

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของ Liquid Scintillator

การเลือกใช้ Liquid Scintillator จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับไอโซโทปที่สนใจ สภาพทางเคมี สภาพทางฟิสิกส์ รวมถึงประสิทธิภาพการนับรังสี และความคงตัวตลอดช่วงเวลาของการนับรังสีซึ่งใช้เวลานานประมาณ 1 เดือน

การทดลองเลือกใช้ Liquid Scintillator ที่เตรียมสำเร็จจากผู้ผลิต ซึ่งเตรียมไว้สำหรับการนับรังสีตรีเทียมในรูปของน้ำ (Tritiated water) รวม 5 ชนิด ประกอบด้วย Ready gel Pico-flour Ready safe Ultima gold และ Quicksafe-400 พบว่า Ultima Gold LLT , Packard และ Quicksafe-400 , Zinsser เป็น Liquid Scintillator ที่เหมาะสมที่สุดในการนับรังสีตรีเทียมระดับต่ำสำหรับตัวอย่างที่เป็นน้ำบริสุทธิ์ เพราะในอัตราส่วนที่นับรังสี ตัวอย่างน้ำต่อ Liquid Scintillator เท่ากับ 10 : 10 อัตราส่วนนี้มีลักษณะเป็นของผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) และใส (Clear) นอกจากนี้ยังไม่พบการ diffusion ของ Scintillator จากการตรวจสอบน้ำหนักตลอดช่วงการนับรังสี 45 วัน ไม่ปรากฏการสูญเสียน้ำหนัก และการแยกชั้นของสารละลาย ดังแสดงในตารางที่ 4.1

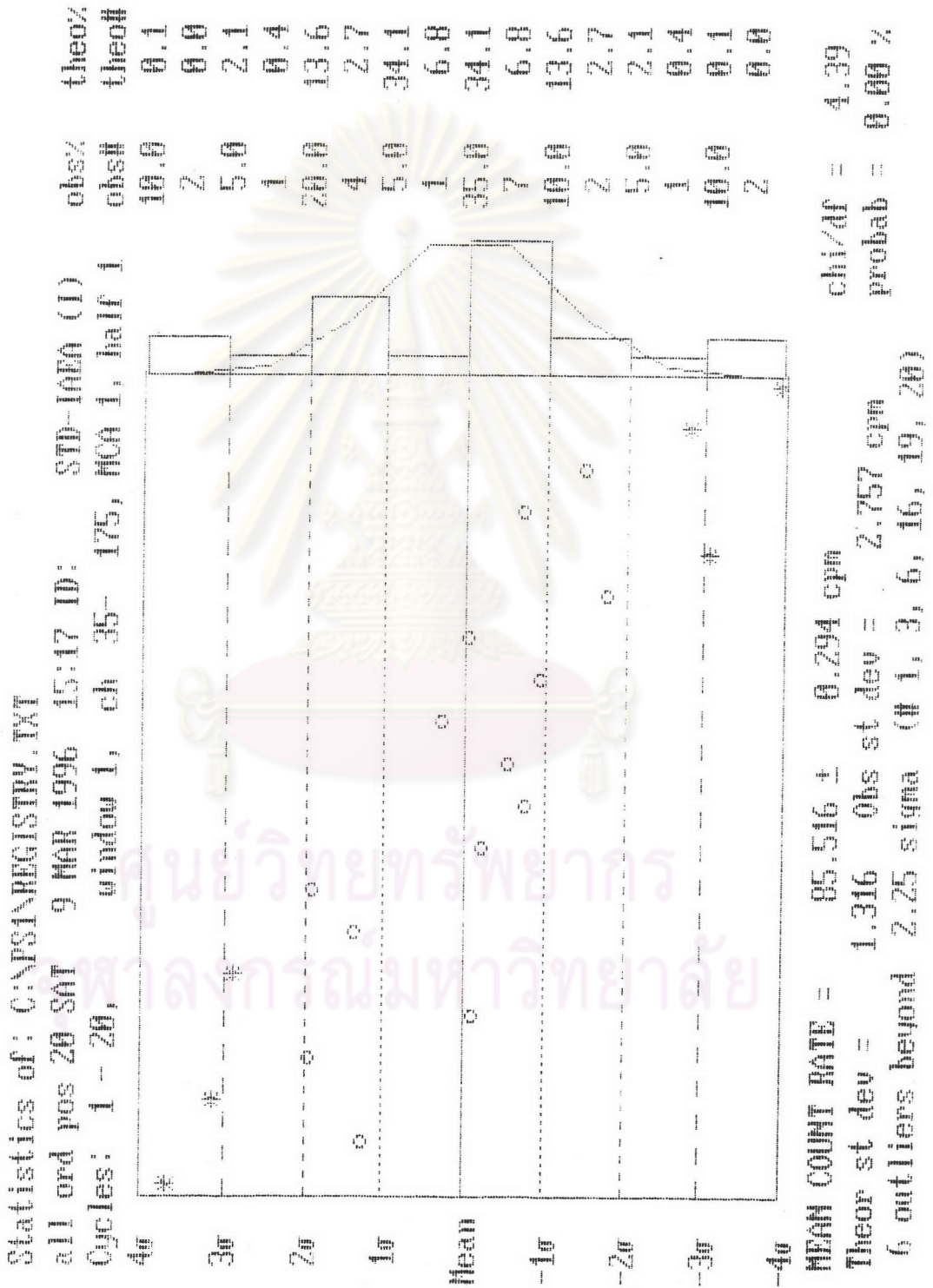
การตรวจสอบอัตรานับรังสีของน้ำตรีเทียมมาตรฐาน เปรียบเทียบระหว่างการใช้ Liquid Scintillator 2 แบบ คือแบบที่มีการสูญเสียน้ำหนักในช่วงเวลานับรังสี (Diffusion Scintillator) ผลปรากฏว่า อัตรานับรังสีจะลดลงตามเวลา และการกระจายค่าทางสถิติของการนับรังสี 20 ครั้ง อยู่ระหว่าง $\pm 4\sigma$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สำหรับ Liquid Scintillator ที่ไม่มีการสูญเสียน้ำหนักตลอดช่วงเวลานับรังสี (Non-Diffusion Scintillator) ให้อัตรานับรังสีค่อนข้างคงที่ เป็นไปตามหลักสถิติ โดยพบว่าการกระจายค่าทางสถิติของการนับรังสี 20 ครั้ง อยู่ระหว่าง $\pm 1\sigma$ โดยมีการกระจายของข้อมูลแบบ Gaussian ดังแสดงในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลายผสม

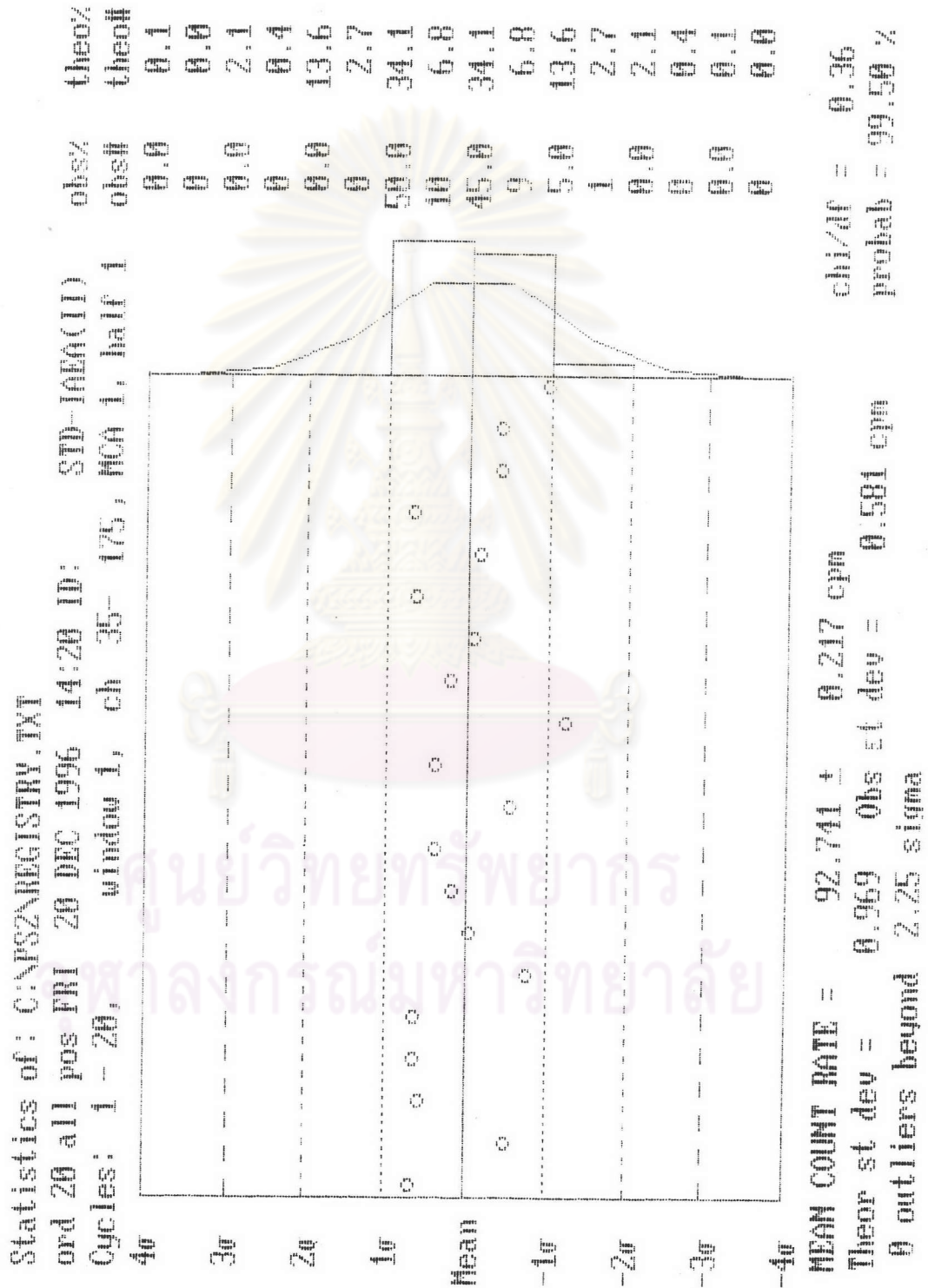
อัตราส่วน Water Sample : Scintillator 10 : 10 (v/v)

Liquid Scintillator	initial weight (g) & condition	Average weight loss of counting sample (g) & Condition			
		10 days	20 days	30 days	40 days
1. Ready gel Beckman	19.35 clear	0.30 clear	0.58 clear	0.88 clear	1.12 clear
2. Pico-flour Packard	19.25 clear	0.28 clear	0.55 clear	0.81 clear	1.05 clear
3. Ready Safe Beckman	19.70 clear	0.01 partial seperate	0.01 partial seperate	0.02 partial seperate	0.02 partial seperate
4. Ultima gold Packard	19.79 clear	0.00 clear	0.00 clear	0.00 clear	0.00 clear
5. Quicksafe- 400 , Zinsser	19.68 clear	0.00 clear	0.00 clear	0.00 clear	0.00 clear

รูปที่ 4.1 Statistics of count rate distribution using diffusion scintillator interval 30 days counting



รูปที่ 4.2 Statistics of count rate distribution using non-diffusion scintillator interval 30 days counting



4.2 ผลการหาค่า Figure of Merit (FM) และ Counting Efficiency (E)

การนับรังสีแบบซิลทิลเลขชั้นของเหลวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่ง โดยจะต้องเลือกตั้งช่วงของ Window ให้เหมาะสมโดยการพิจารณาจากค่า Figure of Merit (FM) และ ประสิทธิภาพการนับรังสี (Efficiency)

การวัดรังสีตรีเทียมระดับต่ำในตัวอย่างน้ำ ปรากฏ Spectrum ระหว่าง Channel ที่ 20 - 230 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างรังสีมาตรฐานและแบคกราวด์ พบว่าการวัดปริมาณตรีเทียมในน้ำจะมีความเหมาะสมที่สุดระหว่าง Channel 35 - 175 โดยให้อัตรานับแบคกราวด์ต่ำ และ อัตรานับรังสีสูง คำนวณค่า Efficiency เท่ากับ 22.92 % และ FM ได้เท่ากับ 914

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการนับรังสี และ Figure of Merit ที่ Window Setting ต่างๆ

Window		Count Rate (cpm)		Efficiency (%)	FM (E ² /Bg)	
LLD	ULD	Bg	STD			
1	230	.682	95.761	23.78	829	
5		.677	95.525	23.72	832	
10		.675	65.449	23.70	832	
15		.675	95.348	23.67	830	
20		.675	95.211	23.64	828	
25		.675	95.017	23.59	825	
30		.670	94.654	23.50	824	
35		.668	94.116	23.37	818	
40		.666	93.323	23.17	813	
45		.651	92.135	22.88	804	
50		.640	90.480	22.47	789	
35		225	.661	94.102	23.37	826
		220	.656	94.070	23.36	831

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) ประสิทธิภาพการนับรังสี และ Figure of Merit ที่ Window Setting ต่างๆ

Window		Count Rate (cpm)		Efficiency (%)	FM (E ² /Bg)
LLD	ULD	Bg	STD		
35	225	.661	94.102	23.37	826
	220	.656	94.070	23.36	831
	215	.649	94.028	23.35	840
	210	.639	93.976	23.34	852
	205	.630	93.891	23.32	863
	200	.621	93.780	23.30	873
	195	.613	93.621	23.26	883
	190	.604	93.415	23.21	892
	185	.595	93.144	23.14	900
	180	.589	92.741	23.04	902
	175	.575	92.249	22.92	914
	170	.560	91.643	22.78	927
	165	.549	90.842	22.58	928
	160	.535	89.810	22.33	932
	155	.525	88.567	22.02	924
	150	.509	87.029	21.64	919
	145	.488	85.153	21.17	919

4.3 ผลการตรวจวัดติดตามค่า Enrichment Factor (R)

ค่า Enrichment Factor (R) แสดงถึงคุณสมบัติและความสามารถในการเพิ่มความเข้มข้นของระบบ โดยอุดมคติค่า R ต้องมีค่าเท่ากันในทุกๆจุดของ Electrode ในระบบ ซึ่งค่า R ของเซลล์ใดเซลล์หนึ่งสามารถเป็นตัวแทนของเซลล์ใดๆในระบบได้ ผลการวัดค่าและติดตาม พบว่าได้ค่า R ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.869 ± 0.010 และ 0.876 ± 0.011 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่า Enrichment Factor (R) ของชุด Electrode & Electrolytic Cell (ครั้งที่ 1)

Cell No.	Initial weight (Wo) g.	Final weight (Wt) g.	weight ratio (Wo/Wt)	Initial activity (To) cpm(net)	final activity (Tt) cpm (net)	Enrichment (Tt/To)	Enrichment factor (R)
1	600.00	15.31	39.18	6.92	233.61	33.77	.862
2		15.11	39.70		239.23	34.58	.871
3		15.62	38.41		233.98	33.82	.880
4		15.42	38.91		231.06	33.40	.858
5		15.63	38.39		232.66	33.63	.876
6		15.50	38.70		232.10	33.55	.867
7		15.26	39.31		232.73	33.64	.856
8		14.81	40.51		240.99	34.83	.860
9		15.13	39.66		231.52	33.46	.844
10		15.04	39.90		237.16	34.28	.859
11		15.19	39.50		237.19	34.28	.868
12		15.60	38.45		231.02	33.39	.868
13		15.62	38.41		231.73	33.49	.872
14		15.68	38.26		228.26	32.99	.862
15		15.19	39.50		229.10	33.11	.838
16		15.20	39.48		232.08	33.54	.850
Average							0.869 ± 0.010

ตารางที่ 4.4 ค่า Enrichment Factor (R) ของชุด Electrode & Electrolytic Cell (ครั้งที่ 2)

Cell No.	Initial weight (Wo) g.	Final weight (Wt) g.	weight ratio (Wo/Wt)	Initial activity (To) cpm(net)	final activity (Tt) cpm (net)	Enrichment (Tt/To)	Enrichment factor (R)
1	600.00	14.32	41.91	6.69	244.33	36.55	.872
2		14.61	41.07		241.23	36.08	.878
3		14.91	40.25		236.43	35.36	.879
4		14.91	40.25		235.36	35.20	.875
5		14.81	40.52		238.86	35.73	.882
6		14.53	41.29		240.65	35.99	.872
7		14.82	40.50		235.17	35.18	.869
8		14.71	40.80		238.19	35.63	.873
9		14.62	41.03		236.81	35.42	.863
10		14.91	40.25		241.31	36.09	.897
11		14.62	41.05		237.82	35.57	.867
12		14.92	40.23		235.54	35.23	.876
13		14.80	40.54		237.50	35.52	.876
14		14.61	41.07		241.80	36.17	.881
15		14.91	40.25		232.81	34.82	.865
16		14.71	40.80		240.56	35.98	.882
Average							0.875 ± 0.011

4.4 การตรวจสอบ Contamination จากผลของ Memory Effect

ในการเพิ่มความเข้มข้นตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลอง (batch) ชุดของ Electrolytic Cell & Electrode ที่ใช้กับ Spike ซึ่งเป็นน้ำที่มีความแรงรังสีสูง (เมื่อเทียบกับตัวอย่างน้ำบาดาลและน้ำฝน) จะถูกนำมาใช้กับตัวอย่างน้ำอ้างอิง (Reference) ซึ่งปกติจะเป็นน้ำปราศจากตรีเทียม ในการวิจัยใช้น้ำอ้างอิงที่เก็บจากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology) ที่ระดับความลึก 272 เมตร รหัสบ่อ JICA-B1 ประมาณอายุด้วยเทคนิค C-14 dating เท่ากับ 20000 ปี

หลังจากชุด Electrolytic Cell & Electrode ที่ใช้ทำงานกับ Spike ความเข้มข้นตรีเทียม ประมาณ 10,000 - 15,000 TU ผลจากการตรวจสอบพบตรีเทียมในตัวอย่างน้ำอ้างอิงทุกครั้ง มีค่าระหว่าง 0.1 - 0.4 TU จากการส่งตัวอย่างน้ำอ้างอิงนี้ไปตรวจวัดปริมาณตรีเทียมที่ห้องปฏิบัติการตรีเทียม ที่สถาบัน Institute of Geological and Nuclear Science (IGNS) เมือง Lower Hutt ประเทศ New Zealand ยืนยันว่าน้ำอ้างอิงมี Tritium Content เท่ากับ 0.13 ± 0.02 TU แสดงว่าในระบบมีผลจาก Memory Effect

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจสอบ Memory Effect ของชุด Electrode & Electrolytic Cell

Batch to Batch	Concentration used in Spike (TU)	Concentration found in Reference (TU)
13 - 14	14129.6	0.3
14 - 15	9686.6	0.3
15 - 16	11112.7	0.1
16 - 17	10926.0	0.4
17 - 18	10650.9	0.4
18 - 19	10760.6	0.2
19 - 20	11968.0	0.4
20 - 21	12683.5	-
21 - 22	12503.5	0.3

4.5 ผลการวัดปริมาณตรีเทียมในน้ำบาดาล

ตัวอย่างน้ำบาดาลในงานวิจัยนี้ เก็บมาจากเขตจังหวัดขอนแก่น จำนวน 12 ตัวอย่าง และเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 5 ตัวอย่าง ผลการวัดปริมาณตรีเทียมในน้ำบาดาล พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.0 - 4.1 TU ดังแสดงในตารางที่ 4.6

4.6 ผลการวัดปริมาณตรีเทียมในน้ำฝน

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำฝนจากเขตจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 6 ตัวอย่าง ประกอบด้วย จังหวัดขอนแก่น อุบลราชธานี มุกดาหาร นครราชสีมา พบปริมาณตรีเทียมอยู่ระหว่าง 2.3 - 3.5 TU

ตัวอย่างน้ำฝนจากเขตจังหวัดในภาคตะวันออก 1 ตัวอย่าง จากจังหวัดชลบุรี พบปริมาณตรีเทียมเท่ากับ 2.0 TU

ตัวอย่างน้ำฝนจากเขตจังหวัดในภาคกลาง 5 ตัวอย่าง จากจังหวัดนครปฐม อยุธยา และ นครศรีธรรมราช พบปริมาณตรีเทียมมีค่าอยู่ระหว่าง 2.9 - 8.2 TU

ตัวอย่างน้ำฝนจากเขตจังหวัดในภาคใต้ 2 ตัวอย่าง จากจังหวัดกระบี่ และ สุราษฎร์ธานี พบปริมาณตรีเทียมมีค่าอยู่ระหว่าง 3.9 - 4.2 TU

ตัวอย่างน้ำฝนที่เก็บจากคาดฟ้าของอาคารทำการ สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ เขตบางเขน กรุงเทพฯ ซึ่งเป็น Nuclear Center ของประเทศ จำนวน 3 ตัวอย่าง พบปริมาณตรีเทียมมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 7.5 - 22.1 TU ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ผลการวัดปริมาณตรีเทียมในตัวอย่างน้ำบาดาล

ลำดับที่	รหัส	สถานที่เก็บตัวอย่าง	ระดับความลึกของชั้นน้ำ(m)	วันเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นรังสีตรีเทียม (TU)			ค่าเฉลี่ย (TU)
					ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	THK-09	รร.บ้านม่วง บ้านทุ่ม อ.เมือง ขอนแก่น	36-48	20 กพ. 2539	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1
2	THK-19	วัดสุนทโรวาส โลกสี อ.เมือง ขอนแก่น	-	16 กพ. 2539	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1
3	THK-21	รร.มารานาธา โนนสมบรูณ์ อ.บ้านไผ่ ขอนแก่น	* 27-103	26 พย. 2538	0.7 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1
4	THK-26	วัดวิจารณ์าราม ต.บ้านค้อ อ.เมือง ขอนแก่น	30-36	19 กพ. 2539	0.9 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1
5	THK-28	บ้านโนนสวรรค์ ต.แดงใหญ่ อ.เมือง ขอนแก่น	24-30	20 กพ. 2539	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.0
6	THK-30	รร.บ้านเหล่านาคี ต.บ้านหว้า อ.เมือง ขอนแก่น	18-34	27 กพ. 2539	4.2 ± 0.2	4.1 ± 0.2	4.0 ± 0.2	4.1 ± 0.2
7	THK-38	รร.บ้านหนองแซง ต.บ้านแฮด อ.บ้านไผ่ ขอนแก่น	31-37,43-49	29 พย. 2538	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1
8	THK-45	บ.หนองเม็ก ต.โนนสมบรูณ์ อ.บ้านไผ่ ขอนแก่น	12-18,31-37	26 พย. 2538	2.4 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.4 ± 0.1
9	THK-47	รร.บ้านหนองโจด ต.บ้านเป็ด อ.เมือง ขอนแก่น	31-37	28 พย. 2538	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1
10	THK-48	รร.บ้านโพธิ์ชุมดิน ต.พระบุ อ.พระยืน ขอนแก่น	18-24	28 กพ. 2539	0.3 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1
11	THK-49	บ.คอกคี่ ต.บัวใหญ่ อ.น้ำพอง ขอนแก่น	34-30	16 กพ. 2539	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.4 ± 0.1
12	STS	สนามฟุตบอล สาธิตศึกษาศาสตร์ ม.ขอนแก่น	-	15 พค. 2539	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1
13	DW-2	เขาร่อนนา อ.ร่อนพิบูลย์ นครศรีธรรมราช	-	08 สค. 2539	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.3 ± 0.1
14	DW-6	ทางเข้าบ้านสวนจันทร์ อ.ร่อนพิบูลย์ นครศรีธรรมราช	-	08 สค. 2539	2.4 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.5 ± 0.1
15	DW-7	บ้านสวนจันทร์ อ.ร่อนพิบูลย์ นครศรีธรรมราช	-	08 สค. 2539	1.0 ± 0.1	0.9 ± 0.1	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1
16	DW-8	สาธารณสุขอำเภอ อ.ร่อนพิบูลย์ นครศรีธรรมราช	-	08 สค. 2539	2.7 ± 0.1	2.6 ± 0.1	2.5 ± 0.1	2.6 ± 0.1
17	DW-10	สนามยิงปืน อ.ร่อนพิบูลย์ นครศรีธรรมราช	-	08 สค. 2539	2.2 ± 0.1	2.4 ± 0.1	2.2 ± 0.1	2.3 ± 0.1

* ชั้นน้ำรวม 6 ชั้น ที่ระดับความลึก 27-36 , 42-50 , 55-63 , 69-77 , 82-90 , 97-103 m.

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดปริมาณตรีเทียมในตัวอย่างน้ำฝน

ลำดับที่	รหัส	สถานที่เก็บตัวอย่าง	วันเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นรังสีตรีเทียม (TU)			ค่าเฉลี่ย (TU)
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	R38SP	2 หมู่ 11 ต.ไร่จิง อ.สามพราน นครปฐม	พค. - ตค. 2538	4.3 ± 0.1	4.4 ± 0.1	4.3 ± 0.1	4.3 ± 0.1
2	R39SP-1	2 หมู่ 11 ต.ไร่จิง อ.สามพราน นครปฐม	10 พค. 2539	5.0 ± 0.2	5.2 ± 0.2	5.2 ± 0.2	5.1 ± 0.1
3	R39SP-2	2 หมู่ 11 ต.ไร่จิง อ.สามพราน นครปฐม	12 พค. 2539	8.2 ± 0.2	8.2 ± 0.2	8.1 ± 0.2	8.2 ± 0.1
4	R38OAEP1	ศาลฟ้าชั้น 7 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ	3-4 ตค. 2538	22.2 ± 0.8	21.7 ± 0.8	22.4 ± 0.8	22.1 ± 0.5
5	R38OAEP3	ศาลฟ้าชั้น 7 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ	4-5 ตค. 2538	19.2 ± 0.7	19.0 ± 0.7	19.3 ± 0.7	19.2 ± 0.4
6	R39OAEP	ศาลฟ้าชั้น 7 สำนักงานพลังงานปรมาณูเพื่อสันติ	28 มีค. 2539	7.6 ± 0.2	7.6 ± 0.2	7.4 ± 0.2	7.5 ± 0.1
7	R38BW	รร.บ้านเหล่านาดี ต.บ้านห้วย อ.เมือง ขอนแก่น	พค. - ตค. 2538	2.9 ± 0.1	3.0 ± 0.1	3.0 ± 0.1	3.0 ± 0.1
8	R38BH	รร.บ้านหนองแซง ต.บ้านแฮด อ.บ้านไผ่ ขอนแก่น	พค. - ตค. 2538	2.9 ± 0.1	3.1 ± 0.1	3.0 ± 0.1	3.0 ± 0.1
9	R38KORAT	กองบิน 1 อ.เมือง นครราชสีมา	พค. - ตค. 2538	3.5 ± 0.1	3.6 ± 0.1	3.5 ± 0.1	3.5 ± 0.1
10	R39THON	ม.สุพรรณนิการ์ ถ.วงแหวน ชลบุรี	16-19 กค. 2539	2.9 ± 0.1	2.9 ± 0.1	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.1
11	R39CH/M	20/88 ม.5 ต.ห้วยกะปิ อ.เมือง ชลบุรี	07 กค. 2539	1.9 ± 0.1	2.1 ± 0.1	2.0 ± 0.1	2.0 ± 0.1
12	R39KRABI	ต.นาเหนือ อ.อ่าวลึก จ.กระบี่	23 กย. 2539	3.8 ± 0.2	3.9 ± 0.1	4.1 ± 0.1	3.9 ± 0.1
13	R39SR	ถ.เพชรเกษม ต.หัวเตย อ.พุนพิน สุราษฎร์ธานี	23 กย. 2539	4.2 ± 0.1	4.2 ± 0.1	4.1 ± 0.1	4.2 ± 0.1
14	R39AY	อ.บางบาล อ.อยุธยา	17 ตค. 2539	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.9 ± 0.1
15	R39U/KC1	ว.เกษตรกรรม ต.หนองขอน อ.เมือง อุบลราชธานี	17 กย. 2539	2.8 ± 0.1	2.9 ± 0.1	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.1
16	R39U/KC2	ว.เกษตรกรรม ต.หนองขอน อ.เมือง อุบลราชธานี	30 กย. 2539	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.1
17	R39MUK	เรือนจำกลางมุกดาหาร อ.เมือง มุกดาหาร	พค. - ตค. 2539	2.9 ± 0.1	3.0 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.9 ± 0.1