การวิเคราะห์ราคาของวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบใช้น้ำธรรมดา โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

นายสุรศักดิ์ จิตจงยิ่งเจริญ

007596

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2525

ISBN 974-561-207-3

i18056143

LIGHT WATER REACTOR (LWR) NUCLEAR FUEL CYCLE COST ANALYSIS USING COMPUTER PROGRAMS

Mr. Surasak Jidjongyingchareon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Nuclear Technology

Graduate School

Chulalongkorn University

1982

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ราคาของวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบใช้น้ำธรรมดา โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย นายสุรศักดิ์ จิตจงยิ่งเจริญ

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุมิตร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ สุวรรณ์ แสงเพ็ชร์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิรุฬห์ มังคละวิรัช)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ยยากริต คิริฐปถัมภ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัชชัย สุมิตร)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ราคาของวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ สำหรับเครื่องปฏิกรณ์-ปรมาณูแบบใช้น้ำธรรมดา โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
ชื่อ	นายสุรศักดิ์ จิตจงยิ่งเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร
ภาควิชา	นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2524

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม "เบล์ท-5" ในการวิเคราะห์ราคาวัฏจักรเชื้อเพลิงนิวเคลียร์สำหรับเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบใช้น้ำธรรมดา โปรแกรมนี้ใช้สำหรับหาความเหมาะสมของวัฏจักร-เชื้อเพลิงที่ใช้ในโรงไฟฟ้าปรมาณู เช่น การหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวัฏจักร หรือแบทช์ไซซ์ (batch size) ที่เหมาะสมที่สุด โดยการศึกษาภาวะการจัดการเชื้อเพลิงในแกนกลางแรกเริ่ม และเชื้อเพลิงชุดที่เปลี่ยนใส่ในวัฏจักรต่อไปที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้ได้ราคาวัฏจักรเชื้อ-เพลิงที่ถูกที่สุดภายใต้ภาวะเข้าใกล้สมดุลย์ ทั้งนี้โดยใช้วิธีไดนามิคโปรแกรมมิงของเบลล์มานในการแก้ปัญหา โดยพิจารณาราคาวัฏจักรเชื้อเพลิงเป็น 9 องค์ประกอบ คือ ราคายูเรเนียม ราคาทำให้-เข้มข้น ราคาร์โพรเซสซิง และพลูโตเนียมเครดิต ในระหว่างเดินเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณู และของเชื้อเพลิงในแกนกลางของวัฏจักรเชื้อเพลิงสุดท้าย ราคาเชื้อเพลิงของพลังงานทดแทนในขณะเดิน-เครื่อง ยืดเวลาเดินเครื่อง และหยุดเครื่อง และราคาผลิตแท่งเชื้อเพลิง ราคาและพลังงานที่ผลิตขึ้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้ present worth factor

โปรแกรมนี้สามารถใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบต่าง ๆ ซึ่งมีหน่วยความจำอย่างน้อย 65k เวิร์ด และมีจานหรือดรัมแม่เหล็กช่วยในการบันทึกข้อมูล ทั้งนี้โดยการเปลี่ยนพารามิเตอร์ให้เหมาะสม

วิทยานิพนธ์ใช้เครื่อง IBM 370/138 และเครื่อง IBM 370/3031 ในการคำนวณ และได้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจ กล่าวคือ ราคาวัฏจักรที่คาดคะเนไว้ในปี คศ. 1990 (พ.ศ. 2533) โดยพิจารณาจากเครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบ BWR ขนาด 800-840 MW_e จะได้ค่าราคาวัฏจักร-เชื้อเพลิงปรมาณ 15.595 ถึง 18.957 mills/kWhr แล้วแต่กรณีและสามารถเปรียบเทียบได้กับราคาวัฏจักรเชื้อเพลิงที่เลือกเป็นมาตรฐานภายใต้เงื่อนไขที่คล้ายคลึงกัน

สำหรับในด้านการวิเคราะห์ พบว่าการจัดแกนกลางแรกเริ่มและต่อ ๆ ไป ค่ายูทิไล-เซชันแฟคเตอร์ของโรงไฟฟ้า ค่าเชื้อเพลิงของพลังงานทดแทน ระยะเวลาการเดินเครื่อง ระยะ-เวลาการหยุดเครื่อง มีบทบาทสำคัญมากต่อราคาวัฏจักรเชื้อเพลิงภายใต้เงื่อนไข actualization rate ที่คงที่

Thesis Title LIGHT WATER REACTOR (LWR) NUCLEAR FUEL CYCLE COST ANALYSIS USING COMPUTER PROGRAMS

Name Mr. Surasak Jidjongyingchareon

Thesis Advisor Assistant Professor Tatchai Sumitra, (Dr. Ing)

Department Nuclear Technology

Academic Year 1981

ABSTRACT

In this Thesis LWR fuel cycle cost was calculated by using BEST-5 computer code. The code was designed for fuel cycle optimization in nuclear power plant. Best initial core composition and subsequent reload strategies up to the equilibrium core given. Optimization are obtained from many choices and related with fuel cycle cost components, to get optimum fuel cycle cost at equilibrium state by using Bellman dynamic programming method. The fuel cycle cost was classified into 9 components ; i. e. :- uranium price, enrichment cost, reprocessing cost and plutonium credit during plant operation years and of the last cycle in-core fuel, replacement energy cost during plant operating, stretch-out and shut-down, and fabrication cost. The cost and generated energy were converted into present value by present worth factor.

This program can be used on UNIVAC-1108 and IBM 360-370 series, which have at least 65k words core storage and 1 disk or drum back-up

storage, by changing suitable parameters.

In this thesis IBM 370/138 and IBM 370/3031 computer were used. The fuel cycle costs estimated for a 800-840 MW_e Boiling Water Reactor planned to be in operation in 1990, were found to be about 15.595 - 18.957 mills/kWhr. These results seen to be resonable and comparable to the values obtained elsewhere under similar conditions.

It was also found that the initial and reload core configuration, plant utilization factor, replacement energy cost, plant operating year, shut-down duration could have much influence on the fuel cycle cost at the constant actualization rate condition.

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ สุมิตร แห่งภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ รวมทั้งการติดต่อกับต่างประเทศ และเป็นที่ปรึกษาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยดีตลอดมา และขอขอบคุณ คุณเพชรรัตน์ อารีรักษ์ คุณสุภร กอศิริ แห่งสถาบันบริการคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคุณวชิระ สุฤทธิ์วิญโญ แห่งศูนย์ประมวลผลด้วยเครื่องจักรแห่งประเทศไทย สำนักงานสถิติแห่งชาติ ที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในด้านคอมพิวเตอร์ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ Dr. Enrico Sartori, IAEA OFFICER, NEADB, NEA DATA BANK ประเทศฝรั่งเศสที่ช่วยกรุณาให้คำแนะนำและจัดส่งโปรแกรมบูลสีนฟังก์ชั่นมาให้ ซึ่งถ้าปราศจากความช่วยเหลือของท่านแล้ว วิทยานิพนธ์นี้จะสำเร็จสมบูรณ์ไม่ได้

สุรศักดิ์ จิตจงยิ่งเจริญ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ฉ

กิตติกรรมประกาศ..... ช

สารบัญ..... ฌ

รายการตารางประกอบ..... ญ

รายการรูปประกอบ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ..... 1

2 หลักการ ทฤษฎี และการคำนวณเกี่ยวกับวัฏจักรเชื้อเพลิง
และการวิเคราะห์ราคาวัฏจักรเชื้อเพลิง..... 19

3 การวิเคราะห์ราคาของวัฏจักรเชื้อเพลิงปรมาณูสำหรับ
เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูแบบใช้น้ำธรรมดาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์..... 56

4 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมเบสิก-5..... 94

5 สรุปและข้อเสนอแนะ..... 118

บรรณานุกรม..... 123

ภาคผนวก..... 125

ประวัติ..... 127

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
2.1-1	องค์ประกอบของราคาในการผลิตพลังงานประมาณ	21
2.1-2	รายละเอียดของเงินลงทุน	21
2.1-3	รายละเอียดของราคาการผลิตพลังงาน	22
2.2-1	ขั้นตอนของวัฏจักรเชื้อเพลิง	24
2.3-1	ผลการเปรียบเทียบการจัดการเชื้อเพลิงแบบ batch irradiation กับ scattering fueling	40
2.5-1	แสดงความสัมพันธ์สัญญลักษณ์ที่ใช้และสูตรสำเร็จในเรื่องค่าของเงินเปลี่ยนตามกาลเวลา	47
2.6-1	แสดงความสัมพันธ์ราคากับเวลาการใช้เชื้อเพลิง	52
3.6-1	ตารางแสดงข้อมูลที่ต้องป้อนเข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์	78-81
3.6-2	ตารางแสดงขอบเขตข้อมูล	82-83
3.7-1	JECL ที่ใช้กับเครื่อง IBM 370/138 ระบบ DOS	85
3.7-2	JECL ที่ใช้กับเครื่อง IBM 370/3031 ระบบ OS	86
3.8-1	โปรแกรมบูลลีนฟังก์ชั่นภาษาโฟร์แทรน	88
3.8-2	โปรแกรมบูลลีนฟังก์ชั่นภาษาแอสเซมเบลอร์	89-91
3.8-3	การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชั่น IAND, IOR และ ICOMPL จากการสันนิษฐานโปรแกรมภาษาโฟร์แทรนและโปรแกรมภาษาแอสเซมเบลอร์	92
4.2-1	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณกรณีที่ 1	96-99
4.2-2	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณกรณีที่ 2 (แสดงเฉพาะบัตรที่มีการแก้ไขต่างออกจากกรณีที่ 1)	99

ตารางที่ หน้า

4.2-3 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณกรณีที่ 3 (แสดงเฉพาะบัตรที่มีการแก้ไขต่างออกจากกรณีที่ 1)..... 99

4.2-4 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณกรณีที่ 4 (แสดงเฉพาะบัตรที่มีการแก้ไขต่างออกจากกรณีที่ 1)..... 99

4.2-5 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณกรณีที่ 5 (แสดงเฉพาะบัตรที่มีการแก้ไขต่างออกจากกรณีที่ 1)..... 99

4.3-1 แสดงผลการคำนวณที่ 1 (บางส่วน)..... 100-106

4.3-2 แสดงผลการคำนวณที่ 2 (บางส่วน)..... 107

4.3-3 แสดงผลการคำนวณที่ 3 (บางส่วน)..... 108

4.3-4 แสดงผลการคำนวณที่ 4 (บางส่วน)..... 109

4.3-5 แสดงผลการคำนวณที่ 5 (บางส่วน)..... 110

4.4-1 แสดงการจัดการเชื้อเพลิงและค่าเบี่ยนฮีทเฉลี่ย..... 111-112

4.5-1 สรุปผลการคำนวณ..... 117

ภาคผนวก ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณในกรณีที่ 1..... 125-126

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.3-1	ระบบการผลิตพลังงานของ BWR	5
1.3-2	ส่วนประกอบของ BWR	5
1.3-3	ชุดแท่งเชื้อเพลิง (BWR)	6
1.3-4	แลคทิซของแกนกลาง (BWR)	6
1.3-5	การจัดการเชื้อเพลิงในแกนกลาง (BWR)	7
1.3-6	แท่งควบคุม (BWR)	7
1.3-7	ระบบการผลิตพลังงานของ PWR	8
1.3-8	ระบบการระบายความร้อนของ PWR	8
1.3-9	ส่วนประกอบของ PWR	9
1.3-10	แท่งเชื้อเพลิง (PWR)	9
1.3-11	โครงสร้างของชุดเชื้อเพลิง (PWR)	10
1.3-12	การจัดการเชื้อเพลิงภายในแกนกลาง (PWR)	10
1.3-13	ชุดเชื้อเพลิงแสดงการมีและไม่มีแท่งควบคุม (PWR)	12
1.3-14	ระบบการผลิตพลังงาน CANDU-PHW	12
1.3-15	ส่วนประกอบของ CANDU-PHW	13
1.3-16	การควบคุมรีแอคติวิตีและความปลอดภัย (CANDU-PHW)	14
1.3-17	fuel channel (CANDU-PHW)	14
1.3-18	ระบบการผลิตพลังงาน CANDU-BLW	15
1.3-19	ส่วนประกอบของ CANDU-BLW	15
1.4-1	ระบบเชื้อเพลิง U-235, U-238 กับ P_u	17
1.4-2	ระบบเชื้อเพลิง U-235 กับ Th-232	17

รูปที่ หน้า

2.1-1 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตระหว่างโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงและโรงไฟฟ้าปรมาณู 22

2.2-1 หลักการทำให้เข้มข้น 26

2.3-1 การกระจายของ power density ของแกนกลาง 32

2.3-2 การเปลี่ยนที่ของเชื้อเพลิงในแกนกลาง 32

2.3-3 partial batch replacement or out-in fueling 34

2.3-4 scattering refueling 34

2.3-5 modified scattering refueling 40

2.5-1 ผังแสดงการจ่ายเงินเป็นอนุกรมและมีค่าเท่ากันตลอด 44

2.5.2 ผังแสดงระบบที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ 45

2.6-1 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลงทุนในวัฏจักรเชื้อเพลิงกับเวลา 53

3.4-1 แผนผังย่อแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมหลัก 70

3.4-2 แผนผังย่อแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมย่อยล้ำศัญ 71-72