หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ความแม่นยำในการวัดด้วยเทคนิคเฮดสเปส (The Accuracy of Headspace Analysis Technique)

ความแม่นยำในการวัดด้วยเทคนิคเฮดสเปสสามารถตรวจสอบได้จากการเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน TCE และ PCE ในน้ำที่ได้จากการเตรียมกับค่าที่ได้จากการทดลอง โดยใช้วิธี internal standardization จากการทดลองโดยเตรียมสารละลายมาตรฐาน TCE และ PCE ที่มีความเข้มข้น 52.56 และ 51.84 ppb เปรียบเทียบกับความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จาก internal standard curve ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานจากการเตรียมเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก Internal standard curve มีค่าเปอร์เซนต์ error มีค่าเท่ากับ 1.33% สำหรับ TCE และค่าเปอร์เซนต์ error ของ PCE อยู่ในช่วง 0.287 – 3.19% และมีค่า %RSD เท่ากับ1.003%

แสดงให้เห็นว่าการหาค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน TCE และ PCE ในน้ำด้วยเทคนิคเฮดสเปสมีความแม่นยำถูกต้องค่อนข้างสูงเนื่องจาก %RSD (%RSD = (SD/ mean)* 100) มีค่าต่ำเราจึงสามารถนำการวิเคราะห์หาปริมาณ TCE และ PCE ในน้ำด้วยเทคนิคเฮดสเปสมาใช้ในการทดลองได้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน TCE และ PCE ในน้ำที่ได้จากการเตรียมกับค่าที่ได้จากการทดลอง

สาร	ความเข้มข้น (ppb)		%Error	%RSD
	ค่าจริง	ค่าที่ได้จากการทดลอง		
Trichloroethylene	52.56	51.997	-1.071	1.33
		53.196	+1.21	
		53.171	+1.162	
		52.734	+0.331	
		53.927	+2.6	
		mean=53.005		
Tetrachloroethylene	51.84	51.691	-0.287	1.003
		51.237	-1.163	
		50.186	-3.19	
		52.18	+0.656	
		52.101	+0.501	
		mean=51.479		

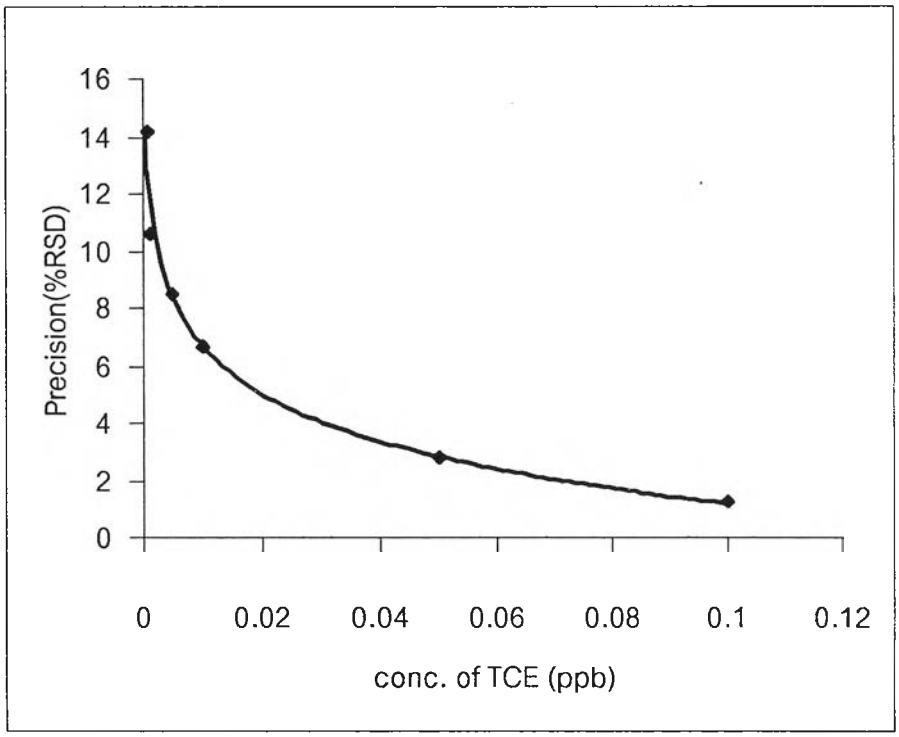
4.2 Limit of Quantitation (LOQ)

Limit of Quantitation (LOQ) คือ ปริมาณสารที่น้อยที่สุดที่สามารถหาค่าได้ถูกต้อง หาได้จากโดยนำไอระเหยของสารละลายมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน จำนวนอย่างน้อย 6 ค่าความเข้มข้น นำไปฉีดเข้าเครื่อง GC เพื่อหา peak area ของ TCE และ PCE ที่แต่ละความเข้มข้น หาค่า % RSD ที่แต่ละความเข้มข้น จากนั้น plot graph ระหว่าง precision (%RSD) กับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3

จุด LOQ คือ จุดที่มี %RSD = 10%

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน TCE กับ precision (%RSD)

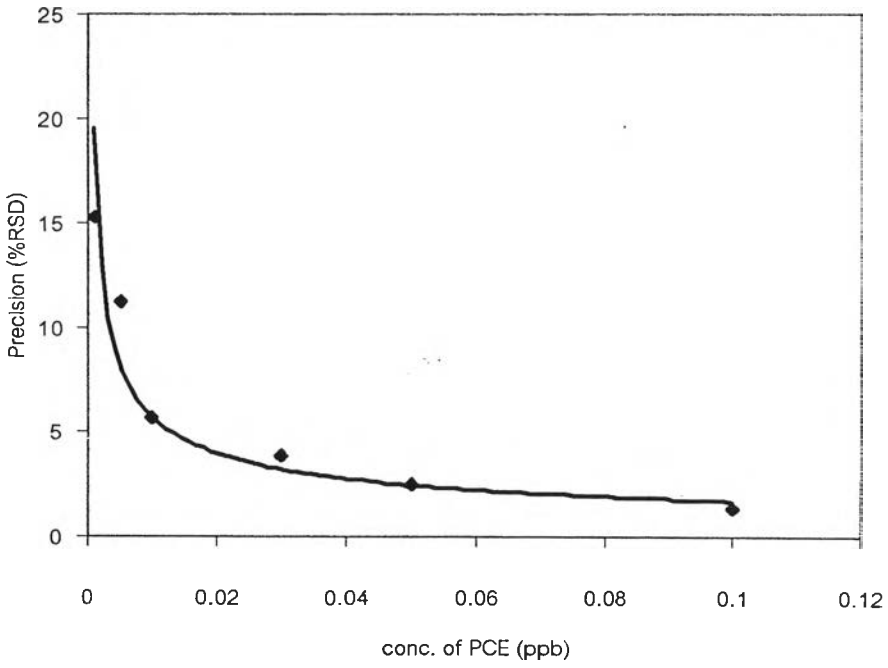
Conc.(ppb)	Precision(%RSD)
0.0008	14.2
0.001	10.61
0.005	8.458
0.01	6.7
0.05	2.8
0.1	1.23



รูปที่ 4.1 การหาค่า LOQ ของ TCE จากกราฟระหว่าง precision (%RSD) กับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน PCE กับ precision (%RSD)

conc.(ppb)	precision(%RSD)
0.001	15.25
0.005	11.23
0.01	5.7
0.03	3.8
0.05	2.5
0.1	1.3



รูปที่ 4.2 การหาค่า LOQ ของ PCE จากกราฟระหว่าง precision (%RSD) กับความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน

ดังนั้น LOQ จากการทดลองมีค่า 0.002 ppb และ 0.006 ppb สำหรับ TCE และ PCE ตามลำดับ

4.3 การทดลองหาปริมาณของ TCE และ PCE ในตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

ตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่นำมาทดสอบหาปริมาณของ TCE และ PCE มีจำนวนทั้งหมด 20 ตัวอย่าง ได้แก่

1. แหล่งน้ำจากบริเวณนิคมอุตสาหกรรม ซึ่งได้แก่ นิคมอุตสาหกรรมบางปู จังหวัดสมุทรปราการ และนิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี ทั้งนี้เนื่องจากน้ำในนิคมอุตสาหกรรมอาจมีการปนเปื้อนของ TCE และ PCE เพราะมีการใช้ TCE และ PCE เป็น Solvent ในงาน อุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย

2. น้ำประปาจากแหล่งต่าง ๆ ปัจจุบันเกือบทุกท้องที่ มีการใช้น้ำประปากันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงควรตรวจวัดปริมาณ TCE และ PCE ในน้ำประปา เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงว่าน้ำประปาที่ใช้กันอยู่ มีคุณภาพตามมาตรฐานที่ใช้อุปโภคบริโภคได้

3. น้ำบาดาลเนื่องจากในต่างจังหวัดบางท้องที่ไม่มีการใช้น้ำประปาแต่จะใช้น้ำบาดาลแทนจึงทำการศึกษาหาปริมาณ TCE และ PCE ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำบาดาล จากการศึกษาในต่างประเทศพบว่าปริมาณ TCE และ PCE ในน้ำบาดาลสูงกว่าน้ำผิวดิน

จากการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ มาทดสอบหาปริมาณ TCE และ PCE โดย pipetตัวอย่างน้ำจำนวน 25 ml ใส่ใน serum vial ขนาด 50 ml ที่บรรจุ anhydrous sodium sulfate 13 กรัมอยู่ นำไปอุ่นใน water bath เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นฉีดไอระเหยของตัวอย่างน้ำใน serum vial เข้าเครื่อง GC จะได้ chromatogram ของตัวอย่างน้ำแต่ละชนิด chromatogram ของตัวอย่างน้ำชนิดใดที่มี peak ที่มี retention time (t_r) เท่ากับ 2.97 และ 4.63 แสดงว่าตัวอย่างน้ำชนิดนั้นตรวจพบปริมาณ TCE หรือ PCE เนื่องจาก TCE และ PCE มี retention time (t_r) เท่ากับ 2.97 และ 4.63 ตามลำดับ จากการเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งพบว่า

พบตัวอย่างน้ำที่ปนเปื้อน TCE จำนวน 18 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ปนเปื้อน PCE จำนวน 6 ตัวอย่าง โดยปริมาณ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำนี้มีค่าตั้งแต่ น้อยกว่า 0.002 – 0.266 ppb ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำ มีค่าตั้งแต่ น้อยกว่า 0.006 - 0.354 ppb
ตัวอย่างน้ำที่ตรวจพบมีปริมาณ TCE มากที่สุด คือ ตัวอย่างน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตในโรงงานทอผ้า มีค่า 0.266 ppb ส่วนตัวอย่างน้ำที่พบปริมาณ PCE มากที่สุด คือ น้ำจากคลองประปา มีค่า 0.354 ppb

จากมาตรฐานของ WHO กำหนดให้มีปริมาณ TCE และ PCE ในน้ำดื่มได้ไม่เกิน 30 และ 10 ppb ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบทั้ง 20 ชนิด มีปริมาณของ TCE และ PCE ที่ตรวจพบไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำในคลองประปา มีปริมาณ TCE ประมาณ 0.002 ppb แต่เมื่อทดสอบน้ำประปากรุงเทพฯ ที่ผลิตจากน้ำในคลองประปาพบว่ามีปริมาณ TCE สูงกว่าน้ำจากคลองประปาเท่ากับ 0.0257 ppb แสดงให้เห็นว่าอาจมีการปนเปื้อน TCE ในขั้นตอนการผลิตและระบบส่งน้ำสู่ผู้บริโภค

น้ำประปาจากบางปูและกรุงเทพฯมีปริมาณของ TCE ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นน้ำที่ผลิตจากแหล่งเดียวกันโดยการประปานครหลวง ส่วนน้ำประปานวนครมีปริมาณ TCE สูงกว่าน้ำประปากรุงเทพฯ และบางปู เนื่องจากน้ำประปานวนครผลิตจากน้ำบาดาลที่ขุดเจาะตามจุดต่าง ๆ ภายในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ ได้เป็นน้ำประปาส่งไปตามบ้านเรือน เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำบาดาลภายในเขตอุตสาหกรรมนวนครแล้วพบว่า มีปริมาณ TCE สูงกว่าน้ำบาดาล แสดงว่า ปริมาณ TCE ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากระหว่างกระบวนการผลิตน้ำประปา หรือการขนส่งเช่นเดียวกับน้ำประปากรุงเทพฯ

น้ำบาดาลจากแหล่งต่าง ๆ พบว่าบริเวณที่ไกลจากแหล่งอุตสาหกรรมจะมีปริมาณ TCE น้อยกว่าน้ำบาดาลจากแหล่งที่ใกล้นิคมอุตสาหกรรม

น้ำที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ก่อนเข้ากระบวนการผลิตมีปริมาณ TCE 0.0054 ppb แต่หลังผ่านกระบวนการผลิตแล้วพบว่า มีปริมาณ TCE สูงขึ้นเป็น 0.266 ppb แสดงว่ามีการเพิ่มของ TCE ในขั้นตอนของกระบวนการผลิต นอกจากนี้ตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัด จะพบว่ามีปริมาณ TCE ลดลงเหลือ 0.0196 ppb แสดงว่าการบำบัดน้ำโดยการปล่อยให้ตกตะกอนในบ่อพักจะช่วยลดปริมาณของ TCE ได้โดย TCE จะระเหยไปในบรรยากาศ

จากข้อมูลของ Environmental Research and Training Center (ERTC) มีการใช้ PCE ในปริมาณที่น้อยกว่า TCE ค่อนข้างมาก คือ 91.1 และ 2564.6 ลิตรต่อวัน ตามลำดับซึ่งจากตรวจหาปริมาณ PCE ในตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบนี้พบตัวอย่างน้ำที่มี PCE ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณเล็กน้อยเพียง 6 ตัวอย่าง ทั้งนี้เป็นเพราะมีการใช้ PCEในปริมาณที่น้อย

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของTCE และปริมาณของ PCE ที่ตรวจพบจากตัวอย่างน้ำ

ตัวอย่างน้ำ	ปริมาณของTCE ที่ตรวจพบ (ppb)	ปริมาณของPCE ที่ตรวจพบ (ppb)
น้ำบาดาลที่ใช้ตามบ้าน บางปู	N.D.	N.D.
น้ำบาดาลเทศบาลบางปู	น้อยกว่า 0.002	N.D.
น้ำบาดาลวัดศรีจันทร์ประดิษฐ์ บางปู	0.134	0.348
สระน้ำภายในนิคมอุตสาหกรรมบางปู	N.D.	N.D.
น้ำจากคลองประปา (จุดที่ 1)	0.002	N.D.
น้ำจากคลองประปา (จุดที่ 2)	น้อยกว่า 0.002	0.354
น้ำประปากรุงเทพฯ	0.0259	0.118
น้ำประปาบางปู	0.025	น้อยกว่า0.006
น้ำแม่น้ำเจ้าพระยา	0.0196	N.D.
น้ำบาดาลที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม	0.00965	น้อยกว่า0.006
น้ำก่อนเข้ากระบวนการผลิต	0.0054	N.D.
น้ำหลังเข้ากระบวนการผลิต	0.266	N.D.
น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว	0.0196	N.D.
น้ำบาดาลหมู่บ้านนครชัย(นวนคร)	0.0036	น้อยกว่า0.006
น้ำบาดาลบริเวณหลังโรงพยาบาลอินเตอร์ (นวนคร)	0.004	N.D.
น้ำบาดาลวัดคุณหญิงส้มจีน	0.265	N.D.
น้ำคลองบริเวณนวนคร (จุดที่ 1)	น้อยกว่า 0.002	N.D.
น้ำคลองบริเวณนวนคร (จุดที่ 2)	0.002	N.D.
น้ำประปานวนคร	0.048	N.D.

หมายเหตุ : N.D. = Not-detectable ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้

4.4 การฉายรังสีแกมมาเพื่อลดปริมาณ TCE ในตัวอย่างน้ำ

น้ำเมื่อได้รับการฉายรังสีจะแตกตัวเป็น H atom, Solvated electron และ OH radical ซึ่ง OH radical เป็น radical ที่ทำปฏิกิริยากับ TCE เกิดเป็น CO_2 และ Cl ion จึงทำการทดลองโดยนำตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณ TCE เริ่มต้นเท่ากันคือ 155 ppb ไปฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสีตั้งแต่ 96– 927 Gy ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 กล่าวคือ

เมื่อฉายรังสีแกมมาปริมาณ 96 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำตรวจพบปริมาณ TCE ลดลงอย่างรวดเร็ว จากปริมาณเริ่มต้น 151.84 ppb เหลือ 75.821 ppb เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแกมมาเป็น 188 Gy จนถึง 927 Gy ปริมาณ TCEที่ตรวจพบจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสี 96 Gy เห็นได้ว่า ปริมาณ 96 Gy สามารถลดปริมาณ TCE ได้มากที่สุด

เมื่อฉายรังสีแกมมาปริมาณ 96 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำตรวจพบปริมาณ TCE ลดลงคิดเป็น 50% จากปริมาณเริ่มต้น เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแกมมาเป็น 188 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE ลดลงอีกเพียง 8% เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสี 96 Gy และเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแกมมามากขึ้นตั้งแต่ 281 จนถึง 927 Gy พบว่า ปริมาณ TCE ลดลงอย่างช้าๆไม่เกิน 10% แสดงให้เห็นว่า น้ำเมื่อได้รับการฉายรังสีจะแตกตัวให้ OH radical ซึ่งทำปฏิกิริยากับ TCE ทำให้ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบลดลง โดยในช่วงแรกน้ำที่ได้รับรังสีจะแตกตัวให้ OH radical ได้ดี เมื่อน้ำได้รับรังสีสูงขึ้นจะแตกตัวให้ OH radical ได้น้อยกว่าในช่วงแรก ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ P. Gehringer ที่ทดลองโดยใช้ Electron beam เพื่อลดปริมาณ TCE ในตัวอย่างน้ำ

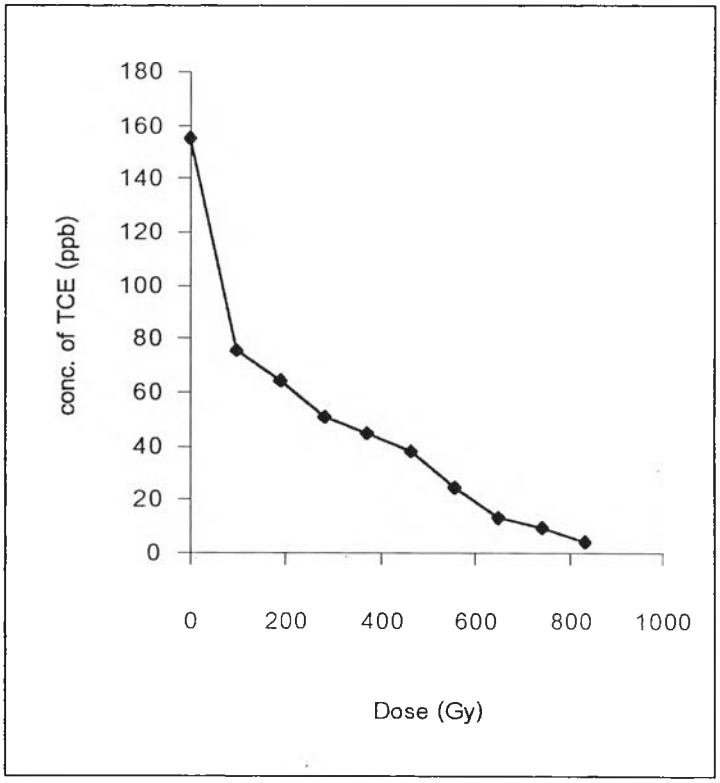
การทดลองของ P.Gehringer ในช่วงแรกเมื่อฉายลำ electron ให้แก่ตัวอย่างน้ำด้วยปริมาณรังสีที่เท่ากัน ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบที่ปริมาณรังสี 100 Gy ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ TCE ที่ปริมาณเริ่มต้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสี ให้แก่ตัวอย่างน้ำด้วยปริมาณ 200 – 600 Gy พบว่าปริมาณ TCE ที่ตรวจพบจะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสี 100 Gy

ดังนั้นในการฉายรังสีแกมมาให้แก่น้ำเพื่อลดปริมาณ TCE ให้มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 500 Gy

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ

Dose(Gy)	Conc.(ppb)
0	151.84
96	75.821
188	64.686
281	50.631
373	44.755
465	38.195
558	24.497
650	13.814
742	9.467
835	4.51
927	N.D.

หมายเหตุ : N.D. = Not-detectable ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้



รูปที่ 4.3 ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ

4.5 การฉายรังสีแกมมาเพื่อลดปริมาณ PCE ในตัวอย่างน้ำ

น้ำเมื่อได้รับการฉายรังสีจะแตกตัวเป็น H atom, Solvated electron และ OH radical ซึ่ง OH radical เป็น radical ที่ทำปฏิกิริยากับ PCE เกิดเป็น CO_2 และ Cl ion จึงทำการทดลองโดยนำตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณ PCE เริ่มต้นเท่ากันคือ 155 ppb ไปฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสีตั้งแต่ 96 – 927 Gy ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4 กล่าวคือ

เมื่อฉายรังสีแกมมาปริมาณ 96 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำตรวจพบปริมาณ PCE ลดลงอย่างรวดเร็ว จากปริมาณเริ่มต้น155 ppb เหลือเพียง 30 ppb เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแกมมาเป็น 188 Gy จนถึง 927 Gy ปริมาณ PCEที่ตรวจพบจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสี 96 Gy เห็นได้ว่า ปริมาณ 96 Gy สามารถลดปริมาณ PCE ได้มากที่สุด

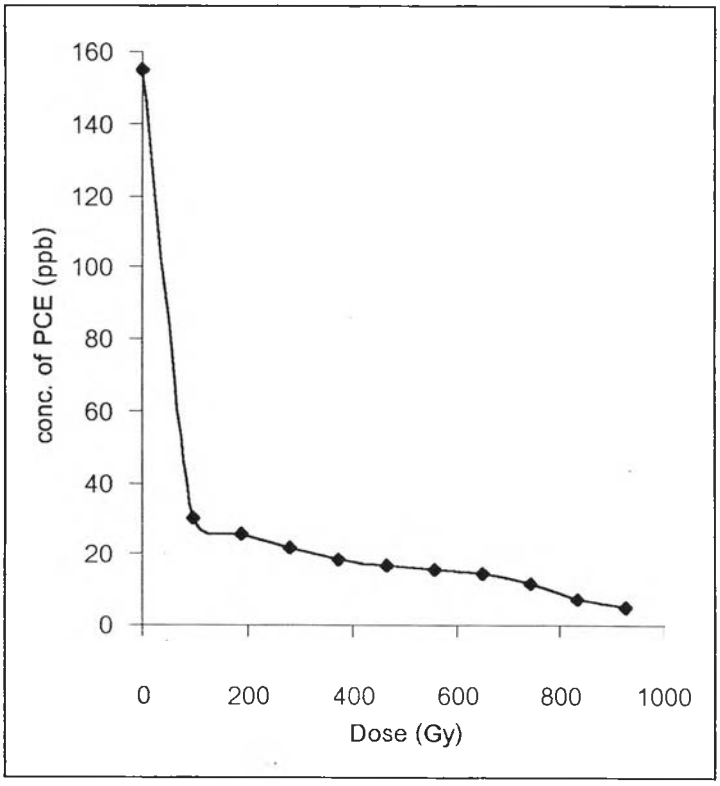
เมื่อฉายรังสีแกมมาปริมาณ 96 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำตรวจพบปริมาณ PCE ลดลงคิดเป็น 80% จากปริมาณเริ่มต้น เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแกมมาเป็น 188 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE ลดลงอีกเพียง 4 % เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณรังสี 96 Gy และเพิ่มปริมาณรังสีแกมมามากขึ้นตั้งแต่ 281 จนถึง 927 Gy พบว่า ปริมาณ PCE ลดลงอย่างช้าๆไม่เกิน 3.5% แสดงให้เห็นว่า น้ำเมื่อได้รับการฉายรังสีจะแตกตัวให้ OH radical ซึ่งทำปฏิกิริยากับ PCE ทำให้ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบลดลง โดยในช่วงแรกน้ำที่ได้รับรังสีจะแตกตัวให้ OH radical ได้ดี เมื่อน้ำได้รับรังสีสูงขึ้นจะแตกตัวให้ OH radical ได้น้อยกว่าในช่วงแรก ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ P. Gehringer ที่ทดลองโดยใช้ Electron beam เพื่อลดปริมาณ PCE ในตัวอย่างน้ำ

การทดลองของ P.Gehringer ในช่วงแรกเมื่อฉายลำ electron ให้แก่ตัวอย่างน้ำด้วยปริมาณรังสีที่เท่ากัน ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบที่ปริมาณรังสี 100 Gy ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ PCE ที่ปริมาณเริ่มต้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสี ให้แก่ตัวอย่างน้ำด้วยปริมาณ 200 – 600 Gy พบว่าปริมาณ PCE ที่ตรวจพบจะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสี 100 Gy

ดังนั้นในการฉายรังสีแกมมาให้แก่น้ำเพื่อลดปริมาณ PCE ให้มีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 730 Gy

ตารางที่ 4.6 ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ

Dose(Gy)	Conc.(ppb)
0	155
96	30.442
188	25.673
281	21.56
373	18.271
465	16.801
558	15.647
650	14.503
742	11.895
835	7.428
927	4.935



รูปที่ 4.4 ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบเมื่อฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ

4.6 การฉายรังสีแกมมาร่วมกับโอโซนเพื่อลดปริมาณ TCE ในตัวอย่างน้ำ

น้ำเมื่อได้รับการฉายรังสีจะแตกตัวเป็น H atom, Solvated electron และ OH radical ซึ่ง OH radical เป็น radical ที่ทำปฏิกิริยากับ TCE เกิดเป็น CO_2 และ Cl ion ดังนั้นถ้าเราเพิ่มปริมาณของ OH radical ให้มากขึ้นจะสามารถลดปริมาณ TCE ได้มากขึ้น โอโซนที่เติมให้แก่ตัวอย่างน้ำ สามารถทำปฏิกิริยากับ H atom และ Solvated electron ที่เกิดขึ้นในขณะที่น้ำได้รับรังสี เกิดเป็น HO_3 radical ซึ่ง HO_3 radical นี้สามารถเปลี่ยนไปเป็น OH radical ได้ ดังปฏิกิริยาเคมี

$$e^- + O_3 \longrightarrow O_3^- \quad \text{และ} \quad H^\bullet + O_3 \longrightarrow HO_3^\bullet$$

$$O_3^- + H^\bullet \longrightarrow HO_3^\bullet$$

$$HO_3^\bullet + HO_3^\bullet \longrightarrow OH^\bullet + O_2$$

ดังนั้นจึงทำการเติมก๊าซโอโซนให้แก่ตัวอย่างน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณ OH radical ให้มากขึ้น จากการทดลองนำตัวอย่างน้ำมาเติมโอโซน ที่ปริมาณต่าง ๆ ทำให้ตัวอย่างน้ำที่ได้มีความเข้มข้นของโอโซน ตั้งแต่ 1.62 – 16.3 ppm นำตัวอย่างน้ำที่ได้นี้ไปฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสีตั้งแต่ 96 – 927 Gy ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4 กล่าวคือ

เมื่อฉายรังสีแกมมาปริมาณ 96 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนแตกต่างกัน คือ 0, 1.62 , 3.26 , 6.53 , 1.8 , 13 และ 16.3 ppm ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 75.821 , 50.938 35.02 , 19.979 , 14.846 , 9.318 และ 7.893 ppb ตามลำดับ หรือคิดเป็นปริมาณ TCE ที่เหลือเท่ากับ 50 , 33.1 , 23.2 , 13.25 , 10 , 6.17 และ 5.16 % จากปริมาณเริ่มต้น เห็นได้ว่า ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนสูงจะตรวจพบปริมาณ TCE ได้น้อยกว่าตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนต่ำกว่า แสดงว่าโอโซนทำให้เกิด OH radical ได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณ TCE ที่ตรวจพบให้ลดลงเนื่องจากมีปริมาณ OH radical ที่ทำปฏิกิริยากับ TCE สูงขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแกมมาเป็น 188 Gy จนถึง 927 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนแตกต่างกันโดยเปรียบเทียบที่ปริมาณรังสีเดียวกันพบว่า ตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่า จะตรวจพบปริมาณ TCE ได้น้อยกว่าตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนน้อยกว่า ยกตัว

อย่างเช่น ที่ปริมาณรังสี 188 Gy ตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 1.63 , 3.26 , 6.53 ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 45.964 , 29.467 และ 17.511 ppb ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนสูงกว่าสามารถลดปริมาณ TCE ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้ดีกว่าตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนที่ต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนเท่ากัน แต่ได้รับปริมาณรังสีแกมมาที่ต่างกัน พบว่า ปริมาณรังสี 96 Gy สามารถลดปริมาณ TCE ที่ปนเปื้อนในน้ำได้ดีที่สุด คือ ลดปริมาณ TCE ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 96 Gy

ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซน 1.63 ppm ที่ปริมาณรังสี 96 Gy ตรวจพบ TCE เท่ากับ 50.938 ppb ลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100.902 ppb แต่เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 188 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 45.964 ppb ลดลงจากตัวอย่างน้ำที่ได้รับรังสี 96 Gy เพียง 4.974 ppb ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ P. Gehringer ที่ทดลองโดยใช้ Electron beam ร่วมกับโอโซน เพื่อลดปริมาณ TCE ในตัวอย่างน้ำ

การทดลองของ Gehringer ในช่วงแรกเมื่อฉายลำ electron ให้แก่ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนแตกต่างกัน ด้วยปริมาณรังสีที่เท่ากัน ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบที่ปริมาณรังสี 100 Gy ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ TCE ที่ปริมาณเริ่มต้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสี ให้แก่ตัวอย่างน้ำด้วยปริมาณ 200 – 600 Gy พบว่าปริมาณ TCE ที่ตรวจพบจะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสี 100 Gy และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีเท่ากัน แต่ได้รับปริมาณโอโซน ตัวอย่างน้ำที่ได้รับโอโซนสูงกว่าจะตรวจพบปริมาณ TCE ได้น้อยกว่า

สำหรับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณโอโซนเท่ากับ 1.63 ppm ได้รับปริมาณรังสีเท่ากับ 465 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 30.566 ppb ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณโอโซน 3.26 ppm ได้รับปริมาณรังสี 188 Gy คือ 29.467 ppb ดังนั้น ในการบำบัดน้ำจริง เราสามารถเลือกใช้ปริมาณโอโซน หรือปริมาณรังสีให้แก่น้ำในปริมาณที่พอเหมาะได้ โดยยึดหลักทางเศรษฐศาสตร์คือ ถ้าค่าใช้จ่ายในการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีสูงอาจเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าที่ปริมาณรังสีต่ำ เราสามารถลดปริมาณรังสีที่ให้แก่น้ำได้ โดยการเพิ่มปริมาณโอโซนแทน จึงประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า แต่สามารถลดปริมาณ TCE ในน้ำได้เท่ากัน

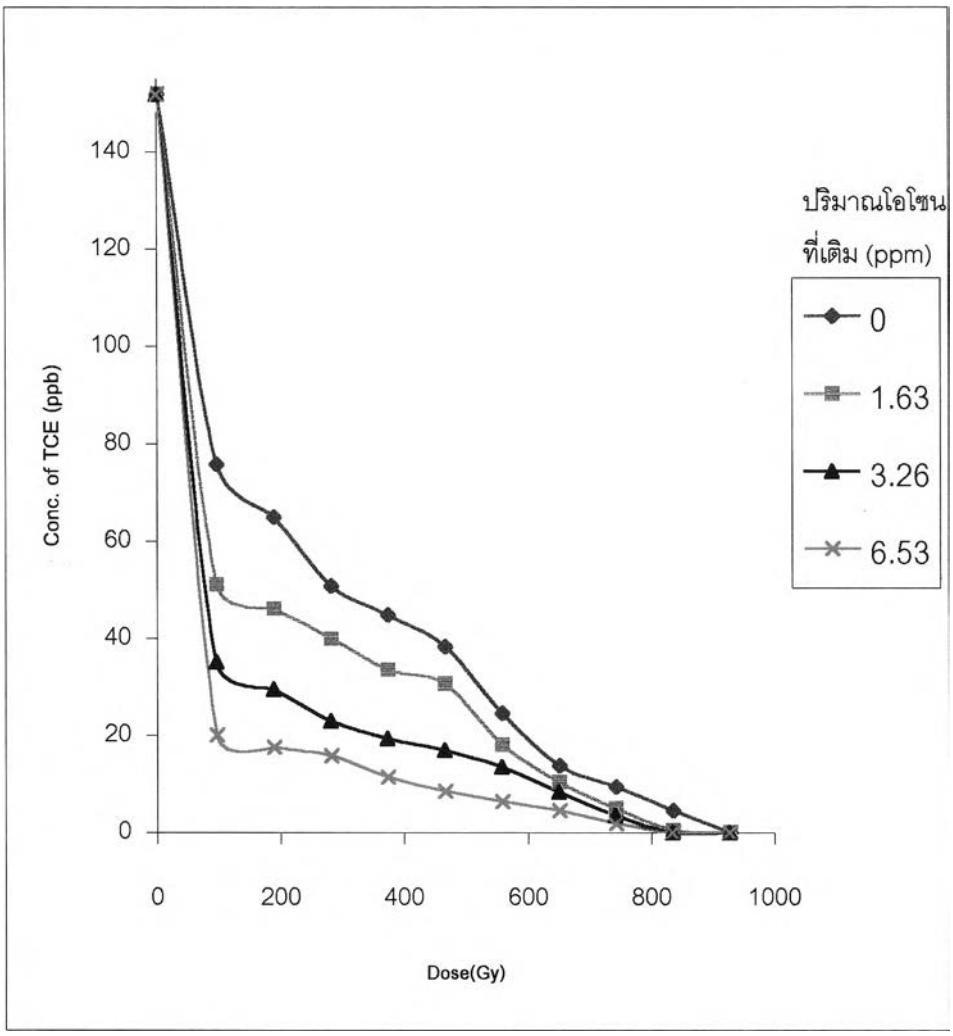
จากการทดลองยังพบว่า ตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 90 Gy สามารถลดปริมาณของ TCE ได้น้อยกว่า ตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณโอโซนสูงขึ้นอีก 3 ppm ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซน 1,63 ppm เมื่อได้รับรังสี 188 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 45.964 ppb แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีเป็น 281 Gy ตรวจพบปริมาณTCE เท่ากับ 39.856

ppb สำหรับตัวอย่างน้ำที่ได้รับโอโซน 3.26 ppm และปริมาณรังสี 188 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 29.467 ppb ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำทั้ง 2 ชนิดกับตัวอย่างน้ำชนิดแรก ตัวอย่างน้ำที่ได้รับโอโซน 3.26 ppm และปริมาณรังสี 188 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณโอโซนมีผลต่อการลดลงของ TCE ได้ดีกว่าการเพิ่มปริมาณรังสี

ตารางที่ 4.7 ปริมาณของ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมาและปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน (ปริมาณโอโซนต่ำ)

Dose (Gy)	ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบ(ppb)			
	ปริมาณ ozone ที่เติมให้แก่น้ำ(ppm)			
	0	1.63	3.26	6.53
0	151.84	151.84	151.84	151.84
96	75.821	50.938	35.02	19.979
188	64.868	45.964	29.467	17.511
281	50.631	39.856	23.021	15.84
373	44.755	33.468	19.363	11.383
465	38.195	30.566	16.954	8.552
558	24.497	17.988	13.56	6.357
650	13.814	10.356	8.404	4.486
742	9.467	4.868	3.56	1.859
835	4.515	0.563	N.D.	N.D.
927	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

หมายเหตุ : N.D. = Not-detectable ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้

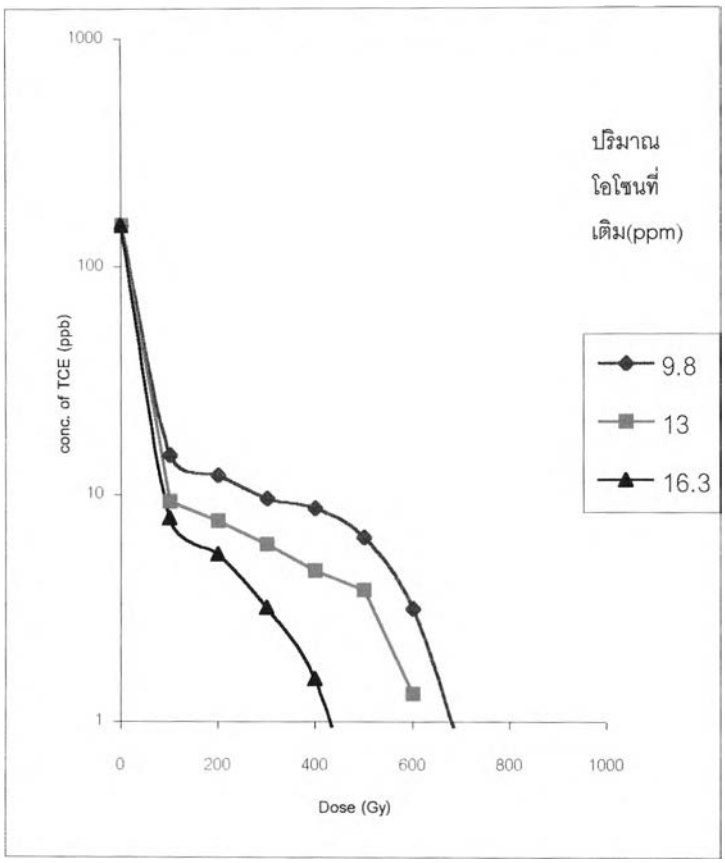


รูปที่4.5 ปริมาณของ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมา
และปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน(ปริมาณโอโซนต่ำ)

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมาและปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน (ปริมาณโอโซนสูง)

Dose (Gy)	ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบ(ppb)		
	ปริมาณ ozone ที่เติมให้แก่น้ำ (ppm)		
	9.8	13	16.3
0	151.84	151.84	151.84
96	14.846	9.318	7.893
188	12.13	7.656	5.502
281	9.634	6.05	3.184
373	8.748	4.624	1.547
465	6.518	3.81	0.329
558	3.15	1.32	N.D.
650	0.74	N.D.	N.D.
742	N.D.	N.D.	N.D.
835	N.D.	N.D.	N.D.
927	N.D.	N.D.	N.D.

หมายเหตุ : N.D. = Not-detectable ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้



รูปที่ 4.8 ปริมาณของ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมาและปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน (ปริมาณโอโซนสูง)

4.7 การฉายรังสีแกมมาร่วมกับโอโซนเพื่อลดปริมาณ PCE ในตัวอย่างน้ำ

น้ำเมื่อได้รับการฉายรังสีจะแตกตัวเป็น H atom, Solvated electron และ OH radical ซึ่ง OH radical เป็น radical ที่ทำปฏิกิริยากับ PCE เกิดเป็น CO_2 และ Cl ion ดังนั้นถ้าเราเพิ่มปริมาณของ OH radical ให้มากขึ้นจะสามารถลดปริมาณ PCE ได้มากขึ้น โอโซนที่เติมให้แก่ตัวอย่างน้ำ สามารถทำปฏิกิริยากับ H atom และ Solvated electron ที่เกิดขึ้นในขณะที่น้ำได้รับรังสี เกิดเป็น HO_3 radical ซึ่ง HO_3 radical นี้สามารถเปลี่ยนไปเป็น OH radical ได้ ดังปฏิกิริยาเคมี

$$e^- + O_3 \longrightarrow O_3^- \quad \text{และ} \quad H^\bullet + O_3 \longrightarrow HO_3^\bullet$$

$$O_3^- + H^+ \longrightarrow HO_3^\bullet$$

$$HO_3^\bullet + HO_3^\bullet \longrightarrow OH^\bullet + O_2$$

ดังนั้นจึงทำการเติมก๊าซโอโซนให้แก่ตัวอย่างน้ำเพื่อเพิ่มปริมาณ OH radical ให้มากขึ้น จากการทดลองนำตัวอย่างน้ำมาเติมโอโซน ที่ปริมาณต่าง ๆ ทำให้ตัวอย่างน้ำที่ได้มีความเข้มข้นของโอโซน ตั้งแต่ 1.62 – 16.3 ppm นำตัวอย่างน้ำที่ได้นี้ไปฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสีตั้งแต่ 100 – 1000 Gy ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.5 กล่าวคือ

เมื่อฉายรังสีแกมมาปริมาณ 96 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนแตกต่างกัน คือ 0 , 1.62 , 3.26 , 6.53 , 9.8 , 13 และ 16.3 ppm ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 30.442 ,25.148, 20.27 , 18.756 , 12.827 , 6.49 และ 3.78 ppb ตามลำดับ หรือคิดเป็นปริมาณ PCE ที่เหลือเท่ากับ 20 , 16.3 , 13 ,12 , 8.3 , 4.2 และ 2.44 % จากปริมาณเริ่มต้น เห็นได้ว่า ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนสูงจะตรวจพบปริมาณ PCE ได้น้อยกว่าตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนต่ำกว่า แสดงว่าโอโซนทำให้เกิด OH radical ได้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดปริมาณ PCE ที่ตรวจพบให้ลดลงเนื่องจากมีปริมาณ OH radical ที่ทำปฏิกิริยากับ TCEสูงขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีแกมมาเป็น 188 Gy จนถึง 927 Gy ให้แก่ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนแตกต่างกันโดยเปรียบเทียบที่ปริมาณรังสีเดียวกันพบว่า ตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนสูงกว่า จะตรวจพบปริมาณ PCE ได้น้อยกว่าตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนน้อยกว่า ยกตัวอย่างเช่น ที่ปริมาณรังสี 188 Gy ตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 1.63 , 3.26 , 6.53 ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 21.89, 14.258 และ 11.119 ppb ตามลำดับ

แสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนสูงกว่าสามารถลดปริมาณ PCE ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำได้ดีกว่าตัวอย่างน้ำที่มีความเข้มข้นของโอโซนที่ต่ำ

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนเท่ากัน แต่ได้รับปริมาณรังสีแกมมาที่ต่างกัน พบว่า ปริมาณรังสี 96 Gy สามารถลดปริมาณ PCE ที่ปนเปื้อนในน้ำได้ดีที่สุด คือ ลดปริมาณ PCE ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีสูงกว่า 100 Gy

ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซน 1.63 ppm ที่ปริมาณรังสี 96 Gy ตรวจพบ PCE เท่ากับ 25.148 ลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 130 ppb แต่เมื่อปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 188 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 21.689 ลดลงจากตัวอย่างน้ำที่ได้รับรังสี 96 Gy เพียง 3.459 ppb ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการทดลองของ P. Gehringer ที่ทดลองโดยใช้ Electron beam ร่วมกับโอโซน เพื่อลดปริมาณ PCE ในตัวอย่างน้ำ

การทดลองของ Gehringer ในช่วงแรกเมื่อฉายลำ electron ให้แก่ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซนแตกต่างกัน ด้วยปริมาณรังสีที่เท่ากัน ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบที่ปริมาณรังสี 100 Gy ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ PCE ที่ปริมาณเริ่มต้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสี ให้แก่ตัวอย่างน้ำด้วยปริมาณ 200 – 600 Gy พบว่าปริมาณ PCE ที่ตรวจพบจะลดลงอย่างช้า ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสี 100 Gy และเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีเท่ากัน แต่ได้รับปริมาณโอโซน ตัวอย่างน้ำที่ได้รับโอโซนสูงกว่าจะตรวจพบปริมาณ PCE ได้น้อยกว่า

จากการทดลองยังพบว่า ตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณโอโซนเท่ากับ 3.26 ppm ได้รับปริมาณรังสีเท่ากับ 465 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 10.026 ppb ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณโอโซน 6.53 ppm ได้รับปริมาณรังสี 373 Gy คือ 10.33 ppb ดังนั้น ในการบำบัดน้ำจริงเราสามารถเลือกใช้ปริมาณโอโซน หรือปริมาณรังสีให้แก่น้ำในปริมาณที่พอเหมาะได้ โดยยึดหลักทางเศรษฐศาสตร์คือ ถ้าค่าใช้จ่ายในการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสีสูงอาจเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าที่ปริมาณรังสีต่ำ เราสามารถลดปริมาณรังสีที่ให้แก่น้ำได้ โดยการเพิ่มปริมาณโอโซนแทน จึงประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า แต่สามารถลดปริมาณ PCE ในน้ำได้เท่ากัน

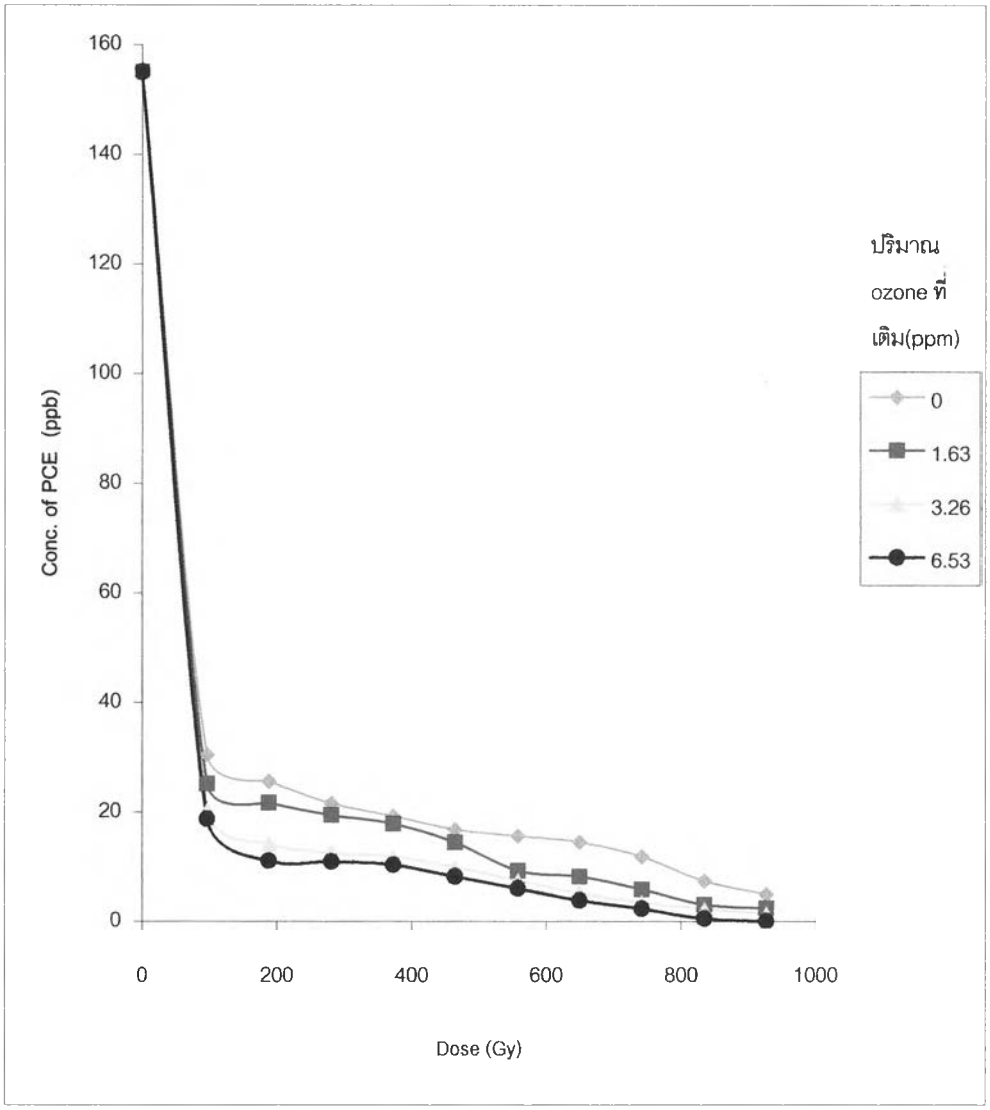
สำหรับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 90 Gy สามารถลดปริมาณของ PCE ได้น้อยกว่าตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณโอโซนสูงขึ้นอีก 3 ppm ยกตัวอย่างเช่น ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโอโซน 1.63 ppm. เมื่อได้รับรังสี 188 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 21.689 ppb แต่เมื่อเพิ่มปริมาณรังสีเป็น 281 Gy ตรวจพบปริมาณเท่ากับ PCE 19.446 ppb สำหรับตัวอย่างน้ำที่ได้รับโอโซน 3.26 ppm และปริมาณรังสี 200 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 14.258 ppb ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างน้ำทั้ง 2 ชนิดกับตัวอย่างน้ำชนิดแรก ตัวอย่างน้ำที่ได้รับโอโซน 3.26

ppm และปริมาณรังสี 188 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE น้อยกว่า แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณโอโซนมีผลต่อการลดลงของ PCE ได้ดีกว่าการเพิ่มปริมาณรังสี

ตารางที่ 4.9 ปริมาณของ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมาและปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน (ปริมาณโอโซนต่ำ)

Dose (Gy)	ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบ(ppb)			
	ปริมาณ ozone ที่เติมให้แก่น้ำ (ppm)			
	0	1.63	3.26	6.53
0	155	155	155	155
96	30.442	25.148	20.27	18.756
188	25.673	21.689	14.258	11.119
281	21.56	19.446	12.505	10.94
373	19.271	17.879	11.858	10.33
465	16.801	14.457	10.026	8.194
558	15.647	9.283	7.483	6.009
650	14.503	8.214	5.166	3.836
742	11.895	5.866	3.486	2.323
835	7.428	3.058	2.29	0.462
927	4.935	2.416	1.416	N.D.

หมายเหตุ : N.D. = Not-detectable ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้

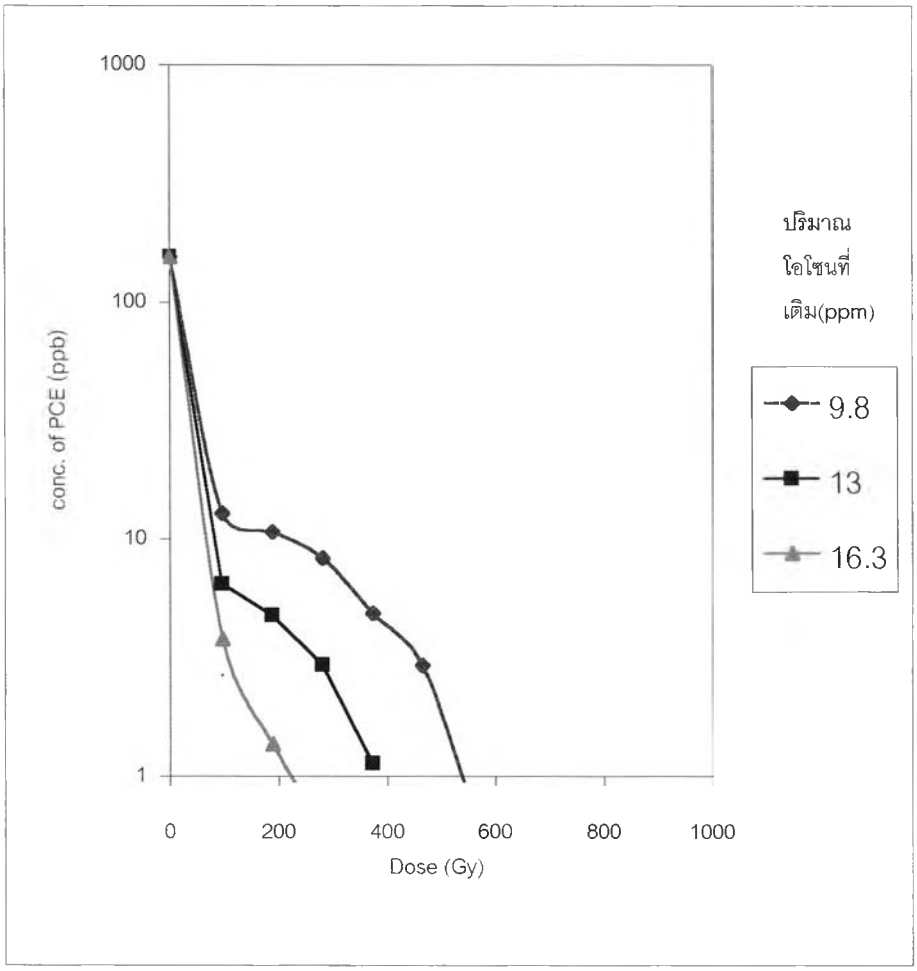


รูปที่4.7 ปริมาณของ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมา และปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน(ปริมาณโอโซนต่ำ)

ตารางที่4.10 ปริมาณของ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมาและปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน(ปริมาณโอโซนสูง)

Dose (Gy)	ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบ(ppb)		
	ปริมาณ ozone ที่เติมให้แก่น้ำ (ppm)		
	9.8	13	16.3
0	155	155	155
96	12.827	6.49	3.78
188	10.728	4.78	1.369
281	8.327	2.94	0.597
373	4.868	1.13	N.D.
465	2.925	N.D.	N.D.
558	0.72	N.D.	N.D.
650	N.D.	N.D.	N.D.
742	N.D.	N.D.	N.D.
835	N.D.	N.D.	N.D.
927	N.D.	N.D.	N.D.

หมายเหตุ : N.D. = Not-detectable ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้



รูปที่ 4.8 ปริมาณของ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีแกมมา และปริมาณโอโซนที่แตกต่างกัน(ปริมาณโอโซนสูง)

4.8 ผลของปริมาณโซเดียมไนเตรตที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำต่อการลดลงของ ปริมาณ TCE เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาให้แก่ตัวอย่างน้ำ

น้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติอาจมีการปนเปื้อนของสารประกอบต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ไนเตรต ไบคาร์บอเนต ซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งไนเตรตเป็นอิออนสำคัญที่พบได้บ่อยและมีผลต่อการลดลงของปริมาณ TCE เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาให้แก่น้ำทำให้เกิด OH radical , H atom และ solvated electron ไนเตรตสามารถทำปฏิกิริยากับ solvated electron เกิดเป็นไนไตรท์ไอออน ซึ่งไนไตรท์ไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับ OH radical ได้ดี ทำให้ OH radical ที่จะทำปฏิกิริยากับ TCE ลดลง ทำให้ปริมาณ TCE ลดลงน้อยกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีเท่าๆ กัน ดังนั้นจึงทำการทดลองศึกษาเพื่อหาผลของปริมาณโซเดียมไนเตรตในน้ำที่มีต่อการลดลงของ TCE เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาทำการศึกษาโดยเติมเกลือโซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$) ในปริมาณที่แตกต่างกันลงในตัวอย่างน้ำกลั่นจะได้ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตต่างกันคือ 1, 5 , 6 และ 10 ppm นำตัวอย่างน้ำที่ได้ไปฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสีที่แตกต่างกันได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6

ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตเท่ากับ 0, 1 , 5 และ 10 ppm เมื่อได้รับปริมาณรังสี 96 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 75.826 , 73.776 และ 76.298 ppb คิดเป็น 50 % โดยประมาณจากปริมาณเริ่มต้นตามลำดับ

ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตเท่ากับ 6 และ 10 ppm เมื่อได้รับปริมาณรังสี 96 Gy ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 80.223 และ 93.319 ppb คิดเป็น 53 % และ 61.5 % โดยประมาณจากปริมาณเริ่มต้น

จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณรังสี 96 Gy เท่ากัน ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตเท่ากับ 1 และ 5 ppm ตรวจพบปริมาณ TCE ได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำที่ไม่มีโซเดียมไนเตรตผสมอยู่ ส่วนตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 6 และ 10 ppm ตรวจพบปริมาณ PCE สูงกว่าตัวอย่างน้ำที่ไม่มีโซเดียมไนเตรตผสมอยู่

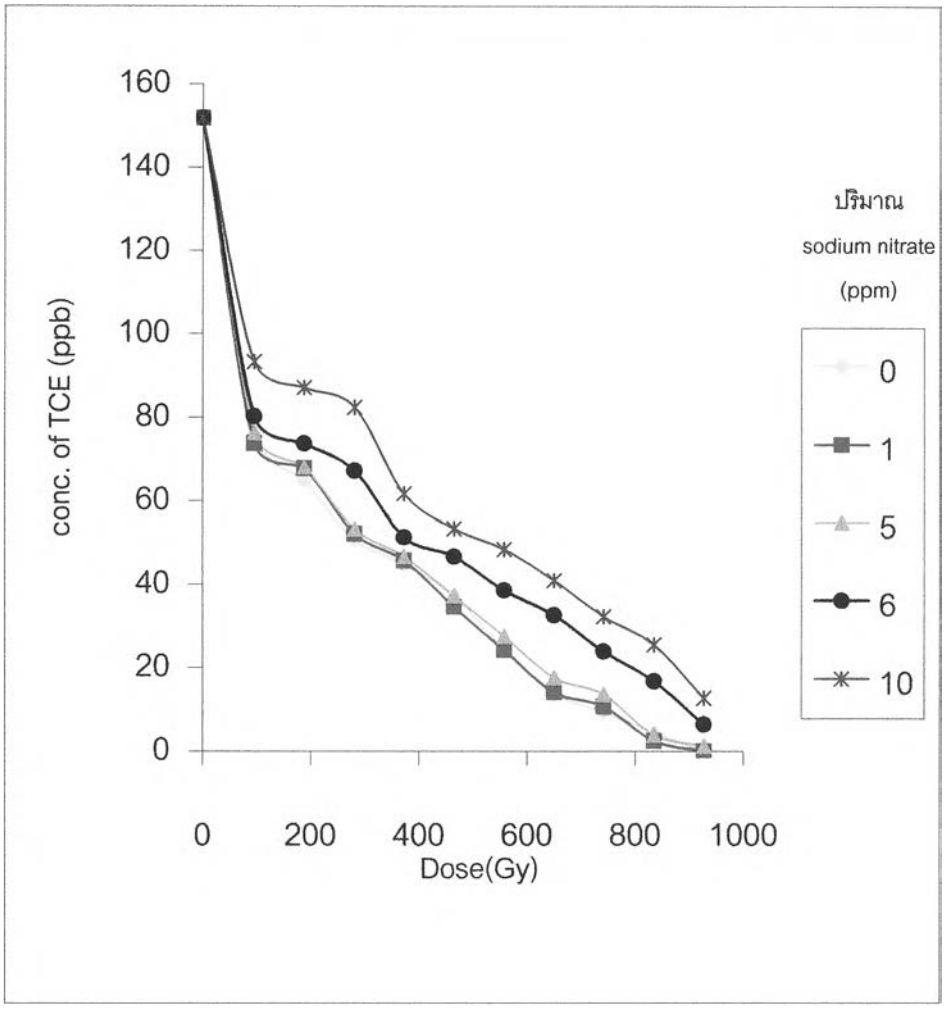
สำหรับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีสูงขึ้น คือ ได้รับรังสี 188 – 927 Gy. พบว่าตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 1 และ 5 ppm ตรวจพบปริมาณ TCE ใกล้เคียงกันและมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำที่ไม่มีโซเดียมไนเตรตผสมอยู่ ตัวอย่างเช่น ที่ปริมาณรังสี 373 Gy ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 0 , 1 และ 5 ppm ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 44.755 , 45.688 และ 46.606 ppb ตามลำดับ

ส่วนตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 6 และ 10 ppm ตรวจพบปริมาณ TCE เท่ากับ 51.23 และ 61.643 ppb ตามลำดับแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตสูงกว่า 5 ppm ขึ้นไปจึงจะมีผลต่อการลดลงของปริมาณ TCE เนื่องจาก ไนเตรตสามารถทำปฏิกิริยากับ solvated electron เกิดเป็นไนไตรท์ ซึ่งไนไตรท์สามารถทำปฏิกิริยากับ OH Radical ได้ดี ทำให้ปริมาณ OH Radical ลดลง ดังนั้น OH Radical ที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับ TCE จึงน้อยลง ทำให้ตรวจพบปริมาณ TCE ในน้ำได้ในปริมาณสูง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ P.Gehringer ที่ทดลองกับตัวอย่างน้ำ 2 ชนิด คือ ชนิด S water (60 ppm Nitrate) และ V water (6.5 ppm Nitrate) พบว่า ตัวอย่างน้ำชนิด S ตรวจพบปริมาณ TCE สูงกว่าตัวอย่างน้ำชนิด V ทุก ๆ ปริมาณรังสีที่เท่ากัน

ตารางที่ 4.11 ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตต่างกันเมื่อได้รับรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ

Dose (Gy)	ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบ(ppb)				
	ปริมาณ sodium nitrate ที่เติมให้แก่น้ำ (ppm)				
	0	1	5	6	10
0	151.84	151.84	151.84	151.84	151.84
96	75.821	73.776	76.298	80.223	93.319
188	64.868	67.762	68.183	73.776	87.094
281	50.631	52.134	53.23	67.177	82.378
373	44.755	45.688	46.606	51.23	61.643
465	37.195	34.524	37.198	46.606	53.337
558	24.497	24.206	27.481	38.476	48.387
650	13.814	14.117	17.59	32.56	40.914
742	9.467	10.75	13.574	23.888	32.235
835	4.515	2.48	3.846	16.81	25.527
927	0	0	1.24	6.39	12.769

หมายเหตุ : N.D. = Not-detectable ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณได้



รูปที่ 4.9 ปริมาณ TCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตต่างกัน เมื่อได้รับรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ

4.9 ผลของปริมาณโซเดียมไนเตรตที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำต่อการลดลงของ ปริมาณ PCE เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาให้แก่ตัวอย่างน้ำ

น้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติอาจมีการปนเปื้อนของสารประกอบต่าง ๆ ยกตัวอย่างเช่น ไนเตรต ไบคาร์บอเนต ซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งไนเตรตเป็นอิออนสำคัญที่พบได้บ่อยและมีผลต่อการลดลงของปริมาณ PCE เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาให้แก่น้ำทำให้เกิด OH radical , H atom และ solvated electron ไนเตรตสามารถทำปฏิกิริยากับ solvated electron เกิดเป็นไนไตรท์ไอออน ซึ่งไนไตรท์ไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับ OH radical ได้ดี ทำให้ OH radical ที่จะทำปฏิกิริยากับ PCE ลดลง จึงทำให้ปริมาณ PCE ลดลงน้อยกว่าปกติ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีเท่าๆกัน ดังนั้นจึงทำการทดลองศึกษาเพื่อหาผลของปริมาณโซเดียมไนเตรตในน้ำที่มีผลต่อการลดลงของ PCE เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาทำการศึกษาโดยเติมเกลือโซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$) ในปริมาณที่แตกต่างกันลงในตัวอย่างน้ำกลั่นจะได้ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตต่างกัน คือ 1 , 5 , 6 และ 10 ppm นำตัวอย่างน้ำที่ได้ไปฉายรังสีแกมมาด้วยปริมาณรังสีที่แตกต่างกันได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.7

ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตเท่ากับ 0, 1 และ 5 ppm เมื่อได้รับปริมาณรังสี 96 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 30.442, 31.741 และ 33.564 ppb ตามลำดับ คิดเป็น 20 % โดยประมาณจากปริมาณเริ่มต้น

ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตเท่ากับ 6 และ10 ppm เมื่อได้รับปริมาณรังสี 96 Gy ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 38.402 และ 45.23 ppb คิดเป็น 24.5% และ 30 % โดยประมาณจากปริมาณเริ่มต้น

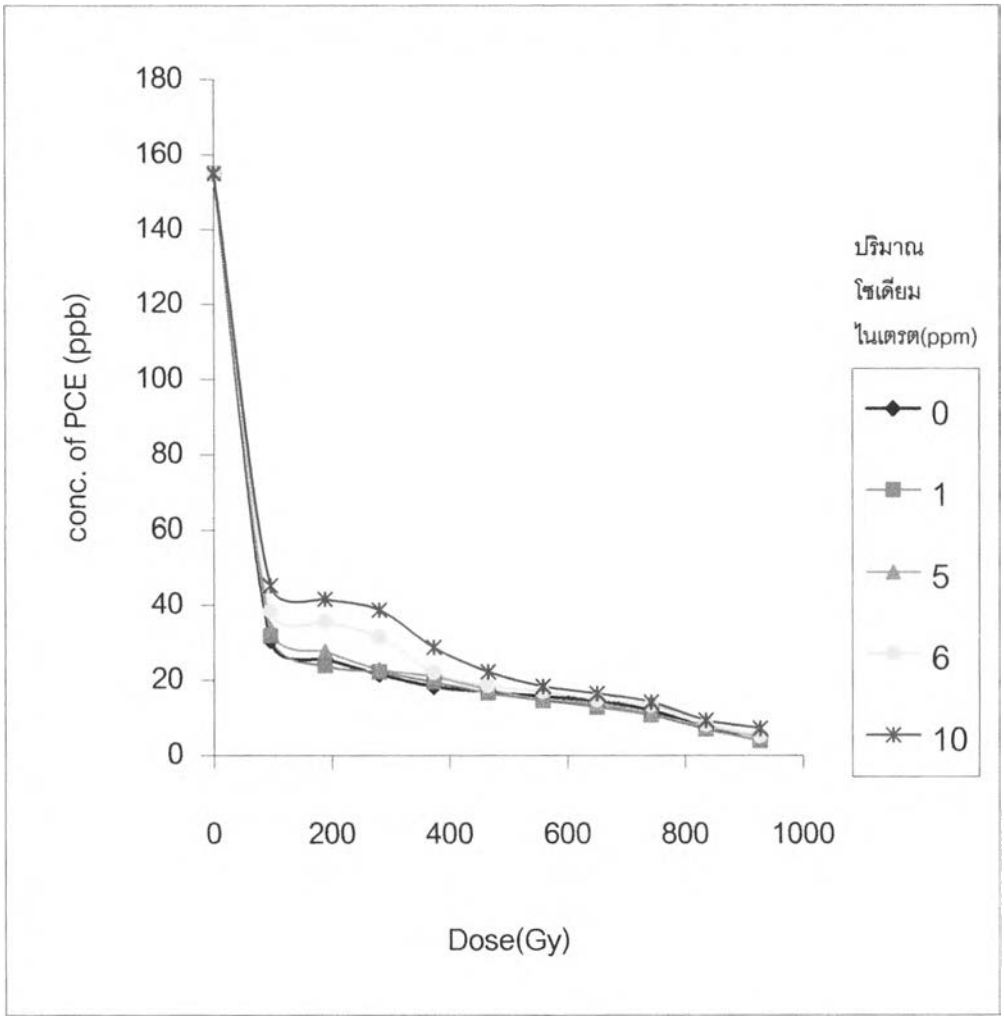
จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณรังสี 96 Gy เท่ากัน ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตเท่ากับ 1 และ 5 ppm ตรวจพบปริมาณ PCE ได้ใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำที่ไม่มีโซเดียมไนเตรตผสมอยู่ ส่วนตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 6 และ 10 ppm ตรวจพบปริมาณ PCE สูงกว่าตัวอย่างน้ำที่ไม่มีโซเดียมไนเตรตผสมอยู่

สำหรับตัวอย่างน้ำที่ได้รับปริมาณรังสีสูงขึ้น คือ ได้รับรังสี 188 – 927 Gy พบว่าตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 1 และ 5 ppm ตรวจพบปริมาณ PCE ได้ใกล้กันและมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างน้ำที่ไม่มีโซเดียมไนเตรตผสมอยู่ ตัวอย่างเช่น ที่ปริมาณรังสี 281 Gy ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 0, 1 และ 5 ppm ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 21.56 , 22.138 และ 22.947 ppb ตามลำดับ

ส่วนตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรต 6 และ 10 ppm ตรวจพบปริมาณ PCE เท่ากับ 31.42 และ 38.666 ppb ตามลำดับแสดงให้เห็นว่า ตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตสูงกว่า 5 ppm ขึ้นไปจึงจะมีผลต่อการลดลงของปริมาณ PCE เนื่องจาก ไนเตรตสามารถทำปฏิกิริยากับ solvated electron เกิดเป็นไนไตรท์ ซึ่งไนไตรท์สามารถทำปฏิกิริยากับ OH Radical ได้ดี ทำให้ปริมาณ OH Radical ลดลง ดังนั้น OH Radical ที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับ PCE จึงน้อยลง จึงตรวจพบปริมาณ PCE ในน้ำได้ในปริมาณสูง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองของ P.Gehringer ที่ทดลองโดยใช้ตัวอย่างน้ำ 2 ชนิด คือ ชนิด S water (60 ppm Nitrate) และ V water (6.5 ppm Nitrate) พบว่า ตัวอย่างน้ำชนิด S ตรวจพบปริมาณ PCE สูงกว่าตัวอย่างน้ำชนิด V ทุก ๆ ปริมาณรังสีที่เท่ากัน

ตารางที่ 4.12 ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตต่างกันเมื่อได้รับรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ

Dose (Gy)	ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบ(ppb)				
	ปริมาณ sodium nitrate ที่เติมให้แก่น้ำ (ppm)				
	0	1	5	6	10
0	155	155	155	155	155
96	30.442	31.741	33.564	38.402	45.23
188	25.673	23.879	27.673	35.617	41.581
281	21.56	22.138	22.947	31.42	38.666
373	18.271	19.476	20.938	22.052	28.737
465	16.801	16.541	17.539	18.527	22.179
558	15.647	14.562	14.87	16.905	18.392
650	14.503	12.794	13.651	14.75	16.45
742	11.895	10.721	10.962	13.283	14.187
835	7.428	6.937	7.567	8.254	9.336
927	4.935	3.841	4.875	5.23	7.165



รูปที่ 4.10 ปริมาณ PCE ที่ตรวจพบในตัวอย่างน้ำที่มีปริมาณโซเดียมไนเตรตต่างกัน เมื่อได้รับรังสีแกมมาที่ปริมาณต่างๆ