



เคมี

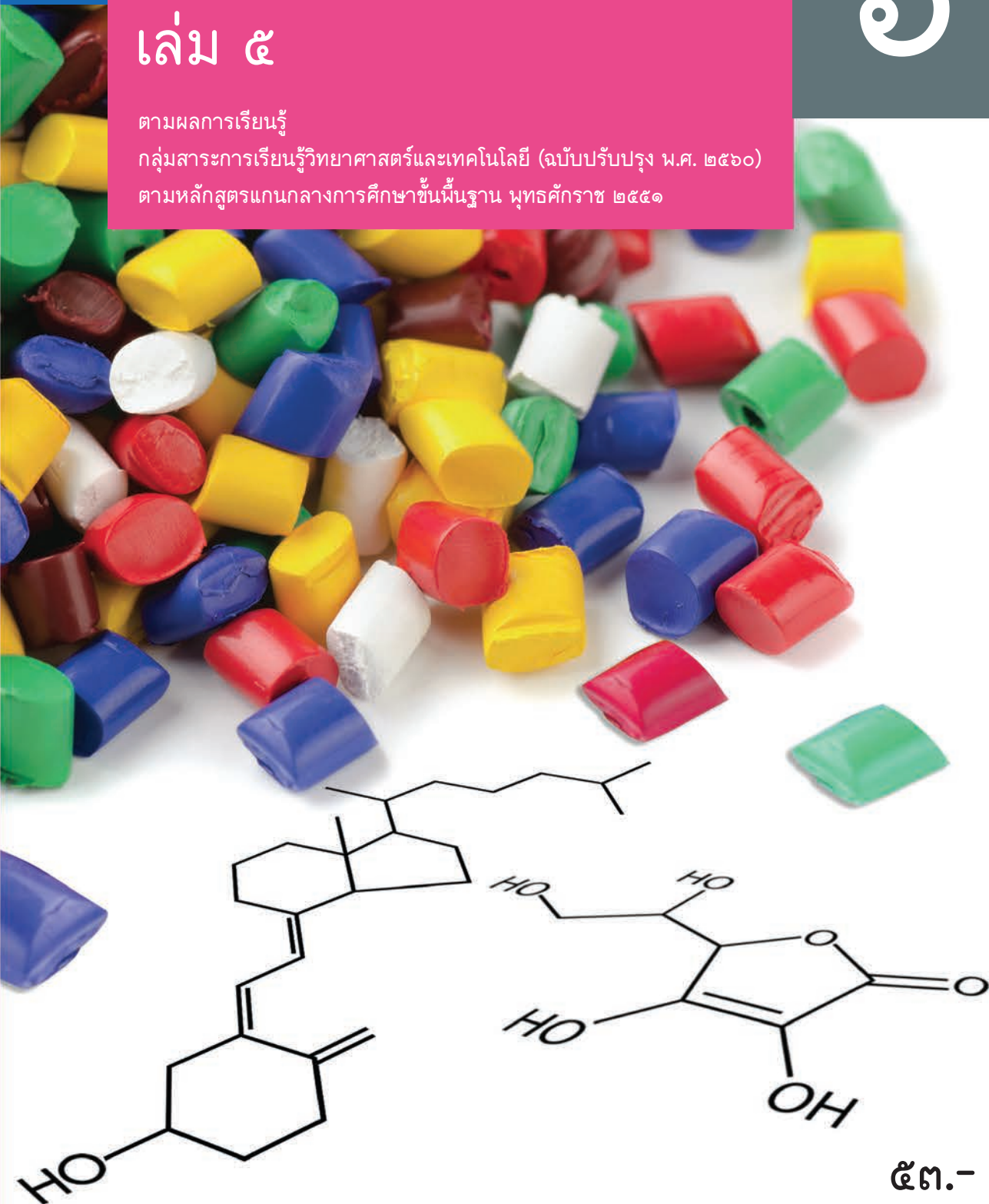
เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๖



ตารางธาตุ

1
IA

2
IIA

3
IIIB

4
IVB

5
VB

6
VIB

7
VIIB

8
VIII

9
VIIB

10
IIB

11
IB

12
IIB

13
IIIA

14
IVA

15
VA

16
VIA

17
VIIA

18
VIIIA

โลหะ

อโลหะ

กึ่งโลหะ

1 H hydrogen 1.01	2 He helium 4.00	3 Li lithium 6.94	4 Be beryllium 9.01	5 B boron 10.81	6 C carbon 12.01	7 N nitrogen 14.01	8 O oxygen 16.00	9 F fluorine 19.00	10 Ne neon 20.18	11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium 24.30	13 Al aluminium 26.98	14 Si silicon 28.08	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur 32.06	17 Cl chlorine 35.45	18 Ar argon 39.95	19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc 65.38	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.97	35 Br bromine 79.90	36 Kr krypton 83.80	37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.95	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.07	45 Rh rhodium 102.91	46 Pd palladium 106.42	47 Ag silver 107.87	48 Cd cadmium 112.41	49 In indium 114.82	50 Sn tin 118.71	51 Sb antimony 121.76	52 Te tellurium 127.60	53 I iodine 126.90	54 Xe xenon 131.29	55 Cs caesium 132.91	56 Ba barium 137.33	57-71 lanthanoids *	72 Hf hafnium 178.49	73 Ta tantalum 180.95	74 W tungsten 183.84	75 Re rhenium 186.21	76 Os osmium 190.23	77 Ir iridium 192.22	78 Pt platinum 195.08	79 Au gold 196.97	80 Hg mercury 200.59	81 Tl thallium 204.38	82 Pb lead 207.20	83 Bi bismuth 208.98	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon	87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids **	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Nh nihonium	114 Fl flerovium	115 Mc moscovium	116 Lv livermorium	117 Ts tennessine	118 Og oganesson	119 Nh nihonium	120 Ds darmstadtium	121 Rg roentgenium	122 Cn copernicium	123 Nh nihonium	124 Fl flerovium	125 Mc moscovium	126 Lv livermorium	127 Ts tennessine	128 Og oganesson	129 Nh nihonium	130 Ds darmstadtium	131 Rg roentgenium	132 Cn copernicium	133 Nh nihonium	134 Fl flerovium	135 Mc moscovium	136 Lv livermorium	137 Ts tennessine	138 Og oganesson	139 Nh nihonium	140 Ds darmstadtium	141 Rg roentgenium	142 Cn copernicium	143 Nh nihonium	144 Fl flerovium	145 Mc moscovium	146 Lv livermorium	147 Ts tennessine	148 Og oganesson	149 Nh nihonium	150 Ds darmstadtium	151 Rg roentgenium	152 Cn copernicium	153 Nh nihonium	154 Fl flerovium	155 Mc moscovium	156 Lv livermorium	157 Ts tennessine	158 Og oganesson	159 Nh nihonium	160 Ds darmstadtium	161 Rg roentgenium	162 Cn copernicium	163 Nh nihonium	164 Fl flerovium	165 Mc moscovium	166 Lv livermorium	167 Ts tennessine	168 Og oganesson	169 Nh nihonium	170 Ds darmstadtium	171 Rg roentgenium	172 Cn copernicium	173 Nh nihonium	174 Fl flerovium	175 Mc moscovium	176 Lv livermorium	177 Ts tennessine	178 Og oganesson	179 Nh nihonium	180 Ds darmstadtium	181 Rg roentgenium	182 Cn copernicium	183 Nh nihonium	184 Fl flerovium	185 Mc moscovium	186 Lv livermorium	187 Ts tennessine	188 Og oganesson	189 Nh nihonium	190 Ds darmstadtium	191 Rg roentgenium	192 Cn copernicium	193 Nh nihonium	194 Fl flerovium	195 Mc moscovium	196 Lv livermorium	197 Ts tennessine	198 Og oganesson	199 Nh nihonium	200 Ds darmstadtium	201 Rg roentgenium	202 Cn copernicium	203 Nh nihonium	204 Fl flerovium	205 Mc moscovium	206 Lv livermorium	207 Ts tennessine	208 Og oganesson	209 Nh nihonium	210 Ds darmstadtium	211 Rg roentgenium	212 Cn copernicium	213 Nh nihonium	214 Fl flerovium	215 Mc moscovium	216 Lv livermorium	217 Ts tennessine	218 Og oganesson	219 Nh nihonium	220 Ds darmstadtium	221 Rg roentgenium	222 Cn copernicium	223 Nh nihonium	224 Fl flerovium	225 Mc moscovium	226 Lv livermorium	227 Ts tennessine	228 Og oganesson	229 Nh nihonium	230 Ds darmstadtium	231 Rg roentgenium	232 Cn copernicium	233 Nh nihonium	234 Fl flerovium	235 Mc moscovium	236 Lv livermorium	237 Ts tennessine	238 Og oganesson	239 Nh nihonium	240 Ds darmstadtium	241 Rg roentgenium	242 Cn copernicium	243 Nh nihonium	244 Fl flerovium	245 Mc moscovium	246 Lv livermorium	247 Ts tennessine	248 Og oganesson	249 Nh nihonium	250 Ds darmstadtium	251 Rg roentgenium	252 Cn copernicium	253 Nh nihonium	254 Fl flerovium	255 Mc moscovium	256 Lv livermorium	257 Ts tennessine	258 Og oganesson	259 Nh nihonium	260 Ds darmstadtium	261 Rg roentgenium	262 Cn copernicium	263 Nh nihonium	264 Fl flerovium	265 Mc moscovium	266 Lv livermorium	267 Ts tennessine	268 Og oganesson	269 Nh nihonium	270 Ds darmstadtium	271 Rg roentgenium	272 Cn copernicium	273 Nh nihonium	274 Fl flerovium	275 Mc moscovium	276 Lv livermorium	277 Ts tennessine	278 Og oganesson	279 Nh nihonium	280 Ds darmstadtium	281 Rg roentgenium	282 Cn copernicium	283 Nh nihonium	284 Fl flerovium	285 Mc moscovium	286 Lv livermorium	287 Ts tennessine	288 Og oganesson	289 Nh nihonium	290 Ds darmstadtium	291 Rg roentgenium	292 Cn copernicium	293 Nh nihonium	294 Fl flerovium	295 Mc moscovium	296 Lv livermorium	297 Ts tennessine	298 Og oganesson	299 Nh nihonium	300 Ds darmstadtium	301 Rg roentgenium	302 Cn copernicium	303 Nh nihonium	304 Fl flerovium	305 Mc moscovium	306 Lv livermorium	307 Ts tennessine	308 Og oganesson	309 Nh nihonium	310 Ds darmstadtium	311 Rg roentgenium	312 Cn copernicium	313 Nh nihonium	314 Fl flerovium	315 Mc moscovium	316 Lv livermorium	317 Ts tennessine	318 Og oganesson	319 Nh nihonium	320 Ds darmstadtium	321 Rg roentgenium	322 Cn copernicium	323 Nh nihonium	324 Fl flerovium	325 Mc moscovium	326 Lv livermorium	327 Ts tennessine	328 Og oganesson	329 Nh nihonium	330 Ds darmstadtium	331 Rg roentgenium	332 Cn copernicium	333 Nh nihonium	334 Fl flerovium	335 Mc moscovium	336 Lv livermorium	337 Ts tennessine	338 Og oganesson	339 Nh nihonium	340 Ds darmstadtium	341 Rg roentgenium	342 Cn copernicium	343 Nh nihonium	344 Fl flerovium	345 Mc moscovium	346 Lv livermorium	347 Ts tennessine	348 Og oganesson	349 Nh nihonium	350 Ds darmstadtium	351 Rg roentgenium	352 Cn copernicium	353 Nh nihonium	354 Fl flerovium	355 Mc moscovium	356 Lv livermorium	357 Ts tennessine	358 Og oganesson	359 Nh nihonium	360 Ds darmstadtium	361 Rg roentgenium	362 Cn copernicium	363 Nh nihonium	364 Fl flerovium	365 Mc moscovium	366 Lv livermorium	367 Ts tennessine	368 Og oganesson	369 Nh nihonium	370 Ds darmstadtium	371 Rg roentgenium	372 Cn copernicium	373 Nh nihonium	374 Fl flerovium	375 Mc moscovium	376 Lv livermorium	377 Ts tennessine	378 Og oganesson	379 Nh nihonium	380 Ds darmstadtium	381 Rg roentgenium	382 Cn copernicium	383 Nh nihonium	384 Fl flerovium	385 Mc moscovium	386 Lv livermorium	387 Ts tennessine	388 Og oganesson	389 Nh nihonium	390 Ds darmstadtium	391 Rg roentgenium	392 Cn copernicium	393 Nh nihonium	394 Fl flerovium	395 Mc moscovium	396 Lv livermorium	397 Ts tennessine	398 Og oganesson	399 Nh nihonium	400 Ds darmstadtium	401 Rg roentgenium	402 Cn copernicium	403 Nh nihonium	404 Fl flerovium	405 Mc moscovium	406 Lv livermorium	407 Ts tennessine	408 Og oganesson	409 Nh nihonium	410 Ds darmstadtium	411 Rg roentgenium	412 Cn copernicium	413 Nh nihonium	414 Fl flerovium	415 Mc moscovium	416 Lv livermorium	417 Ts tennessine	418 Og oganesson	419 Nh nihonium	420 Ds darmstadtium	421 Rg roentgenium	422 Cn copernicium	423 Nh nihonium	424 Fl flerovium	425 Mc moscovium	426 Lv livermorium	427 Ts tennessine	428 Og oganesson	429 Nh nihonium	430 Ds darmstadtium	431 Rg roentgenium	432 Cn copernicium	433 Nh nihonium	434 Fl flerovium	435 Mc moscovium	436 Lv livermorium	437 Ts tennessine	438 Og oganesson	439 Nh nihonium	440 Ds darmstadtium	441 Rg roentgenium	442 Cn copernicium	443 Nh nihonium	444 Fl flerovium	445 Mc moscovium	446 Lv livermorium	447 Ts tennessine	448 Og oganesson	449 Nh nihonium	450 Ds darmstadtium	451 Rg roentgenium	452 Cn copernicium	453 Nh nihonium	454 Fl flerovium	455 Mc moscovium	456 Lv livermorium	457 Ts tennessine	458 Og oganesson	459 Nh nihonium	460 Ds darmstadtium	461 Rg roentgenium	462 Cn copernicium	463 Nh nihonium	464 Fl flerovium	465 Mc moscovium	466 Lv livermorium	467 Ts tennessine	468 Og oganesson	469 Nh nihonium	470 Ds darmstadtium	471 Rg roentgenium	472 Cn copernicium	473 Nh nihonium	474 Fl flerovium	475 Mc moscovium	476 Lv livermorium	477 Ts tennessine	478 Og oganesson	479 Nh nihonium	480 Ds darmstadtium	481 Rg roentgenium	482 Cn copernicium	483 Nh nihonium	484 Fl flerovium	485 Mc moscovium	486 Lv livermorium	487 Ts tennessine	488 Og oganesson	489 Nh nihonium	490 Ds darmstadtium	491 Rg roentgenium	492 Cn copernicium	493 Nh nihonium	494 Fl flerovium	495 Mc moscovium	496 Lv livermorium	497 Ts tennessine	498 Og oganesson	499 Nh nihonium	500 Ds darmstadtium	501 Rg roentgenium	502 Cn copernicium	503 Nh nihonium	504 Fl flerovium	505 Mc moscovium	506 Lv livermorium	507 Ts tennessine	508 Og oganesson	509 Nh nihonium	510 Ds darmstadtium	511 Rg roentgenium	512 Cn copernicium	513 Nh nihonium	514 Fl flerovium	515 Mc moscovium	516 Lv livermorium	517 Ts tennessine	518 Og oganesson	519 Nh nihonium	520 Ds darmstadtium	521 Rg roentgenium	522 Cn copernicium	523 Nh nihonium	524 Fl flerovium	525 Mc moscovium	526 Lv livermorium	527 Ts tennessine	528 Og oganesson	529 Nh nihonium	530 Ds darmstadtium	531 Rg roentgenium	532 Cn copernicium	533 Nh nihonium	534 Fl flerovium	535 Mc moscovium	536 Lv livermorium	537 Ts tennessine	538 Og oganesson	539 Nh nihonium	540 Ds darmstadtium	541 Rg roentgenium	542 Cn copernicium	543 Nh nihonium	544 Fl flerovium	545 Mc moscovium	546 Lv livermorium	547 Ts tennessine	548 Og oganesson	549 Nh nihonium	550 Ds darmstadtium	551 Rg roentgenium	552 Cn copernicium	553 Nh nihonium	554 Fl flerovium	555 Mc moscovium	556 Lv livermorium	557 Ts tennessine	558 Og oganesson	559 Nh nihonium	560 Ds darmstadtium	561 Rg roentgenium	562 Cn copernicium	563 Nh nihonium	564 Fl flerovium	565 Mc moscovium	566 Lv livermorium	567 Ts tennessine	568 Og oganesson	569 Nh nihonium	570 Ds darmstadtium	571 Rg roentgenium	572 Cn copernicium	573 Nh nihonium	574 Fl flerovium	575 Mc moscovium	576 Lv livermorium	577 Ts tennessine	578 Og oganesson	579 Nh nihonium	580 Ds darmstadtium	581 Rg roentgenium	582 Cn copernicium	583 Nh nihonium	584 Fl flerovium	585 Mc moscovium	586 Lv livermorium	587 Ts tennessine	588 Og oganesson	589 Nh nihonium	590 Ds darmstadtium	591 Rg roentgenium	592 Cn copernicium	593 Nh nihonium	594 Fl flerovium	595 Mc moscovium	596 Lv livermorium	597 Ts tennessine	598 Og oganesson	599 Nh nihonium	600 Ds darmstadtium	601 Rg roentgenium	602 Cn copernicium	603 Nh nihonium	604 Fl flerovium	605 Mc moscovium	606 Lv livermorium	607 Ts tennessine	608 Og oganesson	609 Nh nihonium	610 Ds darmstadtium	611 Rg roentgenium	612 Cn copernicium	613 Nh nihonium	614 Fl flerovium	615 Mc moscovium	616 Lv livermorium	617 Ts tennessine	618 Og oganesson	619 Nh nihonium	620 Ds darmstadtium	621 Rg roentgenium	622 Cn copernicium	623 Nh nihonium	624 Fl flerovium	625 Mc moscovium	626 Lv livermorium	627 Ts tennessine	628 Og oganesson	629 Nh nihonium	630 Ds darmstadtium	631 Rg roentgenium	632 Cn copernicium	633 Nh nihonium	634 Fl flerovium	635 Mc moscovium	636 Lv livermorium	637 Ts tennessine	638 Og oganesson	639 Nh nihonium	640 Ds darmstadtium	641 Rg roentgenium	642 Cn copernicium	643 Nh nihonium	644 Fl flerovium	645 Mc moscovium	646 Lv livermorium	647 Ts tennessine	648 Og oganesson	649 Nh nihonium	650 Ds darmstadtium	651 Rg roentgenium	652 Cn copernicium	653 Nh nihonium	654 Fl flerovium	655 Mc moscovium	656 Lv livermorium	657 Ts tennessine	658 Og oganesson	659 Nh nihonium	660 Ds darmstadtium	661 Rg roentgenium	662 Cn copernicium	663 Nh nihonium	664 Fl flerovium	665 Mc moscovium	666 Lv livermorium	667 Ts tennessine	668 Og oganesson	669 Nh nihonium	670 Ds darmstadtium	671 Rg roentgenium	672 Cn copernicium	673 Nh nihonium	674 Fl flerovium	675 Mc moscovium	676 Lv livermorium	677 Ts tennessine	678 Og oganesson	679 Nh nihonium	680 Ds darmstadtium	681 Rg roentgenium	682 Cn copernicium	683 Nh nihonium	684 Fl flerovium	685 Mc moscovium	686 Lv livermorium	687 Ts tennessine	688 Og oganesson	689 Nh nihonium	690 Ds darmstadtium	691 Rg roentgenium	692 Cn copernicium	693 Nh nihonium	694 Fl flerovium	695 Mc moscovium	696 Lv livermorium	697 Ts tennessine	698 Og oganesson	699 Nh nihonium	700 Ds darmstadtium	701 Rg roentgenium	702 Cn copernicium	703 Nh nihonium	704 Fl flerovium	705 Mc moscovium	706 Lv livermorium	707 Ts tennessine	708 Og oganesson	709 Nh nihonium	710 Ds darmstadtium	711 Rg roentgenium	712 Cn copernicium	713 Nh nihonium	714 Fl flerovium	715 Mc moscovium	716 Lv livermorium	717 Ts tennessine	718 Og oganesson	719 Nh nihonium	720 Ds darmstadtium	721 Rg roentgenium	722 Cn copernicium	723 Nh nihonium	724 Fl flerovium	725 Mc moscovium	726 Lv livermorium	727 Ts tennessine	728 Og oganesson	729 Nh nihonium	730 Ds darmstadtium	731 Rg roentgenium	732 Cn copernicium	733 Nh nihonium	734 Fl flerovium	735 Mc moscovium	736 Lv livermorium	737 Ts tennessine	738 Og oganesson	739 Nh nihonium	740 Ds darmstadtium	741 Rg roentgenium	742 Cn copernicium	743 Nh nihonium	744 Fl flerovium	745 Mc mos
----------------------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------	--------------------------	---------------------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	---------------------------	-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	------------------------------	---------------------------------	------------------------	---------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	------------------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------------	--------------------------------	---------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-------------------------------	------------------------------	---------------------------	-------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	----------------------------	-------------------------------	--------------------------------	----------------------------	-------------------------------	----------------------	----------------------	-------------------	----------------------	--------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------	-------------------------	----------------------	----------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	--------------------------	-------------------------	------------------------	-----------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------	------------------------	------------------



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

เคมี

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๒ พ.ศ. ๒๕๖๖

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ ฉบับสิ่งพิมพ์ ที่จัดทำตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ทุกประการ เพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และ ผู้สนใจทั่วไปเข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสม กับจุดประสงค์ต่าง ๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวนสิทธิ์ในหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ตามกฎหมาย ลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่โดยมิได้รับอนุญาต

สามารถเข้าถึงสื่อดิจิทัลต่าง ๆ ของ สสวท. ได้ที่ <http://www.ipst.ac.th/ebook-resource/>

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์กายภาพ เล่ม ๑ ได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๕ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง เคมีอินทรีย์ และพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษา ในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษา ทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เคมี เล่ม ๕ นี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง



(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิ้มปิงานงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้ผู้เรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหา นั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

ชวนคิด



คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

ตรวจสอบความเข้าใจ



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

แบบฝึกหัด



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยเสริมให้เกิดทักษะและความรู้ในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบความเข้าใจของเนื้อหาและฝึกฝนตนเองให้มีทักษะที่จำเป็นตามจุดประสงค์การเรียนรู้ได้

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

รู้หรือไม่



ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

เชื่อมโยงชีวิตประจำวัน



เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ

สื่อ AR (Augmented Reality)



สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย์ ม.ปลาย"

ศัพท์น่ารู้



ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติม และสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน



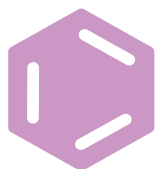
การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

แบบฝึกหัดท้ายบท



คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งนักเรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

12



เคมีอินทรีย์

บทที่ 12 เคมีอินทรีย์	1
12.1 พันธะของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์	4
12.2 สูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์	7
12.3 หมู่ฟังก์ชัน	15
12.4 ชื่อของสารประกอบอินทรีย์	22
12.5 ไอโซเมอร์	34
12.6 สมบัติของสารประกอบอินทรีย์	40
12.7 ปฏิกริยาเคมีของสารประกอบอินทรีย์	54
12.8 สารประกอบอินทรีย์ในชีวิตประจำวันและ การนำไปใช้ประโยชน์	74
แบบฝึกหัดท้ายบท	81

13



พอลิเมอร์

บทที่ 13 พอลิเมอร์	84
13.1 พอลิเมอร์และมอนอเมอร์	87
13.2 ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์	89
13.3 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์	99
13.4 การปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์	107
13.5 การแก้ปัญหาขยะจากพอลิเมอร์	122
แบบฝึกหัดท้ายบท	126

สารบัญ

ภาคผนวก

คำศัพท์ในหนังสือเรียน เคมี เล่ม 5	133
ชื่อธาตุ	136
บรรณานุกรม	139
ที่มาของรูป	141
คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	142

บทที่

| เคมีอินทรีย์



ipst.me/10768

12



สารประกอบอินทรีย์เป็นสารประกอบของคาร์บอนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในสิ่งมีชีวิต
และนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม
เช่น อาหาร ยารักษาโรค น้ำมันเชื้อเพลิง พลาสติก เครื่องสำอาง



คำถามสำคัญ

1. สารประกอบอินทรีย์มีธาตุองค์ประกอบและโครงสร้างอย่างไร
2. สารประกอบอินทรีย์มีสมบัติทางกายภาพและเคมีอย่างไร
3. สารประกอบอินทรีย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างไร



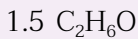
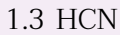
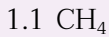
จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายการเกิดพันธะเคมีของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์
2. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่มีพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม ที่พบในชีวิตประจำวัน
3. เขียนสูตรโมเลกุล สูตรโครงสร้างลิวอิส สูตรโครงสร้างแบบย่อ และสูตรโครงสร้างแบบเส้นพันธะของสารประกอบอินทรีย์
4. วิเคราะห์โครงสร้างและระบุประเภทของสารประกอบอินทรีย์จากหมู่ฟังก์ชัน
5. เขียนสูตรโครงสร้างและเรียกชื่อสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ที่มีหมู่ฟังก์ชันไม่เกิน 1 หมู่ ตามระบบ IUPAC
6. เขียนไอโซเมอร์โครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ
7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบจุดเดือดและการละลายในน้ำของสารประกอบอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชัน ขนาดโมเลกุล หรือโครงสร้างต่างกัน
8. ระบุประเภทของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ ปฏิกิริยากับโบรมีน หรือปฏิกิริยากับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และเขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
9. เขียนสมการเคมีและอธิบายการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาการสังเคราะห์เอไมด์ ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
10. ทดสอบปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส และปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน
11. สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างการนำสารประกอบอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและอุตสาหกรรม



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

1. เขียนโครงสร้างลิวอิสแบบเส้นของสารต่อไปนี้



2. ใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ถูกต้อง และเครื่องหมาย ✗ หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง

.....2.1 H_2O Cl_2 และ NH_4^+ เป็นสารที่มีพันธะโคเวเลนต์ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม

.....2.2 CH_3OCH_3 มีพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของสาร

.....2.3 CH_3OH มีจุดเดือดสูงกว่า CH_3CH_3

.....2.4 CCl_4 เป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว

.....2.5 CH_3COOH มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเป็นพันธะไฮโดรเจนเท่านั้น

.....2.6 CH_3Br มีจุดเดือดสูงกว่า CH_3Cl เพราะ CH_3Br เป็นโมเลกุลที่มีขั้วมากกว่า CH_3Cl

3. เขียนสมการเคมีที่ดุลแล้วของปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของแก๊สมีเทน (CH_4)

ในชีวิตประจำวันเราเกี่ยวข้องกับสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) หลากหลายชนิด ทั้งในอาหาร ยารักษาโรค เครื่องนุ่งห่ม เครื่องสำอาง พลาสติก ผงซักฟอก สบู่ น้ำมันเชื้อเพลิง รวมทั้งองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน DNA ในอดีตนักเคมีเคยเชื่อว่าสารประกอบอินทรีย์เป็นสารที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิตเท่านั้น จนกระทั่งปี พ.ศ. 2371 (ค.ศ. 1828) ฟรีดริช เวอเลอร์¹ พบว่า การให้ความร้อนกับสารประกอบอินทรีย์แอมโมเนียมไซยาเนต (NH_4OCN) ทำให้เกิดยูเรีย ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ได้ ความเชื่อที่ว่าสารประกอบอินทรีย์ได้จากสิ่งมีชีวิตเท่านั้น จึงไม่เป็นจริง ในปัจจุบันสารประกอบอินทรีย์หมายถึงสารที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ทั้งที่มาจากสิ่งมีชีวิตหรือสังเคราะห์ขึ้นก็ได้ เช่น มีเทน (CH_4) น้ำตาลกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) ยาพาราเซตามอล ($\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$) อย่างไรก็ตามสารประกอบของคาร์บอนบางชนิดไม่จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) หินปูน (CaCO_3)

สารประกอบอินทรีย์มีโครงสร้างและสมบัติที่หลากหลาย การศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบอินทรีย์เรียกว่า เคมีอินทรีย์ (organic chemistry) ในระดับชั้นนี้จะได้ศึกษาโครงสร้าง ประเภท สมบัติทางกายภาพและเคมี ตัวอย่างการนำไปใช้ประโยชน์ และอันตรายของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

12.1 พันธะของคาร์บอนในสารประกอบอินทรีย์

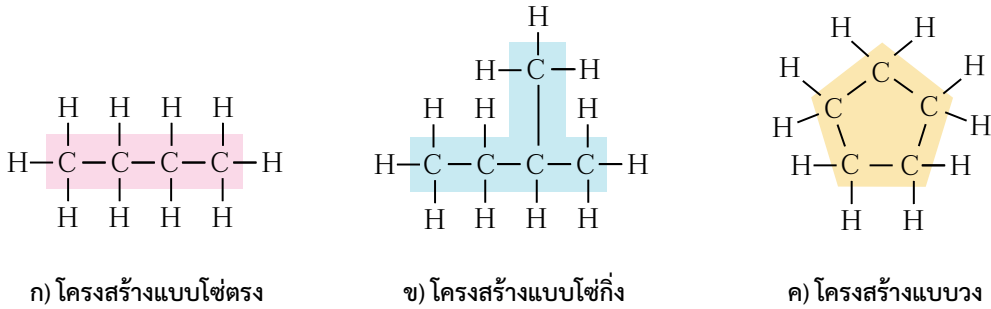
คาร์บอน (C) เป็นธาตุในหมู่ IVA (หมู่ 14) มี 4 เวเลนซ์อิเล็กตรอน โดยทั่วไปจึงเกิดพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมข้างเคียง 4 พันธะเพื่อให้เป็นไปตามกฎออกเตต พันธะโคเวเลนต์ที่เกิดขึ้นอาจเป็นพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม พันธะโคเวเลนต์ที่พบในสารประกอบอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนด้วยกัน และคาร์บอนกับไฮโดรเจน นอกจากนี้อาจเกิดพันธะโคเวเลนต์กับธาตุชนิดอื่น เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คลอรีน กำมะถัน ดังตัวอย่างในตาราง 12.1

¹ฟรีดริช เวอเลอร์ (Friedrich Wöhler) นักเคมีชาวเยอรมัน ผู้สังเคราะห์ยูเรียซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์จากสารประกอบอนินทรีย์

ตาราง 12.1 สูตรโครงสร้างลิวอิสของสารประกอบอินทรีย์บางชนิด

สูตรโครงสร้างลิวอิส		สูตรโมเลกุล
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H} : \text{C} : \text{C} : \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	C_2H_6
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} : : \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} = \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array}$	C_2H_4
$\text{H} : \text{C} : : \text{C} : \text{H}$	$\text{H}-\text{C} \equiv \text{C}-\text{H}$	C_2H_2
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{O}} : \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_4O
$\begin{array}{c} \text{H} : \text{O} : \\ \quad \\ \text{H} : \text{C} : \text{C} : \ddot{\text{O}} : \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \quad \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} : \text{O} : \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\ddot{\text{O}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{N}} : \text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	CH_5N
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{Cl}} : \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{Cl}} : \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_3Cl
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} : \text{C} : \ddot{\text{S}} : \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\ddot{\text{S}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	CH_4S

การเชื่อมต่อกันระหว่างอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลของสารประกอบอินทรีย์ อาจมีลักษณะเป็น **โซ่ตรง** (straight chain) หรือเป็น **โซ่กิ่ง** (branched chain) หรือเป็น **วง** (cyclic) ดังรูป 12.1 โดยโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นโซ่ตรงและโซ่กิ่งอาจเรียกรวม ๆ ว่าเป็นโครงสร้างแบบ **โซ่เปิด** (open chain)



รูป 12.1 สูตรโครงสร้างลิวอิสของสารประกอบอินทรีย์แบบต่าง ๆ

จากการที่อะตอมของคาร์บอนสามารถเกิดพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมของคาร์บอนด้วยตัวเอง หรือกับธาตุอื่นด้วยรูปแบบพันธะและลักษณะการเชื่อมต่อที่หลากหลาย จึงทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่พบในธรรมชาติและที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้นมีจำนวนมากมาย และสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้ก็มีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่แตกต่างกัน มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันในหลายด้าน ดังจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 12.1



กิจกรรม 12.1 สืบค้นข้อมูลสารประกอบอินทรีย์ที่พบในชีวิตประจำวัน

จุดประสงค์ของกิจกรรม

สืบค้นข้อมูลและนำเสนอตัวอย่างสารประกอบอินทรีย์ที่มีพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสาม ที่พบในชีวิตประจำวัน

วิธีทำกิจกรรม

1. สืบค้นข้อมูลสารประกอบอินทรีย์ที่พบในชีวิตประจำวันและการนำไปใช้ประโยชน์
2. แสดงโครงสร้าง และระบุพันธะเดี่ยว พันธะคู่ หรือพันธะสามของสารประกอบอินทรีย์ที่ได้จากการสืบค้นข้อมูล
3. ระบุส่วนของโครงสร้างที่เป็นโซ่เปิดหรือแบบวง
4. นำเสนอข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสม

12.2 สูตรโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์

การใช้สูตรโครงสร้างลิวอิสที่แสดงเส้นพันธะอย่างเต็มรูปแบบตามตาราง 12.1 อาจไม่สะดวกสำหรับสารประกอบอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ จึงมีการใช้**สูตรโครงสร้างแบบย่อ** (condensed structural formula) ที่ไม่แสดงพันธะระหว่างคาร์บอนกับไฮโดรเจน ซึ่งอาจย่อได้หลายรูปแบบดังตัวอย่างในตาราง 12.2