินทร์ : การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มชนิด extended dose range เพื่อใช้ในการ
 ประกันคุณภาพของ dynamic intensity modulated radiation therapy. (DOSIMETRIC
 CHARACTERISTICS OF AN EXTENDED DOSE RANGE RADIOGRAPHIC FILM FOR
 VERIFICATION OF DYNAMIC INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY).
 อ.ที่ปรึกษา: รศ.ศิวลี สุริยาปี, อ.ที่ปรึกษาร่วม: นายสรจรัส อุณหศิริ; 71 หน้า

การตรวจสอบการกระจายของปริมาณรังสีแบบสองมิติก่อนการรักษาจริงด้วยการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม
 สามารถทำได้โดยการใช้ฟิล์มวัดรังสี ปัจจุบันได้มีการนำฟิล์มชนิดใหม่เข้ามาใช้ในโรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ คือฟิล์มชนิด
 Kodak EDR2 (extended dose range) ที่สามารถวัดรังสีได้สูงกว่า 600 เซนติเกรย์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษา
 คุณสมบัติของฟิล์มชนิด EDR2 เพื่อนำมาใช้ในการประกันคุณภาพของการฉายรังสีแบบปรับความเข้ม โดยใช้เครื่อง
 Varian Clinac 23EX สำหรับการฉายรังสีเอกซ์ขนาด 6 เมกกะโวลเตจ และขนาด 10 เมกกะโวลเตจ ด้วยเครื่อง Varian
 Clinac 21EX ด้วยอัตรา 300 MU ต่อนาที โดยทำการฉายด้วยปริมาณรังสีตั้งแต่ 20 ถึง 450 เซนติเกรย์ ที่ความลึก 5, 10
 และ 15 เซนติเมตร และที่ขนาดลำรังสี 2x2, 3x3, 10x10 และ 15x15 ตารางเซนติเมตร

จากการศึกษาความคงที่และความถูกต้องของค่าความดำฟิล์มเนื่องจากผลของการล้างฟิล์ม พบว่า มีเปอร์เซ็นต์
 ความคลาดเคลื่อนอยู่ภายใน 1.9% ที่ปริมาณรังสีต่ำกว่า 200 เซนติเกรย์ และ 4.9% ที่ปริมาณรังสี 450 เซนติเกรย์ ทั้ง 2
 พลังงาน ผลการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มชนิด EDR2 พบว่า sensitometric curves ทุกเส้นมีความสัมพันธ์แบบเส้นตรงเมื่อ
 ค่าความดำของฟิล์มอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2.0 และปริมาณรังสีอยู่ในช่วง 80 ถึง 330 เซนติเกรย์ เมื่อขนาดของลำรังสีคงที่และ
 เปลี่ยนความลึก ความเปลี่ยนแปลงของ sensitometric curves ที่เอกซเรย์พลังงาน 6 เมกกะโวลเตจ น้อยกว่า 10 เมกกะ
 โวลเตจ sensitometric curve ที่ความลึก 5 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร มีความแตกต่างของปริมาณรังสีสูงสุด 1.6%
 สำหรับ 6 เมกกะโวลเตจ และ 3.4% ที่ 10 เมกกะโวลเตจ โดยเกิดขึ้นที่ลำรังสีขนาดเล็ก 2x2 ตารางเซนติเมตร ความแตกต่าง
 เห็นได้ชัดเจนที่ปริมาณรังสีสูง เมื่อทำให้ความลึกคงที่และเปลี่ยนขนาดของลำรังสี จะเห็นความแตกต่างของปริมาณรังสี
 สูงสุดของ sensitometric curve ระหว่างลำรังสีขนาด 2x2 ตารางเซนติเมตร และ 15x15 ตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าสูงสุด
 เป็น 4.2% สำหรับ 6 เมกกะโวลเตจ และ 2.8% สำหรับ 10 เมกกะโวลเตจ เกิดขึ้นที่ความลึก 5 เซนติเมตร และพบว่าขนาด
 ของลำรังสีมีผลกับ sensitometric curves มากกว่าความลึก การตอบสนองต่อพลังงานพบว่าฟิล์มชนิด EDR2 ไม่ขึ้นกับ
 พลังงาน การศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่าง percent depth dose ที่วัดจากฟิล์มกับ ionization chamber ของทั้งสอง
 พลังงานพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันที่ความลึกตื้นๆ และจะแตกต่างกันมากที่ความลึกเพิ่มขึ้น และขนาดของลำรังสีเล็ก ๆ
 การศึกษาโปรไฟล์ลำรังสีวัดด้วยฟิล์มเทียบกับการวัดด้วย ionization chamber พบว่าจะมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงตรงกลาง
 และคลาดเคลื่อนเล็กน้อยในช่วงขอบของลำรังสี จากผลการศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มชนิด EDR2 จึงสามารถพิจารณา
 ขนาดของลำรังสีและความลึกที่เหมาะสมที่จะใช้ทำ film calibration ในฟิล์มแผ่นเดียวกัน เพื่อเปลี่ยนค่าความดำที่วัดได้
 จากฟิล์ม เป็นปริมาณรังสี คือ ที่ขนาดของลำรังสี 3x3 ตารางเซนติเมตร และที่ความลึก 5 เซนติเมตร ปริมาณรังสี 20 ถึง
 450 เซนติเกรย์ สุดท้ายผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณการกระจายของรังสีในการรักษาด้วยรังสีแบบปรับความเข้ม
 ในผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งศีรษะและลำคอ 2 แผนการรักษาสำหรับ 6 เมกกะโวลเตจ และ 2 แผนการรักษาสำหรับ 10 เมกกะ
 โวลเตจ พบว่าค่าที่คำนวณได้จากโปรแกรมกับที่เครื่องวัดได้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้้อยู่ภายใน 3 มิลลิเมตรและความ
 ต่างของปริมาณรังสีไม่เกิน 3% โดยใช้ค่าแกมมา

การเลือกขนาดของลำรังสีและความลึกที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการทำ film calibration เพื่อเปลี่ยนค่าความดำที่
 อ่านได้จากฟิล์มไปเป็นค่าปริมาณรังสีสัมบูรณ์ จะทำให้การตรวจสอบการกระจายของปริมาณรังสีก่อนการฉายแบบปรับ
 ความเข้มทำได้อย่างถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ภาควิชา.....	รังสีวิทยา.....	ลายมือชื่อนิสิต นวพรรณ พิทักษ์ธานินทร์.....
สาขาวิชา.....	ฉายเวชศาสตร์.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ศิวลี สุริยาปี.....
ปีการศึกษา.....	2549.....	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สรจรัส อุณหศิริ.....

4874741430: MAJOR MEDICAL IMAGING

KEYWORDS: FILM DOSIMETRY / EDR2 FILM / INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY / SENSITOMETRIC CURVE

NAVAPAN PITAXTARNIN: DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF AN EXTENDED DOSE RANGE RADIOGRAPHIC FILM FOR VERIFICATION OF DYNAMIC INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SIVALEE SURIYAPEE, CO-ADVISOR: MR. SORNJAROD OONSIRI, 71 pp.

For two dimensional intensity modulated radiation therapy (IMRT) dose distribution verification, a new type of radiographic film, EDR2 (extended dose range) film, allowing measured doses above 600 cGy was currently used. The purpose of this study is to evaluate the properties of EDR2 film for dosimetric verification of dynamic IMRT. The Varian Clinac 23EX for 6 MV x-ray mode and Varian Clinac 21EX for 10 MV x-ray mode delivered at 300 MU/min were used for this study. The films were irradiated with the dose of 20-450 cGy at depth of 5 cm, 10 cm, and 15 cm with the field size of 2x2, 3x3, 10x10 and 15x15 cm².

The reproducibility and accuracy of film measurement which depend mainly on the film processor was within 1.9% for the dose up to 200 cGy and went up to 4.9% for the dose of 450 cGy for both energies. All the sensitometric curves showed linearity when the optical density ranged from 0.5 to 2.0 and the dose ranged from 80 to 330 cGy. When the field size was fixed and depth was varied, the sensitometric curves showed less effect of depth for 6 MV than 10 MV x-ray beam, the discrepancy occurred at the high dose of all field sizes. The dose discrepancy between 5 and 15 cm depth was within 1.6% for 6 MV and 3.4% for 10 MV x-ray beams at 2x2 cm² field size. When the depth was fixed and the field size was varied, field size showed more discrepancy of sensitometric curves than depth, they were also more pronounce at the higher dose, the maximum dose discrepancy between the 2x2 cm² and 15x15 cm² field size was 4.2% for 6 MV and 2.8% for 10 MV x-ray beams at 5 cm depth. The result of energy response showed that EDR2 film had less energy dependence. The maximum dose discrepancy between 6 and 10 MV x-ray beams was only 0.3%. The percentage depth dose measured with EDR2 film compared to ionization chamber for 6 MV and 10 MV x-ray beams, showed good agreement in a shallow depth but more discrepancy at a deeper depth, especially for the small field size. Dose profile measured with EDR2 film were consistent with those measured with an ionization chamber except at the penumbra region. From the result the optimal field size of 3x3 cm² and depth of 5 cm irradiated in the same film were chosen for the calibration curve that needed to be performed each time of IMRT plan verification for both x-ray energies. Verification of 2 IMRT plans for 6 MV and 2 IMRT plans for 10 MV x-ray beams showed a good agreement to the Eclipse treatment planning within 3% of dose difference and 3 mm of distance to agreement when using gamma value evaluation.

The suitable field size, depth and dose range should be considered for EDR2 film to obtain the calibration curve which is used for accurate absolute dose distribution of IMRT field.

Department	Radiology	Student's signature <i>Navapan Pitaxtarnin</i>
Field of study	Medical Imaging	Advisor's signature <i>Sivalee Suriyapee</i>
Academic year	2006	Co-advisor's signature <i>Sornjarod Oonsiri</i>

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to express gratitude and deepest appreciation to Associate Professor Sivalee Suriyapee, Head of Physicist at Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, my major advisor for her guidance, invaluable advice, supervision, constructive comments and English language proof in this research. I am equally grateful to Mr. Taweap Sanghangthum and Mr. Sornjarod Oonsiri, physicist at Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, King Chulalongkorn Memorial Hospital, my co-advisors for their help in the experiment, kind suggestion and constructive comments in the experiments.

I would like to thank the Ratchadapiseksompotch Fund, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University for financial support in this research.

I would like to deeply thank Associate Professor Anchali Krisanachinda, at Nuclear Medicine Division, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, my teacher for advice and comments in the research.

I would like to thank Professor Franco Milano from Florence University Italy, Assistant Professor Chumpot Kakanaporn at Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Siriraj Hospital, Mahidol University, who were the external examiner of the thesis defense for their help in the experiment, kind suggestion, constructive comments in the experiments and English language proof in this research.

I would like to deeply thank Associate Professor Somjai Wangsuphachart, Head of Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University for advice and comments in the research.

I would like to greatly thank Assistant Professor Prayuth Rojpornpradit Head of Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, for the financial support to present a poster at the 2006 Biophysics Seminar and 4th SEACOMP.

I would like to thank Mrs. Weeranuch Kitsukjit for her provide suggestion for the statistical improvement.

I would like to thank the physicists and staffs at the Division of Radiation Oncology, Department of Radiology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, for their help in my research.

I am thankful for all teachers, lecturers and staffs in the Master of Science Program in Medical Imaging, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University for their unlimited teaching of knowledge in Medical Imaging.

Finally, I am grateful of my family for their financial support, valuable encouragement, entirely care, and understanding during the entire course of study.

CONTENTS

	Page
ABSTRACT (THAI).....	iv
ABSTRACT (ENGLISH).....	v
ACKNOWLEDGEMENTS.....	vi
LIST OF TABLES.....	xi
LIST OF FIGURES.....	xiii
LIST OF ABBREVIATIONS.....	xvii
CHAPTER 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Background and rationale.....	1
1.2 Research objectives.....	2
CHAPTER 2 REVIEW OF RELATED LITERATURES.....	3
2.1 Theory.....	3
2.1.1 Intensity modulated radiation therapy (IMRT).....	3
2.1.2 Treatment planning.....	4
2.1.3 Inverse planning.....	4
2.1.4 Dynamic multileaf collimator (DMLC).....	4
2.1.5 Pretreatment dose verification.....	5
2.1.6 Film dosimetry.....	5
2.1.7 Dosimetry and response curve.....	10
2.1.8 Quantitative radiographic film response to radiation.....	12
2.1.9 Energy dependence of radiographic film response to radiation.....	16
2.1.10 Impact of film over response to low-energy photons on IMRT measurement.....	17
2.1.11 Film type for IMRT verification	18

	Page
2.1.12 Quality control of the film processor.....	19
2.1.13 Gamma analysis.....	21
2.2 Related literatures.....	21
CHAPTER 3 RESEARCH METHODOLOGY.....	24
3.1 Research design.....	24
3.2 Research design model.....	24
3.3 Conceptual framework.....	25
3.4 Key word.....	25
3.5 Research questions.....	26
3.5.1 Primary question.....	26
3.5.2 Secondary question.....	26
3.6 Material.....	26
3.6.1 Linear accelerator	26
3.6.2 The ready-pack EDR2 film.....	27
3.6.3 Vidar VXR-16 DosimetryPro film scanner.....	28
3.6.4 Ionization chamber.....	28
3.6.5 Electrometer.....	29
3.6.6 Solid water phantom.....	29
3.6.7 Blue phantom 3D beam analyzing system.....	30
3.6.8 Eclipse planning software.....	31
3.6.9 Automatic film processor.....	31
3.7 Method.....	32
3.7.1 Film processing.....	32
3.7.2 Densitometer calibration.....	32

	Page
3.7.3 Ionization chamber dose measurement.....	32
3.7.4 Film irradiation.....	33
3.7.5 Construction of sensitometric curve.....	34
3.7.6 Depth dose and beam profile measurement.....	34
3.7.7 Verification for clinical IMRT plan.....	35
3.8 Measurement.....	35
3.9 Data collection.....	36
3.10 Data analysis.....	36
3.11 Benefit of the study.....	36
3.12 Ethic consideration.....	36
CHAPTER 4 RESULTS.....	37
4.1 Densitometer calibration.....	37
4.2 Film processor quality control.....	37
4.2.1 Construction of the reference H&D curve.....	37
4.2.2 Processing control chart.....	39
4.3 Film reproducibility and accuracy.....	41
4.4 Ionization chamber dose measurement.....	43
4.5 Film irradiation and sensitometric curves.....	44
4.5.1 Fixed depth and varied field size.....	44
4.5.2 Fixed field size varied depth.....	49
4.6 Energy response.....	55
4.7 Percent depth dose.....	56
4.8 Beam profile.....	58
4.9 Optimal film calibration curve for IMRT verification.....	60

	Page
4.10 Verification of clinical IMRT plans.....	61
CHAPTER 5 DISCUSSION AND CONCLUSION.....	66
5.1 Discussion.....	66
5.2 Conclusion.....	68
5.3 Recommendation.....	68
REFERENCES.....	69
VITAE.....	71

LIST OF TABLES

Table	Page
2.1 Physical properties of EDR2 and XV films.....	19
4.1 The densitometer signal of standard step film for densitometer calibration...	37
4.2 Processor control chart.....	39
4.3 The optical density of EDR2 film for field size $10 \times 10 \text{ cm}^2$, at d_{max} 100 cm SAD for 6 MV and 10 MV x-ray beams.....	41
4.4 The optical density over the dose 0-450 cGy for 9 measurements for field size of $3 \times 3 \text{ cm}^2$ at 1.5 cm d_{max} , 100 cm SAD for 6 MV x-ray beam.....	41
4.5 The optical density over the dose 0-450 cGy for 6 measurements for field size of $3 \times 3 \text{ cm}^2$ at 2.5 cm d_{max} , 100 cm SAD for 10 MV x-ray beam.....	42
4.6 Dose delivered to solid water phantom measured from ionization chamber in cGy at 6 MV x-ray beam	43
4.7 Dose delivered to solid water phantom measured from ionization chamber in cGy at 10 MV x-ray beam	44
4.8 The optical density of EDR2 films irradiated at fixed depth varied field size of $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$ and $15 \times 15 \text{ cm}^2$ at 5 cm, 10 cm, and 15 cm depth for 6 MV x-ray beam.....	45
4.9 The optical density of EDR2 films irradiated at fixed depth varied field size $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$ and $15 \times 15 \text{ cm}^2$ at 5 cm, 10 cm, and 15 cm depth for 10 MV x-ray beam.....	45
4.10 Percent difference of dose between field size $2 \times 2 \text{ cm}^2$ and $15 \times 15 \text{ cm}^2$	49
4.11 The optical density of EDR2 films irradiated at fixed field size varied depth, field size of $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$ and $15 \times 15 \text{ cm}^2$ at 5 cm, 10 cm, and 15 cm depth for 6 MV x-ray beam.....	50
4.12 The optical density of EDR2 films irradiated at fixed field size varied depth, field size of $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$ and $15 \times 15 \text{ cm}^2$ at 5 cm, 10 cm, and 15 cm depth for 10 MV x-ray beam.....	50
4.13 Percent difference of dose between 5 cm and 15 cm depths.....	55
4.14 The optical density for field size of $3 \times 3 \text{ cm}^2$ at depths of 5 cm, 100 cm SAD for 6 MV and 10 MV x-ray beam.....	55

Table	Page
4.15 The comparison of percent depth doses measured with EDR2 films to that measured with the ion chamber for the field size of $2 \times 2 \text{ cm}^2$ for 6 MV.....	56
4.16 The comparison of percent depth doses measured with EDR2 films to that measured with the ion chamber for the field size of $2 \times 2 \text{ cm}^2$ for 10 MV.....	57
4.17 The comparison of percent depth doses measured with EDR2 films to that measured with the ion chamber for the field size of $10 \times 10 \text{ cm}^2$ for 6 MV...	57
4.18 The comparison of percent depth doses measured with EDR2 films to that measured with the ion chamber for the field size of $10 \times 10 \text{ cm}^2$ for 10 MV...	57

LIST OF FIGURES

Figure	Page
2.1 Intensity modulated radiation therapy (IMRT) delivers radiation beams in multiple arcs, similar to 3D conformal.....	3
2.2 Cross-section of a double emulsion x-ray film.....	6
2.3 The silver iodo-bromide crystal lattice.....	7
2.4 Electron micrograph of the unprocessed emulsion of an x-ray film.....	7
2.5 Layer of ions in a AgBr crystal. Two interstitial silver ions and a sulphide region, functioning as a latent-image site, are shown schematically.....	8
2.6 Sequence of events that convert a transparent film grain into black metallic silver.....	9
2.7 Typical response curve, i.e. net optical density versus dose curves of radiographic films for direct x-ray exposure.....	11
2.8 Scheme of a non-linear response curve due to the requirement of two instead of one silver cluster per AgBr crystal.....	11
2.9 Developed radiographic film under film densitometry. Double coating emulsion is typical for verification film. The grain (dark circles) diameter is less than 1 micron, which limits the spatial resolution.....	12
2.10 Characteristic curves of radiographic film to radiation.....	15
2.11 Film dosimetry setup.....	16
2.12 Linearized characteristic curves. The same OD, if measured at different condition from that of calibration, corresponds to different doses. C ₃ may correspond to a condition where the low-energy (< 400 keV) photons are present in the largest proportion	17
2.13 IMRT fluence profile for head and neck cancer.....	18
2.14 The control chart for the quality assurance of the film processing.....	20
3.1 Linear accelerator with a dynamic multileaf collimator (DMLC).....	27

Figure	Page
3.2 Kodak EDR2 verification film.....	27
3.3 The Vidar VXR-16 Dosimetry Pro.....	28
3.4 The CC13 ionization chamber.....	29
3.5 DOSE-1 electrometer.....	29
3.6 Solid water phantoms.....	30
3.7 The blue phantom 3D beam analyzing system.....	30
3.8 Eclipse planning software.....	31
3.9 Kodak <i>RP</i> X-OMAT processor, Model M6B.....	31
3.10 Solid water phantom used for dose measurements with ionization Chamber.....	33
3.11 Solid water phantom used for dose measurements with EDR2 film.....	33
3.12 Blue phantom with CC13 ionization chamber for depth dose and beam profile measurement.....	34
3.13 Solid water phantom used for depth dose and beam profile measurement by EDR2 film.....	35
4.1 The densitometer calibration curve of standard step wedge film.....	38
4.2 H&D curve for Automatic film processor Kodak M6B.....	38
4.3 Processor performance parameters.....	40
4.4 Sensitometric curve over the dose 0-450 cGy for 9 measurements for for the field size of $3 \times 3 \text{ cm}^2$ at $1.5 \text{ cm } d_{\text{max}}$, SAD 100 cm for 6 MV x-ray beam.....	42
4.5 Sensitometric curve over the dose 0-450 cGy for 6 measurements for field size of $3 \times 3 \text{ cm}^2$ at $2.5 \text{ cm } d_{\text{max}}$, 100 cm SAD for 10 MV x-ray beam	43
4.6 Sensitometric curves for depth of 5 cm field sizes of $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$ for 6 MV x-ray beams.....	46
4.7 Sensitometric curves for depth of 10 cm field sizes of $2 \times 2 \text{ cm}^2$, $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$ for 6 MV x-ray beam.....	46

Figure	Page
4.8 Sensitometric curves for depth of 15 cm field sizes of 2x2 cm ² , 3x3 cm ² , 10x10 cm ² , 15x15 cm ² for 6 MV x-ray beam.....	47
4.9 Sensitometric curves for depth of 5 cm field sizes of 2x2 cm ² , 3x3 cm ² , 10x10 cm ² , 15x15 cm ² for 10 MV x-ray beam.....	47
4.10 Sensitometric curves for depth of 10 cm field sizes of 2x2 cm ² , 3x3 cm ² , 10x10 cm ² , 15x15 cm ² for 10 MV x-ray beam.....	48
4.11 Sensitometric curves for depth of 15 cm field sizes of 2x2 cm ² , 3x3 cm ² , 10x10 cm ² , 15x15 cm ² for 10 MV x-ray beam.....	48
4.12 Sensitometric curves for field size of 2x2 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 6 MV x-ray beam.....	51
4.13 Sensitometric curves for field size of 3x3 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 6 MV x-ray beam.....	51
4.14 Sensitometric curves for field size of 10x10 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 6 MV x-ray beam.....	52
4.15 Sensitometric curves for field size of 15x15 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 6 MV x-ray beam.....	52
4.16 Sensitometric curves for field size of 2x2 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 10 MV x-ray beam.....	53
4.17 Sensitometric curves for field size of 3x3 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 10 MV x-ray beam.....	53
4.18 Sensitometric curves for field size of 10x10 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 10 MV x-ray beam.....	54
4.19 Sensitometric curves for field size of 15x15 cm ² at depths of 5 cm, 10 cm and 15 cm for 10 MV x-ray beam.....	54
4.20 Sensitometric curves for field size of 3x3 cm ² at depths of 5 cm, 100 cm SAD for 6 MV and 10 MV x-ray beam.....	56
4.21 Dose profile measured with EDR2 film and an ionization chamber for field size of 2x2 cm ² at depth of 5 cm for 6 MV x-ray beam.....	58
4.22 Dose profile measured with EDR2 film and an ionization chamber for field size of 2x2 cm ² at depth of 5 cm for 10 MV x-ray beam.....	59

Figure	Page
4.23 Dose profile measured with EDR2 film and an ionization chamber for field size of 10x10 cm ² at depth of 5 cm for 6 MV x-ray beam.....	59
4.24 Dose profile measured with EDR2 film and an ionization chamber for field size of 10x10 cm ² at depth of 5 cm for 10 MV x-ray beam.....	60
4.25 Verification of dose distributions calculated by Eclipse treatment planning and measured by EDR2 film for 6 MV x-ray beam for 2 plan of (A) plan number 1 and (B) plan number 2.....	63
4.26 Verification of dose distributions calculated by Eclipse treatment planning and measured by EDR2 film for 10 MV x-ray beam for 2 plan of (A) plan number 3 and (B) plan number 4.....	65

LIST OF ABBREVIATIONS

Abbreviation	Terms
3D	Three dimensions
3-DCRT	Three dimensional conformal radiation therapy
3D-RTP	Three dimensional radiation treatment planning
ADC	Analog to digital converter
Ag ⁺	Ion of silver
AgBr	Silver bromide
AgI	Silver iodide
Br ⁻	Ions of bromide
C	Coulomb
cc	Cubic centimeter
cGy	Centigray
cm	Centimeter
cm ²	Square centimeter
⁶⁰ Co	Cobalt-60
DD	Density difference
d _{max}	Depth of dose maximum
DMLC	Dynamic multileaf collimator
DTA	Distance to agreement
EDR2	Extended dose range
g	Gram
H&D curve	Hurter and Driffield curve

Abbreviation	Terms
HD	High density
IMRT	Intensity modulated radiation therapy
I ⁻	Ions of iodide
keV	Kiloelectronvoltage
LD	Low density
MD	Medium density
MU	Monitor unit
MV	Megavoltage
MLC	Multileaf collimator
min	Minute
mGy	Miligray
MAC	Mass attenuation coefficient
MeV	Megaelectronvolt
mm ²	Square millimeter
mm ³	Cubic millimeter
nC	Nanocoulomb
NTCP	Normal tissue complication probability
OD	Optical density
OAR	Organ at risk
PDD	Percent depth doses
QA	Quality assurance
SAD	Source axis distance

Abbreviation**Terms**

SMLC

Static multileaf collimator

SR

Stopping power ratio

SSD

Source surface distance

TCP

Tumor control probability

TLD

Thermoluminescent dosimeter

TPS

Treatment planning system

V

Voltage

 μ

Micro