หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดและวิธีการที่จะเสนอขึ้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างสังเขป หลังจากนั้นจะกล่าวถึงจุดประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์ โครงสร้างของวิทยานิพนธ์และประโยชน์ที่จะได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

กล่าวนำปัญหา

ปัญหาที่สำคัญอันหนึ่งในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติคือ การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลด (Load-Frequency Control หรือ LFC) หน้าที่พื้นฐานของ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขต (area) คือ พยายามรักษาสมดุลของกำลังจริงระหว่างการผลิต (generation) และการบริโภค (consumption) กล่าวคือ พยายามปรับค่าความถี่ (frequency) ของไฟฟ้าที่ผลิตของแต่ละเขตและกำลังจริงที่แลกเปลี่ยนกันระหว่างเขตในเส้นเชื่อมต่อ (tie-line) ให้มีค่าตามที่ตั้งไว้เสมอในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดดีมานด์ (load demand) โดยธรรมชาติแล้ว LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขตที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบขนาดใหญ่ (large-scale system) มีจำนวนตัวแปรสถานะมากและประกอบด้วยระบบย่อยหลายระบบที่เชื่อมโยงกันด้วยเส้นเชื่อมต่อ การออกแบบตัวควบคุมที่เหมาะสมสำหรับระบบดังกล่าวเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก การควบคุมระบบ LFC ที่ได้ผลและใช้กันมากในช่วง 30 กว่าปีที่ผ่านมาก็คือ การควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดแบบที่นิยมใช้กัน (conventional LFC) ซึ่งใช้แนวคิดของการควบคุมเส้นเชื่อมต่อแบบมีไบแอส หรือ tie-line bias-control (Cohn, 1966) และหลักการไม่มีการกระทำระหว่างกัน (noninteraction principle) ของ Quazza (1966) แม้ว่าการควบคุมดังกล่าวบรรลุถึงเป้าหมายของการควบคุมดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นก็ตาม แต่ในระยะหลังได้มีนักวิจัยหลายท่านสนใจและพยายามนำทฤษฎีควบคุมสมัยใหม่ (modern control theory) มาใช้ออกแบบระบบ LFC เพื่อปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบ LFC ให้ดีขึ้นกว่าเดิม โดยอาศัยทฤษฎีควบคุมแบบเล็งเลิศ (optimal control theory) เป็นหลัก อาทิเช่น Fosha et al.(1970) เป็นผู้ริเริ่มนำทฤษฎีควบคุมสมัยใหม่มาประยุกต์กับปัญหา LFC โดยใช้ตัว

ควบคุมป้อนกลับสถานะแบบสัดส่วน (purely proportional) กฎการควบคุม (control law) ขึ้นกับขนาดของสัญญาณรบกวนทางโหลด (load disturbance) Kavin et al. (1971) และ Miniesy (1972) ได้ใช้ตัวกรอง Kalman (Kalman filter) และตัวสังเกต Luenburger (Luenburger observer) ตามลำดับ สำหรับบอกเอกลักษณ์ของขนาดสัญญาณรบกวนทางโหลด เพื่อแก้ปัญหาเรื่องผลของสัญญาณรบกวนทางโหลดที่มีต่อกฎการควบคุมดังกล่าว Calovic (1972, 1973) ได้ใช้ตัวควบคุมป้อนกลับสถานะ และสัญญาณออกแบบสัดส่วนอินทิกรัล (proportional-plus-integral) ทำให้กฎการควบคุมไม่ขึ้นกับขนาดของสัญญาณรบกวนทางโหลด แม้ว่างานวิจัยดังกล่าวพิสูจน์ได้ว่า วิธีการควบคุมเหล่านั้นสามารถปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบ LFC ให้ดีขึ้นกว่าการควบคุมแบบที่นิยมใช้กันมาก แต่เห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีปัญหามากในทางปฏิบัติไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานจริง เนื่องจากการควบคุมเหล่านั้นเป็นการควบคุมแบบรวมสู่ศูนย์ (centralized control) สารนิเทศที่ตัวควบคุมใช้ก็มีโครงสร้างแบบรวมสู่ศูนย์ กล่าวคือ ตัวควบคุมของระบบย่อยเขตหนึ่ง ๆ ต้องการสารนิเทศของระบบย่อยอื่น ๆ ด้วย ทำให้งานวิจัยในช่วงหลังเปลี่ยนมาสนใจการควบคุมระบบ LFC แบบกระจาย (decentralized control) เพราะว่าในการควบคุมแบบกระจายตัวควบคุมของระบบย่อยเขตหนึ่ง ๆ ต้องการเพียงสารนิเทศของระบบย่อยนั้น ๆ ทำให้ตัวควบคุมมีโครงสร้างเรียบง่ายเหมาะที่จะนำมาใช้ควบคุมระบบขนาดใหญ่ และในการใช้งานจริงต้องการตัวควบคุมที่มีโครงสร้างง่าย แต่เพียงพอที่จะทำให้ระบบวงจรปิดมีเสถียรภาพมากกว่าตัวควบคุมที่มีโครงสร้างซับซ้อน ถึงจะทำให้ผลตอบชั่วครู่ของระบบดีกว่าก็ตาม

แนวความคิดเรื่อง LFC แบบกระจายเริ่มมีในงานวิจัยของ Miniesy et al. (1971) ในรูปของการควบคุมแบบสองชั้น (two-level control) แต่ในระยะแรกทฤษฎีที่สนับสนุนการควบคุมแบบกระจายยังมีน้อย งานวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมระบบ LFC แบบสองชั้นดังกล่าวจึงยังไม่ได้ผลเท่าที่ควร ต่อมาทฤษฎีการควบคุมแบบกระจายได้รับการพัฒนาขึ้นมาดังปรากฏใน Bengtsson et al.(1974), Sandell et al.(1978), Singh (1981) และ Jamshidi (1983) งานวิจัยเกี่ยวกับ LFC แบบกระจายจึงเริ่มปรากฏขึ้นอีกโดยแต่ละคนก็มีแนวความคิดที่ต่างกันออกไป อาทิเช่น Bengiamin et al. (1978), Calovic et al. (1977), Venkateswarlu et al. (1977) และ Davison et al.(1978) เป็นต้น อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบรวมสู่ศูนย์ทฤษฎีทางด้านการควบคุมแบบกระจายยังนับว่ามีน้อย และยังมีปัญหาที่น่าสนใจเพื่อทำการวิจัยอีกมากทีเดียว

สำหรับปัญหางานวิจัยที่เสนอขึ้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ จะออกแบบตัวควบคุมระบบ LFC ที่ประกอบด้วยระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตที่เชื่อมโยงกันได้อย่างไร โดยที่สามารถปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบให้ดีขึ้นกว่าการควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน และตัวควบคุมก็มีโครงสร้างง่าย ๆ ใกล้เคียงกับการควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวที่จะนำเสนอคือ ใช้การควบคุมแบบกระจายด้วยการป้อนกลับสัญญาณออก กล่าวคือตัวควบคุมของระบบ LFC ในแต่ละเขตจะใช้เพียงสารนิเทศจากสัญญาณออกที่ทำการวัดได้ในเขตนั้น ๆ เอง ยิ่งไปกว่านั้นเพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นตัวควบคุมของแต่ละเขตจะทำงานภายใต้จุดประสงค์ที่ต่างกัน นั่นก็คือตัวควบคุมนอกจากจะมีโครงสร้างสารนิเทศแบบกระจายแล้ว ยังมีการตัดสินใจแบบกระจาย (decentralized decision making) อีกด้วย

<u>จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์</u>

จุดประสงค์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ การหาทฤษฎีที่เหมาะสมในการควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับระบบขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยระบบย่อยหลายระบบเชื่อมโยงกัน โดยที่ทฤษฎีดังกล่าวสามารถใช้อธิบายถึงความเหมาะสมของอัตราขยายป้อนกลับของตัวควบคุมของแต่ละระบบย่อย ทฤษฎีอันหนึ่งที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ พิจารณาการควบคุมระบบขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยระบบย่อยสองระบบที่เชื่อมโยงกัน แต่ละระบบย่อยต่างมีการวัด, ผู้ตัดสินใจ (decision maker) หรือตัวควบคุม และดัชนีสมรรถนะ (performance index) เป็นของตนเอง กฎการควบคุมของแต่ละระบบย่อยถูกจำกัดให้อยู่ในรูปผลรวมเชิงเส้นของสัญญาณออกที่สามารถวัดได้ในระบบย่อยนั้น ๆ ตัวควบคุมถูกออกแบบให้อยู่ในรูปของลำดับขั้นซึ่งเป็นการแก้ปัญหาที่ดีแบบหนึ่งสำหรับการควบคุมระบบขนาดใหญ่ดังกล่าว ในปัญหาข้างต้นทฤษฎีเกี่ยวกับการตัดสินใจภายใต้เงื่อนไขที่ไม่มีความร่วมมือกันของทฤษฎีการเสี่ยงเชิงอนุพันธ์ (differential game theory) ในกรณีที่มีโครงสร้างสารนิเทศแบบไม่ซ้ำซ้อนถูกนำมาใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ เพื่อใช้หาค่าอัตราขยายป้อนกลับที่เหมาะสมของตัวควบคุม กลยุทธที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีโครงสร้างดังกล่าวคือ กลยุทธของ Stackelberg หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า กลยุทธผู้นำผู้ตาม (leader-follower strategy) การตัดสินใจมีลำดับขั้นสองชั้นโดยผู้ตัดสินใจทั้งสองถูกกำหนดให้เป็นผู้นำและผู้ตาม ผู้นำจะประกาศกลยุทธในการตัดสินใจของตนเองขึ้นก่อน โดยมีผู้ตามยอมรับกลยุทธนั้นและนำมาประกอบการตัดสินใจของผู้ตามเองด้วย ดังนั้นในที่นี้จะนำเสนอเงื่อนไขจำเป็นของคำตอบ เมื่อพิจารณากลยุทธของ Stackelberg ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกแบบคงที่ของระบบเชิงเส้น ซึ่งมีดัชนี

สมรรถนะกำลังสอง (quadratic performance index) พร้อมกันนี้เนื่องจากคำตอบดังกล่าวเป็นชุดสมการพีชคณิตไม่เชิงเส้นที่ยากแก่การหาคำตอบ จึงได้เสนอขั้นตอนวิธีการคำนวณ (computational procedure) เพื่อหาผลลัพธ์ดังกล่าวไว้ด้วย

เพื่อที่จะแสดงให้เห็นความเป็นไปได้ของการประยุกต์ทฤษฎีที่นำเสนอในการใช้งานจริง จึงได้ทำกรณีศึกษา (case study) เกี่ยวกับการออกแบบตัวควบคุมระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขต สาเหตุสำคัญที่เลือกเอาปัญหาดังกล่าวเป็นกรณีศึกษาคือ ระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขตที่เชื่อมโยงกันเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า การควบคุมระบบขนาดใหญ่แบบรวมสู่ศูนย์ไม่ประสบผลสำเร็จ และจำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบกระจายเท่านั้น อีกทั้งในปัจจุบันงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหา LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขตก็ยังคงได้รับความสนใจจากวิศวกรไฟฟ้าอยู่ กรณีศึกษาดังกล่าวทำได้โดยใช้การจำลองเชิงเลข (digital simulation) บนเครื่องคอมพิวเตอร์ "PRIME 9750" ที่มีอยู่ ณ ศูนย์คอมพิวเตอร์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ขอบเขตของวิทยานิพนธ์</u>

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอการออกแบบตัวควบคุมแบบกระจายสำหรับระบบ LFC ที่มีสองเขตด้วยการประยุกต์ทฤษฎีการเสี่ยงเชิงอนุพันธ์ที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกคงที่ โดยผู้ตัดสินใจเลือกใช้กลยุทธของ Stackelberg จุดมุ่งหมายของการออกแบบตัวควบคุมคือ ให้ได้ผลตอบของระบบในภาวะอยู่ตัวเป็นไปตามข้อกำหนดของระบบ LFC ที่มีหลายเขตดังได้กล่าวไว้ในข้างต้น และในขณะเดียวกันต้องสามารถปรับปรุงผลตอบชั่วครู่ของระบบให้ดีขึ้นกว่าการควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน โดยที่ตัวควบคุมใช้การป้อนกลับสัญญาณออกเฉพาะท้องที่ (local output feedback) แบบคงที่เท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้มีโครงสร้างที่ง่ายและใช้งานจริงได้ง่ายใกล้เคียงกับการควบคุมแบบที่นิยมใช้กัน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำเปรียบเทียบผลการออกแบบตัวควบคุมที่ใช้ทฤษฎีที่ซึ่งนำเสนอขึ้นดังได้กล่าวในข้างต้น กับตัวควบคุมแบบต่าง ๆ ที่เสนอโดย Calovic ได้แก่ ตัวควบคุมแบบเล็งเลิศที่ใช้การป้อนกลับสถานะ (Calovic, 1972) ตัวควบคุมแบบเล็งเลิศที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออก (Calovic, 1973) และตัวควบคุมแบบกระจายที่ใช้การป้อนกลับสัญญาณออกเฉพาะท้องที่ (Calovic, 1977) โดยในกรณีของการเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมแบบกระจายซึ่งเป็นกรณีหลักจะใช้โครงสร้างสารนิเทศที่เหมือนกัน เพื่อสามารถเปรียบเทียบสมรรถนะของ

ระบบได้อย่างสะดวก จึงใช้โมเดลระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตเหมือนกับที่ใช้ในงานวิจัยดังกล่าวของ Calovic ซึ่งเป็นระบบเชิงเส้นมิติ 17 ถึงแม้ว่างานวิจัยของการควบคุมระบบ LFC แบบกระจายที่ผ่านมาจะมีหลายชิ้นก็ตาม แต่ได้เลือกเปรียบเทียบผลการออกแบบตัวควบคุมแบบกระจายกับงานวิจัยของ Calovic (1977) เพราะว่า

ก) Calovic เป็นผู้หนึ่งที่ได้ศึกษาการประยุกต์ทฤษฎีควบคุมสมัยใหม่กับปัญหา LFC อย่างจริงจังนับตั้งแต่ Calovic (1971) จนถึง Calovic (1977)

ข) ระบบ LFC ที่เสนอในงานวิจัยของ Calovic กล่าวได้ว่ามีโครงสร้างค่อนข้างเหมาะสมที่จะพัฒนากับระบบ LFC ที่มีอยู่ในปัจจุบัน โดยมีความเป็นไปได้สูงมาก

ค) แม้ว่าทั้ง Calovic (1977) และ Davison (1978) ต่างใช้การป้อนกลับสัญญาณออกเฉพาะท้องที่แบบคงที่เหมือนกัน แต่โมเดลของระบบ LFC ที่พิจารณาในที่นี้ใกล้เคียงกับของ Calovic (1971, 1972, 1973, 1977) มากที่สุด ทำให้สะดวกในการเปรียบเทียบผลที่ได้

อย่างไรก็ตามวิธีที่ใช้ในการออกแบบตัวควบคุมของ Calovic (1977) Davison (1978) และที่เสนอขึ้นในที่นี้ต่างกันอย่างสิ้นเชิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานที่เราเสนอขึ้นตัวควบคุมนอกจากจะมีโครงสร้างสารนิเทศแบบกระจายแล้วยังมีการตัดสินใจแบบกระจายอีกด้วย ซึ่งเป็นจุดเด่นของงานชิ้นนี้ด้วย

<u>วิธีการดำเนินงาน</u>

กล่าวโดยสรุปแล้ว ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีการเสี่ยงเชิงอนุพันธ์มาใช้ในการออกแบบตัวควบคุมแบบกระจายสำหรับระบบ LFC ที่มีสองเขตภายใต้เงื่อนไขที่ว่า เมื่อเกิดสัญญาณรบกวนทางโหลดแล้ว ในที่สุดระบบวงปิดยังสามารถคงค่าของตัวแปรบางตัวไว้ได้ตามที่ต้องการ ขั้นตอนวิธีดำเนินการมีดังนี้คือ

ก) หาข้อสรุปทั่วไปของปัญหา LFC และสำรวจงานวิจัยของ LFC ที่ผ่านมาทั้งแบบรวมสู่ศูนย์และแบบกระจาย

ข) ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตที่ได้เสนอโดย Calovic (1972,1973,1977) โดยทำการจำลองเชิงเลขและเปรียบเทียบผลของที่ได้ระหว่างกรณีต่าง ๆ

ค) นำเสนอทฤษฎีของการป้อนกลับสัญญาณออกคงที่แบบ Stackelberg ที่ได้คิด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขึ้น และประยุกต์ทฤษฎีการตัดสินใจดังกล่าวในการออกแบบตัวควบคุมแบบกระจายสำหรับระบบ LFC ของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขต พร้อมทั้งทำการจำลองเชิงเลขในกรณีต่าง ๆ และสรุปเปรียบเทียบผลที่ได้

ง) สรุปและเปรียบเทียบผลเมื่อใช้ตัวควบคุมแบบต่าง ๆ พร้อมทั้งเสนอแนะงานวิจัยที่น่าสนใจต่อไปในอนาคต

<u>ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้</u>

ประโยชน์และความสำคัญที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แก่

1) ศึกษาและพัฒนาเทคนิคการควบคุมระบบขนาดใหญ่

2) ศึกษาการนำทฤษฎีควบคุมสมัยใหม่มาประยุกต์ในการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขตที่เชื่อมโยงกัน

3) พัฒนาการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังสองเขตด้วยการป้อนกลับสัญญาณออกแบบกระจาย (decentralized output feedback) โดยเราคาดว่าวิธีที่ใช้โครงสร้างสารนิเทศแบบนี้จะเหมาะสมที่สุดในการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขต ซึ่งเป็นระบบขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยระบบย่อยหลายระบบเชื่อมโยงกัน

4) พัฒนาทฤษฎีการเสี่ยงเชิงอนุพันธ์กรณีที่ใช้การป้อนกลับแบบ Stackelberg ด้วยสัญญาณออกแบบคงที่ และสามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์กับปัญหาในข้อ 3

5) พัฒนาเทคนิคการออปติไมซ์ (optimization technique) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในทฤษฎีในข้อ 4 ที่ได้เสนอขึ้น

6) งานวิจัยชิ้นนี้เป็นรากฐานสำคัญของการควบคุมความถี่เนื่องจากโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังหลายเขต