หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ระบบขจัดกาก

โรงไฟฟ้าปรมาณูก็เป็นโรงงานอุตสาหกรรมประเภทหนึ่ง ย่อมจะต้องมีกากหรือของเสีย ซึ่งเกิดขึ้นมาจากขบวนการผลิตไฟฟ้าอย่างแน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กากหรือของเสียดังกล่าวเป็นสารกัมมันตรังสี มนุษย์อาจยอมรับอันตรายที่เกิดจากอุตสาหกรรมประเภทอื่น ยอมรับความเสียหายที่เกิดจากอุบัติเหตุ ภัยธรรมชาติ รวมทั้งกัมมันตรังสีที่ใช้ในทางการแพทย์ และที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น รังสีเอ็กซ์ และรังสีคอสมิก แต่มนุษย์จะไม่ยอมรับกัมมันตภาพรังสีที่เกิดจากอุตสาหกรรม แม้ว่าจะมีปริมาณน้อยเพียงใดก็ตาม ด้วยเหตุนี้โรงไฟฟ้าปรมาณูที่สร้างขึ้นในยุคหลัง ๆ จึงจำเป็นต้องมีระบบขจัดกากที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อให้เป็นไปตามแนวคิดใหม่ที่ว่า สารกัมมันตรังสีที่จะปล่อยออกมาจากโรงไฟฟ้า จะต้องอยู่ในระดับต่ำที่สุดเท่าที่อยู่ในวิสัยที่จะทำได้ ทั้งนี้ โดยที่อย่างน้อยจะต้องไม่มากกว่าระดับที่กำหนดไว้เดิม มาตรฐานทางรังสีซึ่งเป็นที่ยอมรับในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการป้องกันรังสีระหว่างประเทศ (The International Commission on Radiological Protection, ICRP) มีหน่วยเป็นความเข้มข้นสูงสุดของธาตุกัมมันตรังสีแต่ละธาตุที่ยอมให้มีในน้ำ และในอากาศ (Maximum Permissible Concentration, MPC) ตัวเลขที่กำหนดขึ้นนี้ ได้มาจากสมมติฐานที่ว่า คนมาตรฐานจะดื่มน้ำวันละ 2,500 ซีซี และหายใจเอาอากาศเข้าไปวันละ 2×10^7 ซีซี และอาศัยอยู่ในอาณาบริเวณใกล้กับโรงไฟฟ้าตลอดระยะเวลา 50 ปี โดยไม่ได้คำนึงถึงทิศทางลม สภาพของอากาศ หรือการไหลเวียนของกระแสน้ำ ซึ่งอาจจะพัดพาสารกัมมันตรังสีไปในทิศทางอื่น เพราะถือว่าเป็นองค์ประกอบที่เผื่อไว้เพื่อความปลอดภัย อย่างไรก็ดี ค่า MPC_w นี้พิจารณาเฉพาะการใช้น้ำดื่ม น้ำใช้ โดยตรงของมนุษย์เท่านั้น แต่สัตว์น้ำบางชนิด เช่น หอย หรือปลา อาจสะสมสารกัมมันตรังสีขึ้นภายในตัวมันเองได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากที่แห่งนั้นเป็นแหล่งอาหารด้วยแล้ว มนุษย์อาจจะได้รับสารรังสีเข้าไปมากกว่าที่ควร ดังนั้น การที่จะนำมาตรฐานทางรังสีที่ ICRP กำหนดขึ้นมาใช้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่น ค่า MPC ของไอโซโทปที่คัดเลือกไว้เพื่อการศึกษานี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-1 เพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารรังสีที่คำนวณไว้

ระบบขจัดกากของโรงไฟฟ้าปรมาณู แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามสถานะของกากที่ต้องการขจัด ได้แก่ ของเหลว แกส และของแข็ง

4.1 ระบบขจัดกากที่เป็นของเหลว

ระบบขจัดกากที่เป็นของเหลว ทำหน้าที่รวบรวมและดำเนินการขจัดกากของเหลวซึ่งมีกัมมันตภาพรังสี หรือมีท่าทีที่จะมีกัมมันตภาพรังสีด้วย การกรอง การกลั่น และการแยกสารรังสีออกจากของเหลวด้วยวิธีการทางเคมี (Ion Exchange) ของเหลวส่วนใหญ่ที่ผ่านการขจัดกากแล้วจะถูกนำไปใช้ในโรงไฟฟ้าอีก ทั้งนี้ เพื่อจำกัดปริมาณการปล่อยน้ำออกภายนอกให้น้อยที่สุด ส่วนกากที่เหลืออยู่จะถูกส่งไปที่ระบบขจัดกากที่เป็นของแข็ง เพื่อให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมสำหรับการนำไปเก็บกักต่อไป

4.1.1 อุปกรณ์ในระบบ

ก. ถังกักเก็บกาก (Waste Holdup Tank)

มีจำนวน 3 ถัง ขนาดความจุถังละประมาณ 32,000 แกลลอน ทำหน้าที่รวบรวมกากของเหลวจากการถ่ายน้ำทิ้งของเครื่องผลิตไอน้ำ น้ำล้างพื้นจากอาคารต่าง ๆ และน้ำจากการล้างเครื่องอุปกรณ์ในส่วนที่อยู่นอกอาคารเครื่องปฏิกรณ์ ของเหลวเหล่านี้จะถูกแยกประเภทในขั้นต้นตามความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ (Total Dissolved Solids, TDS) และความแรงของกัมมันตภาพรังสี

ข. ถังเก็บกักของเหลวจำพวกสารเคมี (Chemical Drain Tank)

มีจำนวน 1 ถัง ขนาดความจุประมาณ 2,000 แกลลอน ทำหน้าที่รวบรวมกากของเหลวจากห้องทดลองและน้ำจากการชำระล้างการเปรอะเปื้อนรังสี (Decontamination Drains)

ค. ถังเก็บกักน้ำจากการซักฟอก (Laundry Drain Tank)

มีจำนวน 1 ถัง ขนาดความจุประมาณ 5,000 แกลลอน ทำหน้าที่รวบรวมน้ำจากการซักเสื้อผ้าหรือเสื้อคลุมที่ใช้ในการปฏิบัติงานภายในโรงไฟฟ้า และน้ำอาบของพนักงาน

ง. ถังแยกแกส (Flash Tank)

มีจำนวน 1 ถัง ขนาดความจุประมาณ 400 แกลลอน ทำหน้าที่ลดความดัน อุณหภูมิ และปริมาตร ของน้ำที่ถ่ายทิ้งจากเครื่องผลิตไอน้ำ ส่วนไอน้ำและแกสที่ผสมอยู่จะถูกส่งไปที่เครื่องควบแน่น เพื่อขจัดเอาน้ำออก ส่วนแกสก็จะถูกส่งไปยังระบบขจัดกากที่เป็นแกสต่อไป

จ. ถังตรวจสอบกากเข้มข้น (Concentrate Monitor Tank)

มีจำนวน 2 ถัง ขนาดความจุประมาณถังละ 3,000 แกลลอน ทำหน้าที่รวบรวมกากของเหลวเข้มข้นที่เหลืออยู่จากเครื่องกลั่น เพื่อทำการวิเคราะห์และตรวจสอบ ก่อนที่จะถูกส่งไประบบขจัดกากของแข็ง ซึ่งจะได้ทำให้เป็นของแข็งในรูปที่เหมาะสมต่อการนำไปทิ้งที่สถานเก็บกากต่อไป

ฉ. ถังตรวจสอบน้ำที่จะหมุนเวียนไปใช้ใหม่ (Recycle Water Monitoring Tank)

มีจำนวน 2 ถัง ขนาดความจุประมาณถังละ 32,000 แกลลอน ทำหน้าที่รวบรวมน้ำคุณภาพดีที่ผ่านระบบขจัดกากมาแล้วทั้งหมด เพื่อการวิเคราะห์หาคุณภาพของน้ำที่จะนำไปใช้ใหม่

ช. เครื่องระเหย (Waste Evaporator)

มีจำนวน 1 เครื่อง ความสามารถในการทำงานขนาด 35 แกลลอนต่อนาที ทำหน้าที่แยกเอาสารละลายหรือของแข็งที่ผสมอยู่ในน้ำออกด้วยการระเหย

ซ. เครื่องแยกสารละลายด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุแบบผสม (Mixed Bed Ion Exchanger)

มีจำนวน 2 เครื่อง ต่อเป็นอนุกรม ความสามารถในการทำงานขนาด 135 แกลลอนต่อนาที ทำหน้าที่แยกเอาสารละลายที่ผสมอยู่ในน้ำออกด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุ ประกอบด้วย Cations และ Anions อยู่ในเครื่องเดียวกัน

ฌ. แอคติเวตเตด คาร์บอน เบด (Activated Carbon Bed)

มีจำนวน 1 เครื่อง ความสามารถในการทำงานขนาด 25 แกลลอนต่อนาที ทำหน้าที่ดูดซับสารจำพวกออร์แกนนิค (Organics) และผงซักฟอกออกจากน้ำ

ญ. เครื่องกรอง (Filter)

มีจำนวน 5 ชุด ทำหน้าที่กรองชิ้นส่วนของของแข็งที่มีอยู่ในน้ำ โดยติดตั้งตามส่วนต่าง ๆ ของระบบดังนี้ คือ ติดตั้งส่วนหลังของถังเก็บกักของเหลวจำพวกสารเคมี และถังเก็บกักน้ำจากการซักฟอก 1 ชุด ติดตั้งก่อนที่จะเข้าเครื่องระเหย 1 ชุด ติดตั้งก่อนที่จะเข้าเครื่องแยกสารละลายด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุแบบผสม 2 ชุด (โดยทำงานครั้งละชุด) และติดตั้งก่อนที่จะเข้าถังตรวจสอบน้ำที่จะหมุนเวียนไปใช้ใหม่ 1 ชุด

ประสิทธิภาพ หรือ Decontamination Factor ของเครื่องระเหย และเครื่องแยกสารละลายด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุที่มีต่อสารกัมมันตรังสีต่าง ๆ นั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-2 ส่วน แอคติเวตเตด คาร์บอน เบด และเครื่องกรองนั้น ไม่มีผลโดยตรงต่อการขจัดกากกัมมันตรังสี

4.1.2 แหล่งที่มาของกากของเหลวและขั้นตอนในการขจัดกาก

ก. การถ่ายน้ำทิ้งจากเครื่องผลิตไอน้ำ (Steam Generator Blow-down) นาทีละ 10 แกลลอน เพื่อกำจัดสารที่เกิดจากการสึกกร่อนและสารกัมมันตรังสีที่เล็ดลอดออกมาจากวงจรแรก น้ำทิ้งเหล่านี้จะผ่านถังแยกแกส เพื่อแยกเอาแกสออก และทำให้ความดันกับอุณหภูมิต่ำลง ก่อนที่จะส่งไปเก็บที่ถังพักเก็บกาก (Waste Holdup Tank) ทั้ง 3 ถัง โดยแยกประเภทตามความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายอยู่ (TDS) หรือความแรงของกัมมันตภาพรังสี น้ำที่มี TDS สูง โดยทั่วไปจะผ่านเครื่องกรองและเครื่องระเหยก่อน กากเข้มข้นที่เหลือจากการระเหย จะถูกส่งไปยังถังตรวจสอบกากเข้มข้น เพื่อเก็บกักและวิเคราะห์ก่อนที่จะส่งไปทำให้เป็นของแข็งในรูปที่เหมาะสมต่อการนำไปทิ้งที่สถานเก็บกักกากต่อไป ส่วนน้ำกลั่นจากเครื่องระเหยจะถูกส่งผ่านเครื่องแยกสารละลายด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุ เครื่องกรอง และไปเก็บที่ถังตรวจสอบน้ำที่จะหมุนเวียนไปใช้ใหม่ (Recycle Water Monitoring Tank) เพื่อตรวจสอบคุณภาพก่อนที่จะนำไปใช้ใหม่ในโรงไฟฟ้า หรือจะระบายทิ้งออกสู่ภายนอก

สำหรับน้ำที่มี TDS ต่ำ จะถูกส่งผ่านเครื่องกรอง และเครื่องแยกสารละลายด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุ ก่อนที่จะนำมาใช้ใหม่ หรือระบายทิ้งออกสู่ภายนอก

ข. น้ำล้างพื้น (Floor Drains)

น้ำล้างพื้นจากอาคารต่าง ๆ ที่คาดว่ามี TDS สูง ส่วนมากจะมีปริมาณน้อย น้ำเหล่านี้โดยทั่วไปจะถูกส่งไปที่ถังกักเก็บกากเช่นเดียวกับน้ำที่ถ่ายทิ้งจากเครื่องผลิตไอน้ำ และขจัดกากด้วยเครื่องระเหย

น้ำจากพื้นอาคารกังหัน (Turbine Building Floor Drains) มักจะมี TDS และสารกัมมันตรังสีในระดับต่ำ โดยทั่วไปจะระบายทิ้งออกสู่ภายนอกโดยตรง แต่หากเครื่องตรวจรังสี ซึ่งคอยวัดอยู่ตรงทางออกพบว่า กัมมันตภาพรังสีมีมากกว่าที่กำหนดก็จะมีสัญญาณเตือนภัย และมีระบบอัตโนมัติที่จะปิดทางออก น้ำเหล่านี้จะถูกส่งกลับไปที่ถังกักเก็บกาก เพื่อส่งต่อให้ระบบขจัดซึ่งโดยทั่วไปก็จะผ่านการกรองและ Ion Exchange น้ำที่ผ่านการขจัดกากแล้วจะถูกนำไปใช้ใหม่

ค. ของเหลวจำพวกสารเคมี (Chemical Drains)

ของเหลวจากห้องทดลองซึ่งอาจมีสารกัมมันตรังสี และตัวอย่างกากของเหลวที่นำมาวิเคราะห์ รวมทั้งน้ำจากการชำระล้างการเปรอะเปื้อนรังสีตามแหล่งต่าง ๆ จะถูกส่งไปรวมไว้ที่ถังเก็บกักของเหลวจำพวกสารเคมี เพื่อทำการวิเคราะห์หาความแรงของกัมมันตภาพรังสี และประเภทของสารเคมี ก่อนที่จะส่งผ่านเครื่องกรอง และ แอคติเวตเตด คาร์บอน เบด และขจัดกากด้วยการทำระเหย และ/หรือ แยกสารละลายด้วยวิธีแลกเปลี่ยนประจุของเหลวที่ผ่านการขจัดกากแล้วส่วนใหญ่จะนำไปใช้ใหม่ ของเหลวจำพวกสารเคมีนี้ อาจส่งโดยตรงไปที่ระบบขจัดกากของแข็งได้ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับประเภทของสารเคมีที่ผสมอยู่

ง. น้ำจากการซักฟอก (Laundry Drains)

น้ำจากการซักเสื้อผ้า และน้ำจากการชำระล้างร่างกายของพนักงานที่อาจจะเปื้อนรังสี จะถูกส่งไปรวมไว้ที่ถังเก็บกักน้ำจากการซักฟอก เพื่อตรวจวัดความแรงของกัมมันตภาพรังสี น้ำจากการซักฟอกส่วนใหญ่ มีระดับรังสีต่ำมาก โดยทั่วไปจะส่งผ่านเครื่องกรอง และ แอคติเวตเตด คาร์บอน เบด ก่อนที่จะระบายออกสู่ภายนอก แต่หากเครื่องวัดพบว่า น้ำเหล่านี้มีรังสีสูงกว่าขีดที่กำหนด ก็จะถูกส่งไปผ่านระบบขจัดกาก เช่นเดียวกับของเหลวจำพวกสารเคมี

ระบบขจัดกากที่เป็นของเหลวและขั้นตอนในการทำงานได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-1, 4-2 และ 4-3

4.1.3 จุดปล่อยน้ำทิ้ง

น้ำที่จะปล่อยทิ้งออกสู่สภาพแวดล้อมจากแหล่งต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้า เช่น น้ำจากพื้นอาคารกังหันน้ำจากการซักฟอก และน้ำจากถังตรวจสอบน้ำที่จะนำไปใช้ใหม่ เหล่านี้จะถูกนำมารวบรวมไว้เพื่อตรวจวัดรังสี และทำให้เจือจางด้วยน้ำที่ใช้ระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ก่อนที่จะปล่อยออกทางท่อระบายน้ำทิ้ง ซึ่งมีเพียงแห่งเดียว น้ำที่นำมาทำให้เจือจางนั้นมีอัตราไหลอย่างน้อยประมาณ 2,000 แกลลอนต่อนาที ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของกากของเหลวลดลงประมาณครึ่งหนึ่ง

ผลการคำนวณความเข้มข้นของสารรังสีต่าง ๆ ในกากของเหลวที่จะปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อมจากแหล่งต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4-4 โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 3-5, 4-2 และ 4-3

4.2 ระบบขจัดกากที่เป็นแกส

ระบบขจัดกากที่เป็นแกส ทำหน้าที่รวบรวมแกสจากแหล่งต่าง ๆ เช่น จากระบบขจัดกากของเหลว และอากาศภายในอาคารต่าง ๆ และดำเนินการขจัดกากด้วยวิธีกรองและการเก็บกักให้สารรังสีสลายตัวไป จนอยู่ในระดับต่ำ ก่อนที่จะปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม ก็มีการดูดอากาศจากที่อื่นมาผสมให้เจือจาง และหากเครื่องวัดตรงจุดปล่อยพบว่า ระดับรังสียังสูงอยู่ก็จะปิดทางออกโดยอัตโนมัติ และส่งแกสเหล่านั้นกลับไปเก็บกักใหม่

4.2.1 อุปกรณ์ในระบบ

ก. ถังแยกน้ำจากแกส (The Waste Gas Surge Tank)

มีจำนวน 1 ถัง ขนาดความจุ 500 ลูกบาศก์ฟุต ทำงานที่ความดัน 1.5 - 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีหน้าที่แยกเอาน้ำที่ปนมาในแกสออก เพื่อลดปริมาตร และเพื่อลดอัตราการทำงานของเครื่องอัดแกส (Waste Gas Compressor) ลงด้วย

ข. เครื่องอัดแกส (Waste Gas Compressors)

มีจำนวน 2 เครื่อง ทำงานที่ความดัน 1.5 ถึง 500 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว มีหน้าที่อัดแกสเข้าไปเก็บในถังเพื่อรอให้สารรังสีสลายตัว เครื่องอัดแกสนี้จะทำงานทีละเครื่องโดยเอาเครื่องที่เหลืออยู่เป็นสำรอง

ค. ถังเก็บแกส (The Waste Gas Decay Tanks)

มีจำนวน 5 ถัง ขนาดความจุถังละ 500 ลูกบาศก์ฟุต ทำงานที่ความดัน ตั้งแต่ 1.5 ถึง 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถังเก็บแกสทั้งหมดมีความจุมากพอที่จะเก็บแกสเอาไว้ได้ไม่น้อยกว่า 60 วัน เพื่อให้สารรังสีสลายตัว ก่อนที่จะปล่อยออกสู่ภายนอก

ง. เครื่องกรอง (The Filters)

ทำหน้าที่กรองเอาฝุ่นละออง และไอโอดีนออกจากแกสก่อนที่จะปล่อยออกสู่ภายนอก

จ. เครื่องป้องกันการลุกไหม้ (The Flame Arrester)

กากที่มีรังสีสูงมักจะมีแกสไฮโดรเยน ซึ่งแยกตัวออกจากน้ำเนื่องจากอยู่ในสนามรังสีปะปนอยู่ด้วย หากแกสไฮโดรเยนสะสมขึ้นมาจนถึงระดับหนึ่ง จะทำปฏิกริยากับอากาศหรือแกสออกซิเจน ทำให้เกิดการลุกไหม้และระเบิดขึ้น จึงต้องมีเครื่องวัดคอยตรวจสอบจำนวนแกสไฮโดรเยนอยู่ตลอดเวลา หากพบว่าแกสไฮโดรเยนเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอันตราย เครื่องป้องกันการลุกไหม้จะฉีดแกสไนโตรเยนเข้าไปทำให้เจือจาง

4.2.2 แหล่งที่มาของกากและขั้นตอนของการขจัด

แหล่งที่มาของกากที่เป็นแกส อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามความแรงของกัมมันตภาพรังสี คือ

ก. กากที่มีรังสีและไฮโดรเยนสูงได้มาจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- ถังรับน้ำจากเครื่องปฏิกรณ์ (Reactor Drain Tank)
- ถังรับน้ำล้างอุปกรณ์ (Equipment Drain Tank)
- ถังแยกแกส (Degasifier)
- ถังควบคุมปริมาตร (Volume Control Tank)

แกสจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกรวบรวมไว้ที่ท่อร่วม (The Gas Surge Header) ก่อนที่จะส่งผ่านเครื่องป้องกันการลุกไหม้ เพื่อไปเก็บไว้ที่ถังแยกน้ำจากแกส เมื่อความดันของแกสในถังเพิ่มขึ้นถึง 3 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เครื่องอัดแกสก็จะทำงานเพื่ออัดแกสไปเก็บไว้ที่ถังเก็บแกส จนกระทั่งความดันของแกสในถังแยกน้ำจากแกสลดลงถึง 1.5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เครื่องอัดแกสจึงหยุดทำงาน สำหรับถังเก็บแกสนี้จะใช้งานครั้งละถังโดยทำงานอิสระแยกจากถังอื่น ๆ เผื่อในกรณีที่มีอุบัติเหตุเกิดการรั่วไหลก็จะมีแกสกัมมันตรังสีออกมาเพียงถังเดียว ภายหลังจากที่กักแกสเอาไว้เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 60 วัน เพื่อให้สารรังสีส่วนใหญ่สลายตัวไป จึงค่อยปล่อยออกสู่บรรยากาศในขณะที่มีสภาวะอากาศเหมาะสม เช่น มีกระแสลมพัดไปทางทิศที่ไม่มีผู้คนอาศัยหรืออากาศกำลังโปร่ง มีการแพร่กระจายได้ดี เป็นต้น และก่อนที่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศ แกสนี้จะต้องผ่านเครื่องกรอง ทำให้เจือจางด้วยอากาศที่หมุนเวียนอยู่ภายในอาคาร และสุดท้ายจะต้องผ่านเครื่องวัดรังสี ซึ่งหากพบว่ามีระดับสูงกว่าที่กำหนดก็จะต้องส่งไปเก็บที่ถังเก็บแกสต่อไปอีก

ข. กากที่มีรังสีต่ำ ได้จากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- ถังต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบขจัดกากของเหลวรวมทั้งคอนเดนเซอร์ของเครื่องระเหยด้วย
- ถังเก็บเรซิ่น (Spent Resin) ที่ใช้แล้ว และถังตรวจวัดกรดบอริค ตลอดจนถังต่าง ๆ ในระบบสกัดโบรอน (Boron Recovery System)
- อากาศจากระบบขจัดกากที่เป็นของแข็ง
- อากาศที่ถ่ายเทภายในอาคารต่าง ๆ

แกสที่มีรังสีต่ำเหล่านี้จะถูกรวบรวมไว้ที่ท่อร่วม โดยทั่วไปจะปล่อยออกสู่ภายนอก โดยการทำให้เจือจาง ผ่านเครื่องกรองและสุดท้ายจะต้องผ่านเครื่องวัดเพื่อป้องกันมิให้ปล่อยรังสีเกินขีดกำหนด

ระบบขจัดกากที่เป็นแกสได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-4

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

4.2.3 จุดปล่อยแกส

การระบายกากที่เป็นแกสออกสู่บรรยากาศภายนอกโรงไฟฟ้าแบบ PWR นั้น อาศัยปล่องระบายอากาศที่อยู่บนหลังคาของแต่ละอาคาร ดังนี้

ก. อากาศภายในอาคารคลุมเครื่องปฏิกรณ์และอาคารทั่วไป ระบายออกทางที่ระบายอากาศของโรงไฟฟ้า (The Plant Vent) ที่ระดับความสูงประมาณ 200 ฟุต

ข. แกสจากคอนเดนเซอร์และกังหันระบายออกทางหลังคาอาคารกังหันที่ระดับความสูงประมาณ 235 ฟุต

ค. อากาศภายในอาคารกังหัน ระบายออกทางท่อระบายอากาศของอาคารที่ระดับความสูงประมาณ 235 ฟุต

ง. แกสจากระบบขจัดกาก ระบายออกทางท่อระบายของอาคารขจัดกาก (Radwaste Building) ที่ระดับความสูงประมาณ 155 ฟุต

ผลการคำนวณความเข้มข้นของสารรังสีที่เป็นแกสจากแหล่งต่าง ๆ ณ ที่จุดปล่อยออกสู่สภาพแวดล้อม แสดงไว้ในตารางที่ 4-6 โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 3-5, 4-3 และ 4-5

4.3 ระบบขจัดกากที่เป็นของแข็ง

ระบบขจัดกากที่เป็นของแข็ง ทำหน้าที่รวบรวมกากที่เป็นของแข็ง เช่น พวกเรซิ่น ไส้กรอง รวมทั้งของเหลวเข้มข้นจากเครื่องระเหย เพื่อทำให้เป็นของแข็งที่เหมาะสม (Solidify) หรือบรรจุลงในถัง (Drum) เพื่อขนส่งไปยังสถานที่เก็บกากต่อไป

4.3.1 อุปกรณ์ในระบบ

ก. ถังบรรจุกาก (Drums)

มีขนาดความจุ 55 แกลลอน ทำหน้าที่เป็นภาชนะสำหรับรับกากของแข็ง ทั้งที่ต้องทำให้เป็นของแข็งที่เหมาะสม (Solidify) และของแข็งที่ต้องอัด (Baler)

ข. เครื่องบรรจุ (Fill Header Assembly)

ชุดเครื่องบรรจุประกอบด้วยท่อสำหรับบรรจุและหัววัดระดับน้ำ (The Liquid Level Sensing Device)ทำหน้าที่บรรจุของเหลวที่ส่งมาจากเครื่องวัด (Metering Device) ลงไปในถังบรรจุกากและระบายอากาศในถังไปยังระบบขจัดกากที่เป็นแกส การบรรจุนี้ควบคุมโดยอัตโนมัติด้วยระดับของเหลวในถัง

ค. เครื่องวัด (Metering Device)

ชุดเครื่องวัด ประกอบด้วย ปั๊มป์, สายพานสำหรับการขนส่ง, มอเตอร์, ท่อ และลิ้นต่าง ๆ เครื่องวัดทำหน้าที่วัดและควบคุมการไหลของกากและวัสดุที่ใช้ทำให้แข็งตัวได้ เช่น ซีเมนต์ เพื่อส่งไปที่เครื่องบรรจุ

ง. เครื่องผสม (Mixer)

เครื่องผสมทำให้ที่ผสมกากและวัสดุที่ทำให้แข็งตัว ให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนส่งไปเครื่องบรรจุ

จ. เครื่องอัด (Baler)

เครื่องอัดทำหน้าที่อัดของแข็งบางชนิดที่มีระดับรังสีต่ำ เช่น กระดาษ เสื้อผ้าและถุงมือ ซึ่งกากของแข็งเหล่านี้ไม่ต้องนำไปผ่านกรรมวิธีทำให้เป็นของแข็งที่เหมาะสมที่กล่าวแล้วข้างต้น หน้าที่ที่สำคัญของเครื่องอัดก็คือ เพื่อลดปริมาตรของกากให้เล็กที่สุด

4.3.2 แหล่งที่มาของกาก และขั้นตอนของการขจัด

ก. เรซิ่นที่ใช้แล้ว จากระบบควบคุมปริมาตร ระบบขจัดกากของเหลว และจากระบบสกัดโบรอน

ข. ของเหลวเข้มข้นที่เหลือจากเครื่องระเหยในระบบขจัดกากของเหลว

ค. ไส้กรอง จากระบบขจัดกากที่เป็นแกสและของเหลว

ง. แอคติเวตเตด คาร์บอน เบด จากระบบขจัดกากของเหลว

จ. ของแข็งจำพวกกระดาษ เสื้อผ้า และถุงมือ

นอกจากนี้ กากของเหลวจากถังเก็บของเหลวจำพวกสารเคมี และจากถังน้ำซักฟอก ซึ่งโดยปกติจะถูกส่งไประบบขจัดกากของเหลวนั้น ก็อาจส่งผ่านมาระบบขจัดกากของแข็งได้

โดยทั่วไปกากจากแหล่งต่าง ๆ นอกจากข้อ ข้อ จ. จะถูกนำส่งไปผสมกับวัสดุที่ทำให้แข็งตัว เพื่อบรรจุในถังบรรจุกาก ส่วนของแข็งในข้อ ข้อ จ. จะถูกนำส่งไปอัดบรรจุในถังบรรจุกากโดยตรง และส่งไปเก็บยังสถานที่เก็บกากต่อไป ขั้นตอนในการทำงานได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-5

ตารางที่ 4-1

ค่าความเข้มข้นสูงสุดของไอโซโทปที่กำหนดโดย ICRP
สำหรับ Occupational Exposure for 168 hr week

หน่วย: $\mu Ci/cm^3$

ไอโซโทป	MPC ในน้ำ	ไอโซโทป	MPC ในอากาศ
Sr 89	1 (-4)*	Kr 85 m	1 (-6)
Sr 90	4 (-6)	Kr 85	3 (-6)
Ru 103	8 (-4)	Kr 87	2 (-7)
Ru 106	1 (-4)	Xe 133	3 (-6)
Te 129	8 (-3)	Xe 135	1 (-6)
I 129	4 (-6)	I 129	6 (-10)
I 131	2 (-5)	I 131	3 (-9)
I 133	7 (-5)	I 133	1 (-8)
I 135	2 (-4)	I 135	4 (-8)
Cs 134	9 (-5)		
Cs 137	2 (-4)		
Co 60	5 (-4)		
Co 58	1 (-3)		
Mn 54	1 (-3)		
Cr 51	2 (-2)		
Fe 59	6 (-4)		

หมายเหตุ * ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวยกกำลังของสิบ

ตารางที่ 4-2

Decontamination Factors (DF)

ประเภท	DF
เครื่องระเหย	
Noble Gases	1
Iodine	10^3
ธาตุอื่น ๆ	10^4
เครื่องแลกเปลี่ยนประจุ	
Cations	$10^2(10)^*$
Anions	$10^2(10)$
Cs, Rb	10 (2)
Xe, Kr, Mo, Y และ Corrosion Product	1 (1)

หมายเหตุ * ตัวเลขในวงเล็บเป็นค่า DF ของเครื่องแลกเปลี่ยนประจุเครื่องที่สอง ซึ่งต่อเป็นอนุกรมกับเครื่องแรก

ตารางที่ 4-3

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้คำนวณ Activity ในวงจรที่สอง

อัตรารั่วจากวงจรแรกไปวงจรที่สองที่เครื่องผลิตไอน้ำ, ปอนด์ต่อวัน	=	110
อัตราไหลของไอน้ำ, ปอนด์ต่อชั่วโมง	=	8.14×10^6
Partition Factor ของเครื่องผลิตไอน้ำสำหรับ Noble Gases	=	1
Iodine, Fission และ Corrosion Products	=	0.0025
น้ำจากการซักฟอก, เศษส่วนของ Activity ในวงจรแรก	=	2.69×10^{-6}

ตารางที่ 4-4

Specific Activity ในกากของเหลวที่จุดปล่อย

หน่วย: $\mu Ci/cm^3$

ไอโซโทป	น้ำจากอาคารกังหัน	น้ำจากการซักฟอก	น้ำจากถังตรวจสอบเพื่อหมุนเวียนไปใช้ใหม่
Rb 89	1.01 (-7)*	4.85 (-7)	2.02 (-10)
Sr 89	4.08 (-9)	1.95 (-8)	1.63 (-13)
Sr 90	8.78 (-11)	4.20 (-10)	3.51 (-15)
Ru 103	1.57 (-9)	7.51 (-9)	6.28 (-14)
Ru 106	4.12 (-11)	1.97 (-10)	1.65 (-15)
Te 129	3.96 (-8)	1.90 (-7)	1.58 (-12)
I 129	3.40 (-14)	1.62 (-13)	1.36 (-17)
I 131	5.13 (-6)	2.45 (-5)	2.05 (-9)
I 133	8.33 (-6)	3.98 (-5)	3.33 (-9)
I 135	2.11 (-6)	1.01 (-5)	8.44 (-10)
Cs 134	5.55 (-7)	2.65 (-6)	1.11 (-9)
Cs 137	1.08 (-7)	5.14 (-7)	2.16 (-10)
Co 60	1.67 (-10)	8.00 (-10)	6.68 (-12)
Co 58	7.12 (-10)	3.45 (-9)	2.88 (-11)
Mn 54	5.69 (-11)	2.72 (-10)	2.28 (-12)
Cr 51	4.57 (-10)	2.18 (-9)	1.83 (411)
Fe 59	5.14 (-11)	2.46 (-10)	2.06 (-12)

หมายเหตุ * ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวยกกำลังของสิบ

ตารางที่ 4-5

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้คำนวณ Activity ของแกส

Air Ejector

อัตราไหลของไอน้ำ, ปอนด์ต่อชั่วโมง = 8.14×10^6

แกสรังสีที่แยกจากไอน้ำ, เศษส่วนของ Activity ในไอน้ำ

Noble Gases = 1

Iodine = 5×10^{-4}

ประสิทธิภาพของ Charcoal Filter สำหรับ Iodine, % = 90

อัตราไหลของอากาศที่ปล่องระบาย, ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที = 10,000

Turbine Building

อัตรารั่วของไอน้ำ, ปอนด์ต่อชั่วโมง = 340

แกสรังสีทุกชนิดที่แยกจากไอน้ำ = 1

อัตราไหลของอากาศที่ปล่องระบาย, ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที = 110,000

จำนวนปล่องระบายอากาศ = 3

Auxiliary Building

แกสรังสีส่วนใหญ่ได้มาจากการรั่วไหลของระบบควบคุมเคมีและปริมาตร (Chemical and Volume Control System) ดังนั้น จึงใช้ค่า Specific Activity ในน้ำระบายความร้อนวงจรแรก

อัตรารั่ว, ปอนด์ต่อวัน = 160

แกสรังสีที่แยกจากน้ำ, เศษส่วนของ Activity ในน้ำ

Noble Gases = 1

Iodine = 0.001

อัตราไหลของอากาศที่ปล่องระบาย, ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที = 50,000

ตารางที่ 4-6

Specific Activity ในแกสที่จุดปล่อย

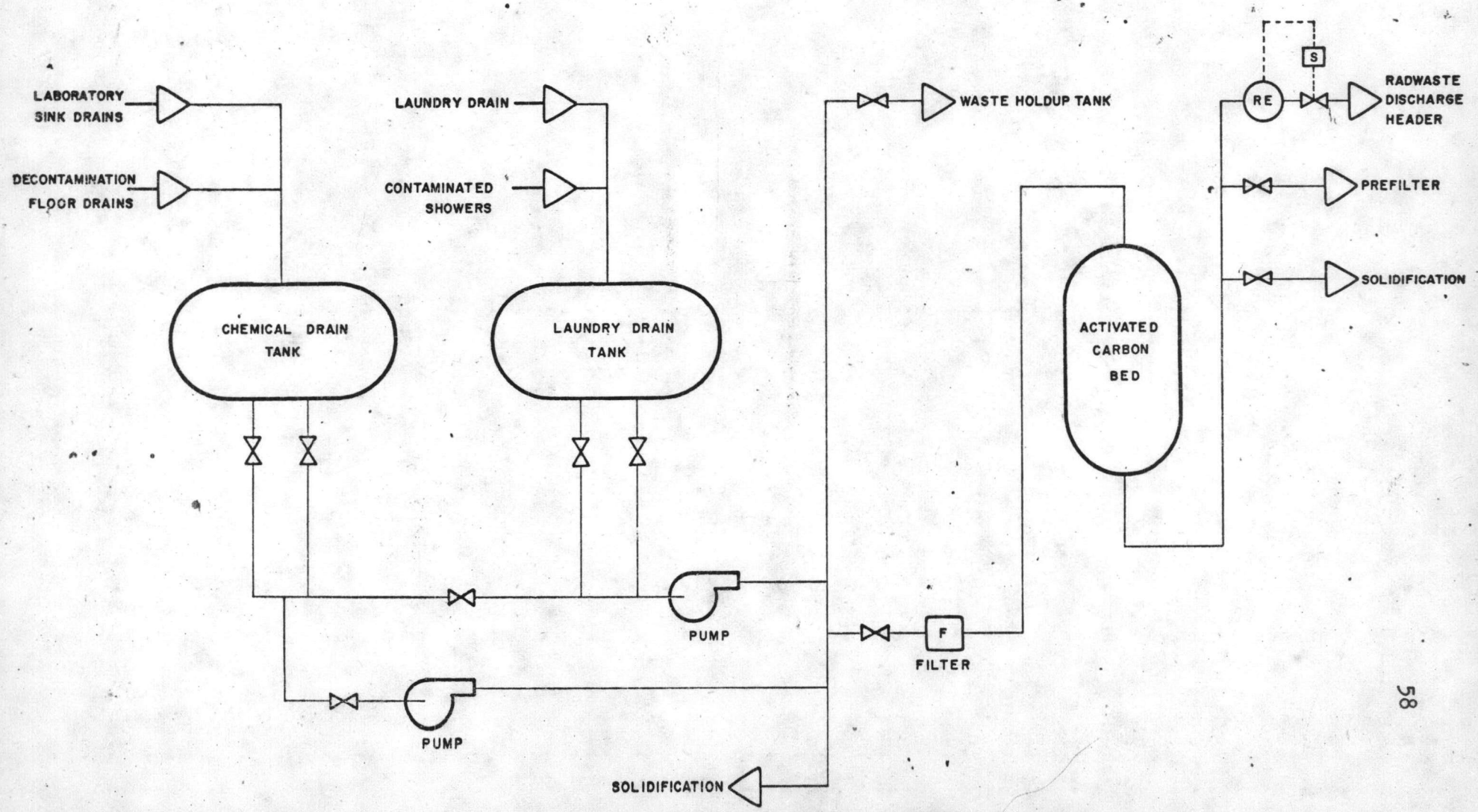
หน่วย : $\mu Ci/cm^3$

ไอโซโทป	แกสจาก Condenser Air Ejector	อากาศที่ระบายจาก Turbine Building	อากาศที่ระบายจาก Auxiliary Building
Kr 85 m	1.85 (-6)*	2.34 (-12)	5.38 (-7)
Kr 85	5.24 (-6)	6.63 (-12)	1.52 (-6)
Kr 87	9.75 (-7)	1.23 (-12)	2.84 (-7)
Kr 88	1.90 (-6)	2.40 (-12)	5.52 (-7)
Xe 133	5.37 (-4)	6.80 (-10)	1.56 (-4)
Xe 135	3.84 (-6)	4.86 (-12)	1.12 (-6)
I 129	3.69 (-19)	9.34 (-21)	2.15 (-18)
I 131	5.57 (-11)	1.41 (-12)	3.24 (-10)
I 133	9.05 (-11)	2.29 (-12)	5.27 (-10)
I 135	2.29 (-11)	5.81 (-13)	1.33 (-10)

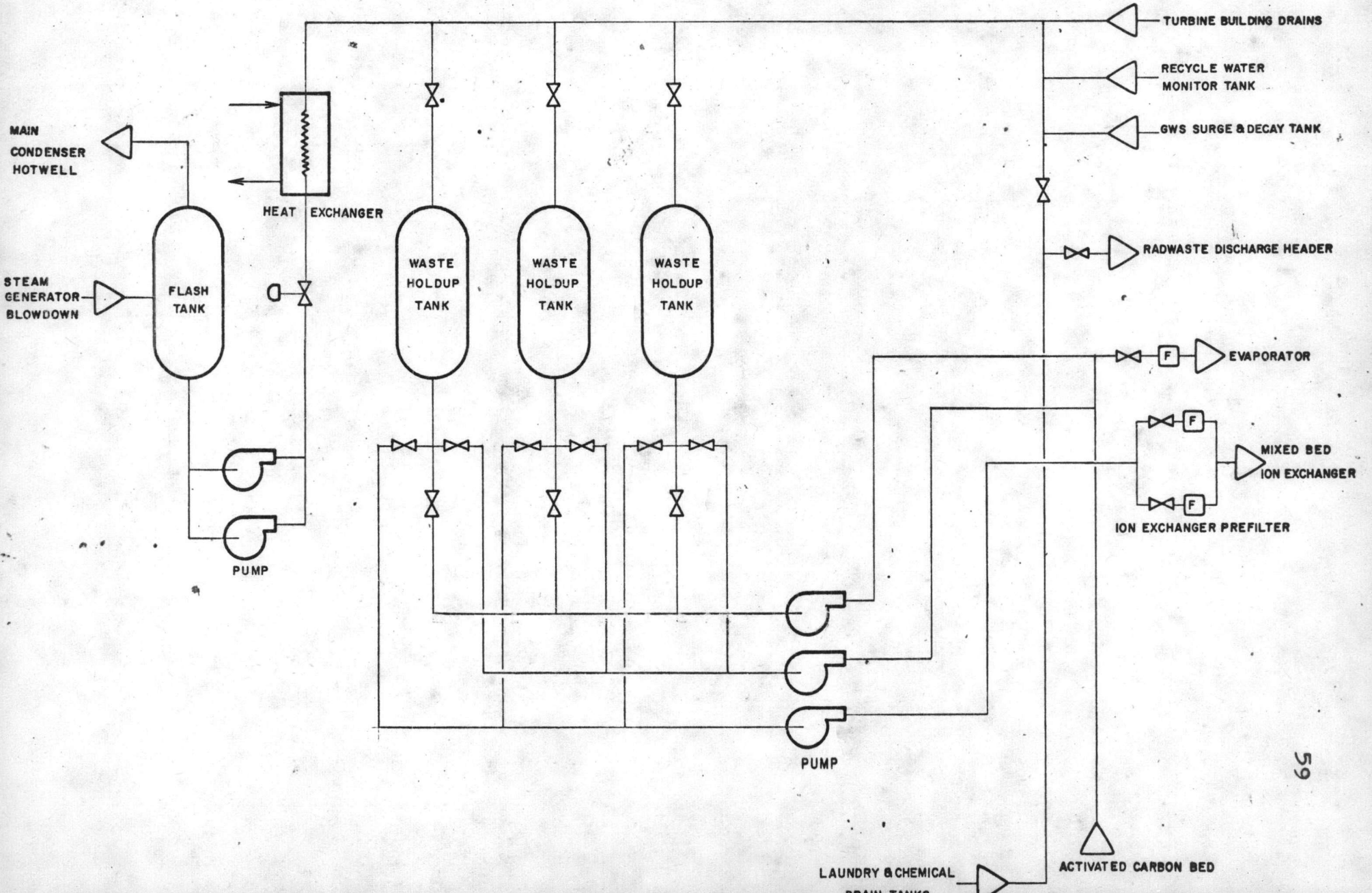
หมายเหตุ * ตัวเลขในวงเล็บเป็นตัวยกกำลังของสิบ

รูปที่ 4-1

ระบบขจัดกากของเหลว (1)

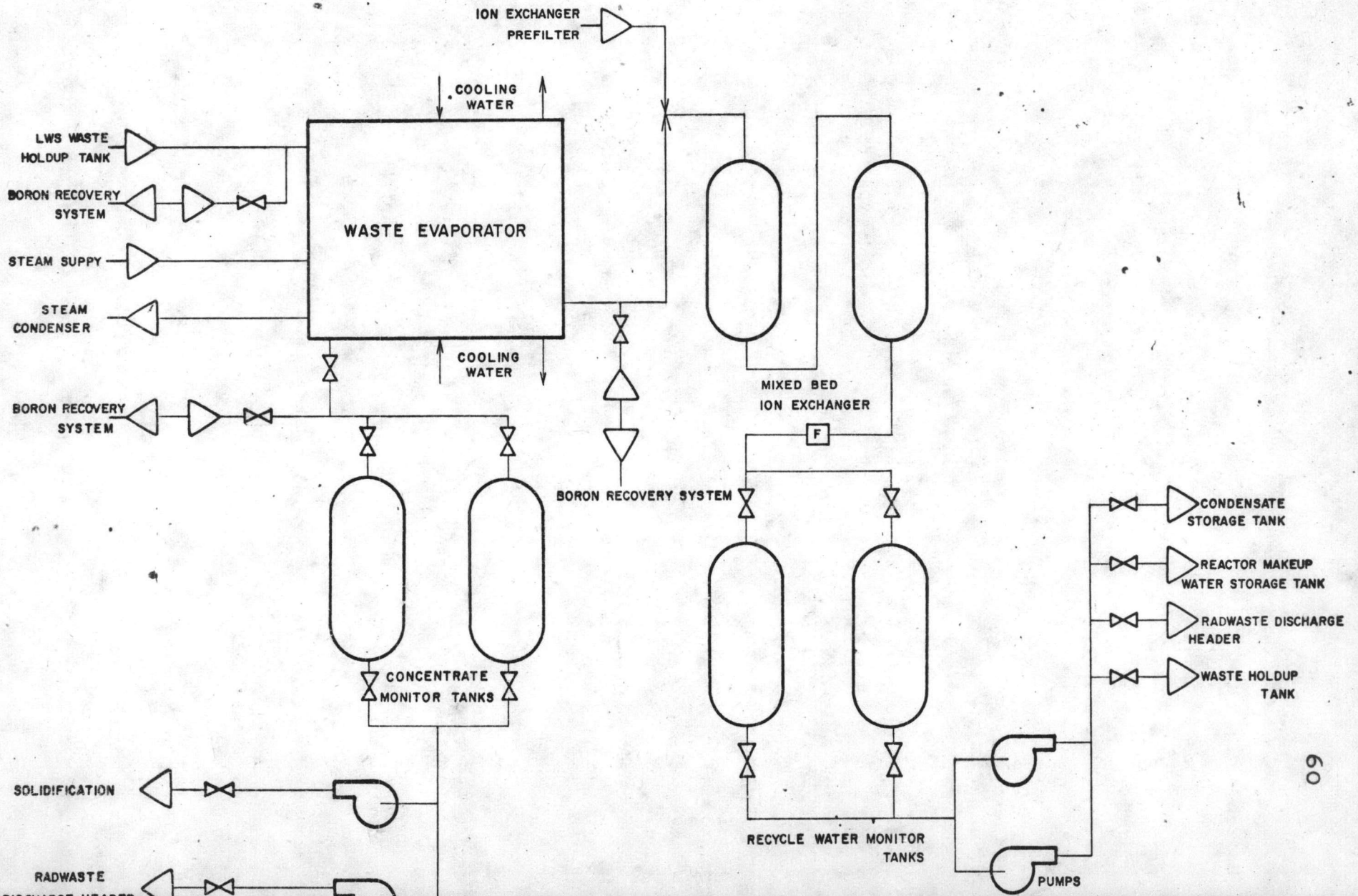


รูปที่ 4-2
ระบบขจัดกากของเหลว (2)

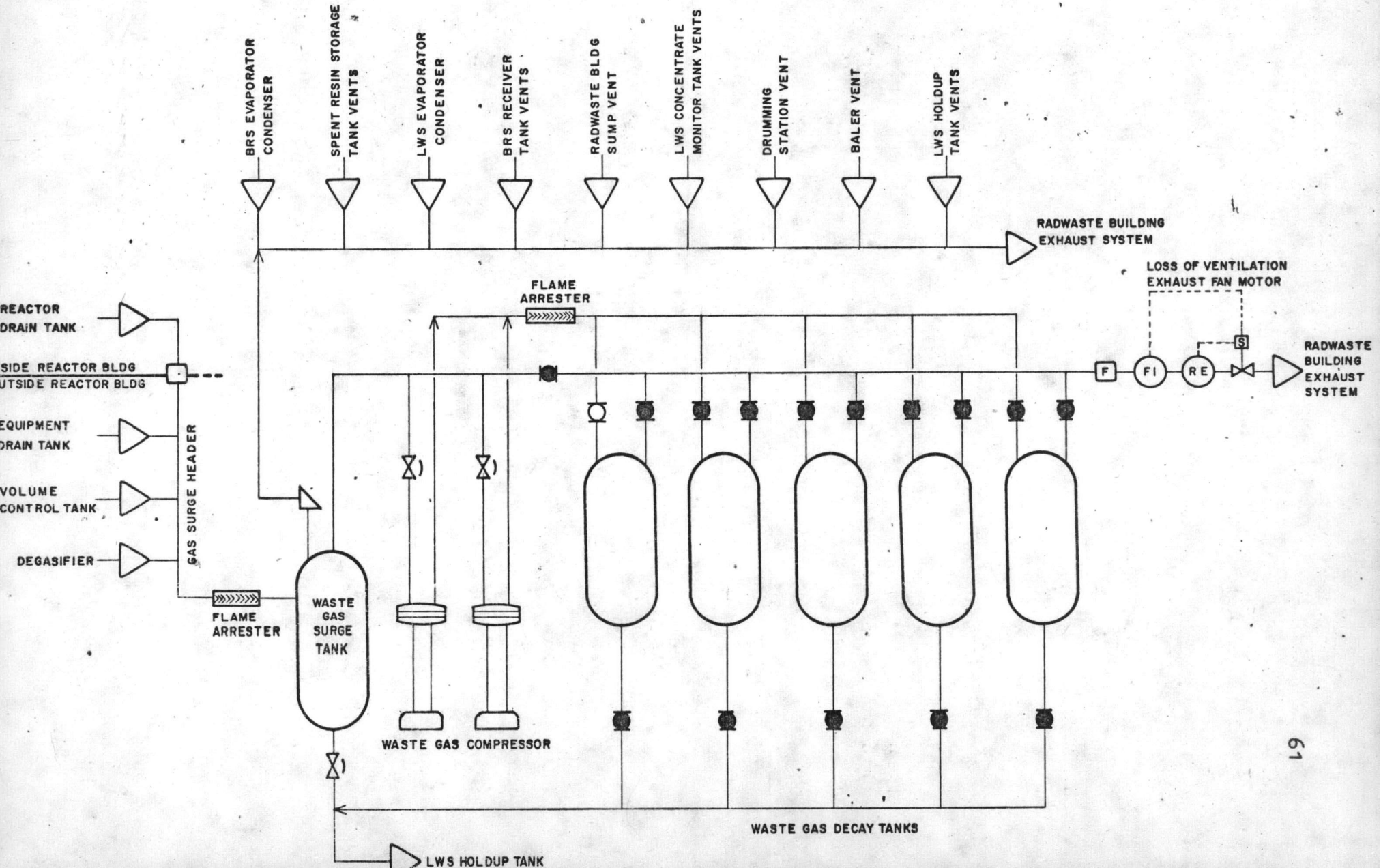


รูปที่ 4-3

ระบบขจัดกากของเหลว (3)



รูปที่ 4-4
ระบบขจัดกากที่เป็นแกส



รูปที่ 4-5
ระบบขจัดกากที่เป็นของแข็ง