



대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수

산화·환원과 산화수 문제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

컬러 PDF · 개인 영구 소장

이 PDF는 무료 샘플입니다

이 책의 앞표지와 앞 50쪽, 뒤표지를 읽어 보실 수 있습니다. 51쪽부터는 ssbook.kr에서 구매하시면 전체를 보실 수 있습니다.

ssbook.kr/book/nonsul-18

POD 정가 24,000원 → **14,400원** (60%)

ssbook.kr 홈페이지 안내

- **시리즈별 서가** — 인삼 · 오토파지 · 식물성 저탄고지 · 단식 · 생물리학 · 독립영양인간 · 중고등학교 교재 · 채식 · 라이프스타일 · 고대사
- **책마다 고유 주소** — 링크를 보내면 누구나 표지·소개·무료 샘플을 볼 수 있습니다
- **구매** — 회원가입(이메일 인증) 후 카드 결제(쿠키페이) → 내 서재에서 전체 컬러 PDF 내려받기
- **가격** — 종이책 POD 가격의 60%, 전 페이지 컬러 PDF
- **이용 범위** — 개인 영구 소장 가능, 공개 배포·재판매·공유 금지(내려받은 파일에는 구매자 정보가 표시됩니다)
- **책 신청 게시판** — 회원은 자유게시판에서 원하는 책 내용을 신청할 수 있습니다

산화·환원과 산화수



산화·환원 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 11문항 · 2009~2022학년도 · 이광조 지음

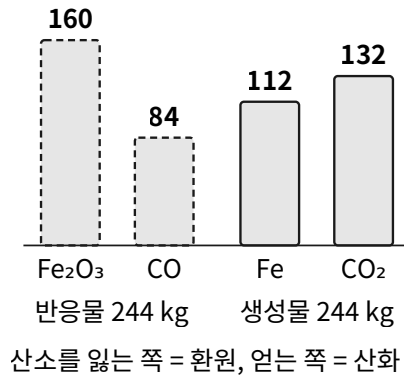
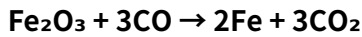
산화·환원과 산화수

1부 기본개념편 · 2부 기출문제와 기본개념 · 3부 논술답안작성 패턴분석 · 4부 실전기출문제와 풀이과정

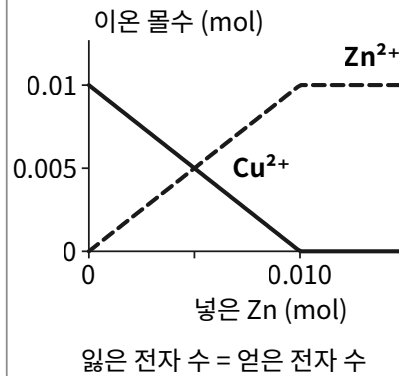
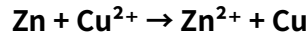
산화·환원 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

핵심 = 산화수 × 전자 수 보존 × 몰 계산 | 11문항 · 6개 대학 (2009~2022)

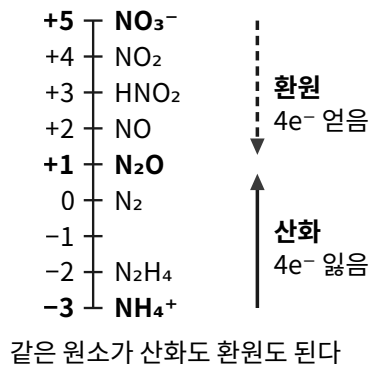
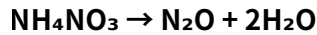
① 산소의 이동: 철의 제련



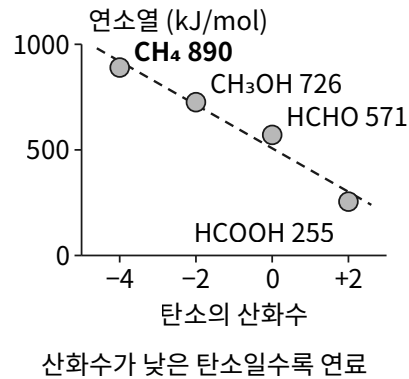
② 전자의 이동: 반쪽 반응



③ 질소의 산화수 사다리



④ 탄소의 산화수와 연소열



한 줄 요약: 산화수를 매기고, 잃은 전자 = 얻은 전자로 맞춘 뒤 몰로 센다

그림 1. 산화·환원과 산화수 단원의 그림 요약. ① 산소의 이동(철의 제련 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$), ② 전자의 이동($\text{Zn} + \text{Cu}^{2+}$ 반쪽 반응), ③ 질소의 산화수 사다리($\text{NH}_4\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O}$ 에서 -3과 +5가 +1로 만남), ④ 탄소의 산화수와 연소열(CH_4 -890, CH_3OH -726, HCHO -571, HCOOH -255 kJ/mol). 질량·전자 수·연소열은 모두 계산하거나 표준값으로 그렸다.

한 줄 요약: 산화·환원 = 산화수를 매기고, 잃은 전자와 얻은 전자를 같게 맞춘 뒤 몰로 센다

연결 단원 → 화학 전자·전기 분해(14권) · 화학 결합·분자 구조 · 화학양론 · 열화학 · 세포호흡·광합성

차례

기본개념편	11
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가	12
기본개념편을 열며	14
제 1장 왜 산화·환원인가	16
1.1 불, 녹, 숨 — 세 장면의 공통점	18
1.2 “산화”라는 말의 내력	20
1.3 무게가 늘어나는 연소 — 마그네슘 리본	21
1.4 산화와 환원은 언제나 짝	23
1.5 이 책의 길	24
제 2장 산소를 얻고 잃는 반응: 연소와 제련	26
2.1 산화 — 산소를 얻는 반응	28
2.2 환원 — 산소를 잃는 반응	29
2.3 용광로 속 세 단계	30
2.4 숯불의 일산화 탄소 — 불완전 연소	33
2.5 산소 정의의 한계	34
제 3장 전자를 잃고 얻는 반응: 반쪽 반응	37
3.1 나트륨과 염소 — 전자 하나가 옮겨 간다	39
3.2 반쪽 반응식 쓰기	41
3.3 잃은 전자 = 얻은 전자	42
3.4 아연과 황산 구리(II) 수용액	44
3.5 손난로 속 철가루	46
제 4장 산화수란 무엇인가	49
4.1 물 분자 안에서 전자는 어디에?	51
4.2 전기음성도: 전자를 끌어당기는 힘	51
4.3 센 쪽에 전자쌍을 모두 몰아주면 — 산화수의 정의	53
4.4 루이스 구조로 직접 세기	54
4.5 같은 원자끼리의 결합은 반씩	56
제 5장 산화수를 계산하는 규칙	59
5.1 산화수 규칙 다섯 가지	61
5.2 규칙끼리 부딪칠 때의 우선순위	62
5.3 다원자 이온의 산화수	63
5.4 평균 산화수	64
5.5 한 원소의 산화수 범위	65
제 6장 산화수로 산화·환원을 가려내다	69
6.1 반응식 위에 산화수를 적는 습관	71
6.2 산화된 원소와 산화된 물질	73
6.3 산화·환원이 아닌 반응	74
6.4 판정 순서와 검산	76
제 7장 산화제와 환원제	79
7.1 남을 산화시키는 물질은 자신이 환원된다	81
7.2 대표 산화제와 대표 환원제	83
7.3 두 얼굴의 물질 — 산화제도 되고 환원제도 되는	85
7.4 산화력 비교 — 할로젠의 치환	87

제 8장 금속의 반응성과 금속 이온	90
8.1 금속의 반응성 순서	92
8.2 금속과 금속 이온의 반응.....	94
8.3 금속과 산의 반응	97
8.4 질량·부피 자료로 금속을 맞추기.....	97
8.5 두 금속을 도선으로 이으면 — 14권 예고	99
제 9장 반응식 완성 1: 산화수법	101
9.1 원자 수만 맞추면 안 되는 이유	103
9.2 산화수법 다섯 단계	104
9.3 구리와 묶은 질산: 한 걸음씩	104
9.4 흑색 화약: 전자를 받는 원소가 둘일 때	106
9.5 기출의 반응식 완결 문제 읽는 법.....	108
제 10장 반응식 완성 2: 반쪽 반응식	111
10.1 구경꾼 이온을 지우고 알짜만	113
10.2 산성 용액의 반쪽 반응식 네 단계.....	114
10.3 두 반쪽을 전자 수 맞춰 더하기	115
10.4 산화수법과 반쪽 반응법은 같은 답	118
10.5 교과 밖 심화: 염기성 용액에서는.....	119
제 11장 이동한 전자를 세자: 양적 관계	121
11.1 전자 몰수 = 산화수 변화 × 원자 몰수	123
11.2 산화·환원 적정.....	124
11.3 석출 금속·발생 기체의 양: 전자 장부 한 줄.....	127
11.4 퍼센트 농도·밀도를 몰농도로	127
11.5 한계 반응물 다시 보기	128
제 12장 같은 원소의 두 얼굴과 높은 산화수	130
12.1 불균등화: 하나가 둘로 갈라진다.....	132
12.2 균등화: 둘이 하나로 만난다	134
12.3 산화수가 큰 원소와 옥소산의 세기	136
12.4 산화물의 성질과 산화수	137
12.5 대기 속의 황과 질소: 산성비	138
제 13장 탄소의 산화수와 에너지: 연료·음식·광합성	140
13.1 유기물에서 탄소의 산화수: 결합마다 세기	142
13.2 유기물의 산화: 수소를 잃거나 산소를 얻음	143
13.3 산화수가 낮은 탄소일수록 큰 에너지	144
13.4 광합성: 탄소를 환원하고 물을 산화한다.....	145
13.5 호흡: 같은 24개가 반대로	147
제 14장 몸속·지구·산업의 산화·환원, 그리고 2부로	150
14.1 제철소 다시 보기: 철 1 t과 이산화 탄소	152
14.2 녹과 부식: 물방울 아래의 작은 전지	153
14.3 몸속의 항산화: 비타민 C.....	155
14.4 하늘의 산화·환원 다시 보기	157
14.5 기본개념편을 마치며: 2부로 가는 길	157
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	160
부록 B. 용어 풀이	163
기출문제와 기본개념	171

제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	172
0. 이 장의 사용법	173
1. 출제 개념	174
1.1 산화·환원의 세 가지 정의 — C1 · C2 · C3	174
1.2 산화수 규칙과 판정 — C4 · C5	175
1.3 산화제·환원제와 금속의 반응성 — C6 · C7	177
1.4 반응식 완성과 양적 관계 — C8 · C9 · C10	178
1.5 불균등화·옥소산·탄소 화합물 — C11 · C12 · C13 · C14	180
1.6 생체·지구·산업 응용 — A1 · A2 · A3 · A4 · A5	181
1.7 그래프 개념도 읽는 법	182
2. 출제 경향	185
2.1 문항 하나에 담긴 개념의 수	186
2.2 반복되는 출제 패턴 여섯 가지	187
2.3 학교별 성향	188
논술답안작성 패턴분석	189
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	190
3. 답안 작성법	192
3.1 계산형 답안의 틀	192
3.2 서술형 답안의 네 문장 틀	193
3.3 표기와 수치 규칙	193
3.4 시간 배분과 자기 점검	194
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	194
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	196
실전기출문제와 풀이과정	200
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	201
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념	203
5.1 한눈에 보는 기출 11문항	203
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진다 — 개론	204
5.3 기본 개념 한눈에	204
5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다	206
6. 출제 문항 분석과 모범답안	207
〈기출문제 1 (연세대 미래캠퍼스 2022년)〉	208
〈기출문제 2 (연세대 2020년)〉	218
〈기출문제 3 (경희대 2020년)〉	227
〈기출문제 4 (경희대 2020년)〉	237
〈기출문제 5 (성균관대 2016년)〉	246
〈기출문제 6 (서울과기대 2015년)〉	255
〈기출문제 7 (중앙대 2015년)〉	270
〈기출문제 8 (연세대 2012년)〉	279
〈기출문제 9 (연세대 미래캠퍼스 2011년)〉	292
〈기출문제 10 (성균관대 2011년)〉	304
〈기출문제 11 (건국대 2009년)〉	313
7. 변형·예상 문항	324
8. 강의 연결	329

8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	329
8.2 강의 구성 시 유의점	330
9. 전체 문제 총평	331
9.1 숫자로 먼저 보기	331
9.2 다섯 가지 총평	331
9.3 대학별 한 줄 총평	332
9.4 이렇게 공부하자	333
10. 참고문헌	334

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 산화·환원 논제의 네 장면.....	1
그림 2. 제 1장 개념도	16
그림 3. 생활 속 개념도 1.....	17
그림 4. 불·녹·숨의 반응열.....	19
그림 5. 산화·환원 정의의 연표	20
그림 6. 마그네슘 연소의 질량 관계.....	22
그림 7. 제 2장 개념도	26
그림 8. 생활 속 개념도 2.....	27
그림 9. CuO 환원의 질량 장부	29
그림 10. 용광로 단면	31
그림 11. 철 제련의 물질 수지	32
그림 12. 제 3장 개념도	37
그림 13. 생활 속 개념도 3.....	38
그림 14. Na에서 Cl로 전자 이동	40
그림 15. 전자 저울.....	43
그림 16. $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+}$ 의 고체 질량과 $[\text{Cu}^{2+}]$	45
그림 17. 제 4장 개념도	49
그림 18. 생활 속 개념도 4.....	50
그림 19. 폴링 전기음성도.....	52
그림 20. 루이스 구조로 산화수 세기.....	54
그림 21. 탄소의 산화수 사다리	57
그림 22. 제 5장 개념도	59
그림 23. 생활 속 개념도 5.....	60
그림 24. 원소별 산화수 범위	65
그림 25. 질소의 산화수 사다리	67
그림 26. 제 6장 개념도	69
그림 27. 생활 속 개념도 6.....	70
그림 28. 산화수 증감 화살표	72
그림 29. 같은 거품, 다른 반응	74
그림 30. 판정 흐름도	76
그림 31. 제 7장 개념도	79
그림 32. 생활 속 개념도 7.....	80
그림 33. 산화제와 환원제의 역할.....	82
그림 34. 이산화 황의 두 얼굴	86
그림 35. 할로젠 치환 격자.....	87
그림 36. 제 8장 개념도	90
그림 37. 생활 속 개념도 8.....	91
그림 38. 금속의 반응성 사다리	93
그림 39. 구리선 + 질산은: 고체 질량 증가	95
그림 40. 질산은 + 구리: 이온 수 변화.....	96
그림 41. 제 9장 개념도	101
그림 42. 생활 속 개념도 9.....	102
그림 43. 산화수법 다섯 단계	104
그림 44. 구리와 질산의 산화수 증감 다리.....	105
그림 45. 흑색 화약의 전자 장부	107
그림 46. 제 10장 개념도	111
그림 47. 생활 속 개념도 10.....	112

그림 48. 반쪽 반응식 네 단계(MnO_4^-)	115
그림 49. 산화수에 따른 색 변화	119
그림 50. 제 11장 개념도	121
그림 51. 생활 속 개념도 11	122
그림 52. KMnO_4 로 Fe^{2+} 적정하기	125
그림 53. 금속 B와 금 이온의 전자 장부	127
그림 54. 제 12장 개념도	130
그림 55. 생활 속 개념도 12	131
그림 56. 질소 사다리와 NH_4NO_3 의 균등화	135
그림 57. 염소 옥소산의 산화수와 pKa	136
그림 58. 황산 이온의 정사면체 구조.....	137
그림 59. 제 13장 개념도	140
그림 60. 생활 속 개념도 13	141
그림 61. 탄소의 산화수와 연소열	144
그림 62. 광합성의 전자 장부	146
그림 63. 광합성과 호흡의 순환	147
그림 64. 제 14장 개념도	150
그림 65. 생활 속 개념도 14	151
그림 66. 철 1 t의 물질 수지: CO 환원과 H_2 환원	153
그림 67. 물방울 아래 철의 부식	154
그림 68. 비타민 C의 산화 구조	156
그림 69. 네 원소의 산화수 사다리.....	176
그림 70. 기출 반응식의 전자 장부	179
그림 71. 전체 개념 그래프	183
그림 72. 개념별 출제 횟수	184
그림 73. 연도별 출제 문항 수	185
그림 74. 대학별 출제 문항 수	185
그림 75. 계산형 풀이 절차.....	192
그림 76. 〈연세대 미래캠퍼스 2022〉 개념 그래프.....	209
그림 77. q176 전자 장부와 몰 사슬	214
그림 78. 〈연세대 2020〉 개념 그래프	219
그림 79. 용광로 단면(q129 재구성)	221
그림 80. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	228
그림 81. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	238
그림 82. SO_4^{2-} 정사면체(q237 재구성).....	242
그림 83. 〈성균관대 2016〉 개념 그래프	247
그림 84. q262 [4.1.4] 재구성 반응식	257
그림 85. 〈서울과기대 2015〉 개념 그래프.....	258
그림 86. q262 $\text{H}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$ 루이스 구조	261
그림 87. 〈중앙대 2015〉 개념 그래프	271
그림 88. $\text{NH}_4^+ \cdot \text{NO}_3^- \cdot \text{N}_2\text{O}$ 전자점식(q267 재구성).....	274
그림 89. q18 지구의 탄소고정화 도식(원문 그림)	281
그림 90. 〈연세대 2012〉 개념 그래프	282
그림 91. q18 지구와 행성A의 탄소 고정.....	285
그림 92. q17 연료 전지의 원리(원문 그림)	293
그림 93. 〈연세대 미래캠퍼스 2011〉 개념 그래프.....	294
그림 94. 미생물 연료 전지 모형(q17).....	297
그림 95. 〈성균관대 2011〉 개념 그래프	305
그림 96. 〈건국대 2009〉 개념 그래프	315

그림 97. q284 아스코르브산과 디하이드로아스코르브산	319
그림 98. q284 디케토글론산	319

표 목록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장.....	12
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념.....	12
표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출.....	16
표 4. 산화·환원의 세 정의.....	21
표 5. 제 2장의 개념이 쓰인 기출.....	26
표 6. 산소의 이동으로 본 반응 다섯 가지.....	34
표 7. 제 3장의 개념이 쓰인 기출.....	37
표 8. 자주 쓰는 반쪽 반응식.....	42
표 9. 제 4장의 개념이 쓰인 기출.....	49
표 10. 전자쌍을 몰아준 뒤의 전자 수로 산화수 세기.....	53
표 11. 제 5장의 개념이 쓰인 기출.....	59
표 12. 산화수 규칙과 예외.....	62
표 13. 제 6장의 개념이 쓰인 기출.....	69
표 14. 반응 일곱 가지의 판정표.....	75
표 15. 제 7장의 개념이 쓰인 기출.....	79
표 16. 대표 산화제와 환원제, 그리고 반응 뒤의 모습.....	83
표 17. 제 8장의 개념이 쓰인 기출.....	90
표 18. 금속과 금속 이온의 반응 여부.....	96
표 19. 제 9장의 개념이 쓰인 기출.....	101
표 20. 산화수법 단계별 기록표.....	105
표 21. 제 10장의 개념이 쓰인 기출.....	111
표 22. 자주 쓰는 반쪽 반응식(산성 용액).....	117
표 23. 제 11장의 개념이 쓰인 기출.....	121
표 24. 양적 관계 계산 틀.....	124
표 25. 제 12장의 개념이 쓰인 기출.....	130
표 26. 3주기 원소 산화물의 성질과 중심 원소의 산화수.....	137
표 27. 제 13장의 개념이 쓰인 기출.....	140
표 28. 탄소 화합물의 산화수와 표준 연소 엔탈피(25 °C, 크기만 표시).....	142
표 29. 제 14장의 개념이 쓰인 기출.....	150
표 30. 이 책의 응용 장면 다섯.....	157
표 31. 2부 목차와 내용.....	172
표 32. 산화·환원의 세 정의 비교.....	174
표 33. 산화수 규칙과 예외.....	175
표 34. 대표 산화제·환원제와 반응 뒤의 모습.....	177
표 35. 산화수 가정에 따른 미지 금속의 원자량(경희대 2020 자료, 0 °C.....	178
표 36. 염소 옥소산의 산화수와 산의 세기(25 °C).....	180
표 37. 탄소의 산화수와 표준 연소 엔탈피(25 °C, kJ/mol, 반올림).....	181
표 38. 이 책의 응용 소재 다섯.....	181
표 39. 이 책의 기출 문항 목록.....	185
표 40. 대학별 출제 문항.....	186
표 41. 문항별 개념 수와 개념도 최대 층(층이 깊을수록 선수 사슬이 길다).....	187
표 42. 학교별 성향(이 책의 자료 범위 안에서).....	188
표 43. 논술 기본 패턴 다섯 가지와 산화·환원 답안에서의 쓰는 순서.....	190
표 44. 논술답안작성 패턴분석(3부) 목차와 내용.....	190
표 45. 서술형 답안의 문장 틀(산화·환원 설명).....	193
표 46. 논술 기본 패턴 5가지(산화·환원 답안).....	194
표 47. 문항별 소문항에 적용한 패턴(4부 모범답안의 “논술 패턴” 상자와 같은.....	194

표 48. 실전기출문제와 풀이과정 전체 문항 목차(학교·연도, 출제 내용, 쓰이는	201
표 49. 대학별 기출 문항 수·연도·소재(문항 번호는 6장의 기출문제 번호)	203
표 50. 학년도별 문항 수와 시험 종류	203
표 51. 소문항 32개에 적용한 주·답안 패턴의 분포(결합 패턴은 앞의 것을 주	204
표 52. 기본 개념 한눈에(기출 빈도 순, 같으면 개념 번호 순)	204
표 53. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적	206
표 54. 기출문제 1의 개념과 복습 위치	209
표 55. 소문항별 요구 사항과 난이도	210
표 56. 기출문제 2의 개념과 복습 위치	219
표 57. 소문항별 요구 사항과 난이도	222
표 58. 기출문제 3의 개념과 복습 위치	229
표 59. 소문항별 요구 사항과 난이도	230
표 60. 금속 B의 두 가정 비교	231
표 61. 기출문제 4의 개념과 복습 위치	238
표 62. 소문항별 요구 사항과 난이도	240
표 63. 기출문제 5의 개념과 복습 위치	247
표 64. 소문항별 요구 사항과 난이도	249
표 65. 제시문 (가)의 표(원문 표를 다시 짤)	255
표 66. 기출문제 6의 개념과 복습 위치	258
표 67. 소문항별 요구 사항과 난이도	259
표 68. 기출문제 7의 개념과 복습 위치	271
표 69. 소문항별 요구 사항과 난이도	273
표 70. 제시문 (가)의 표	279
표 71. 제시문 (나)의 표	280
표 72. 기출문제 8의 개념과 복습 위치	282
표 73. [2-1]의 요구 사항과 난이도	284
표 74. 행성A 반응 $12\text{CH}_4 + 6\text{N}_2 \rightarrow \text{C}_{12}\text{H}_{12} + 12\text{NH}_3$ 의 에너지	286
표 75. 기출문제 9의 개념과 복습 위치	294
표 76. 소문항별 요구 사항과 난이도	295
표 77. 기출문제 10의 개념과 복습 위치	305
표 78. 소문항별 요구 사항과 난이도	306
표 79. 기출문제 11의 개념과 복습 위치	315
표 80. 소문항별 요구 사항과 난이도	316
표 81. 인강 회차 구성(제안)	329
표 82. 11개 문항의 규모	331
표 83. 대학별 출제 특징(자료를 구한 범위 안에서)	332

제 1 부

기본개념편

이 단원의 개념을 처음부터 차근차근. 대화로 묻고 답하며, 숫자를 직접 넣어 계산한다.

산화·환원과 산화수

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 산소 → 전자 → 산화수 → 반응식 → 물 → 응용의 순서로 이어집니다. 앞 장의 결과가 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠릅니다. 특히 4~6장의 산화수는 이 책의 모든 계산과 서술이 올라서는 바닥입니다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장

구간	장	무엇을 하는가
A. 산소와 전자	1~3장	불·녹·숨에서 출발해 산소를 얻고 잃는 반응(연소·제련)을 보고, 산소가 없어도 일어나는 반응을 전자의 이동과 반쪽 반응식으로 설명한다.
B. 산화수	4~6장	공유 결합 물질에서도 산화·환원을 가릴 수 있도록 전기음성도로 전자를 몰아주는 가상의 전하, 산화수를 만들고 규칙으로 계산한다. 산화수의 증감으로 산화·환원을 판정한다.
C. 산화제·환원제와 금속	7~8장	남을 산화시키는 물질과 환원시키는 물질을 구분하고, 금속의 반응성 순서로 금속과 금속 이온의 반응을 예측한다.
D. 반응식과 양적 관계	9~11장	잃은 전자 수 = 얻은 전자 수라는 원리로 반응식을 완성하고(산화수법·반쪽 반응식), 이동한 전자를 몰로 세어 질량·부피·농도를 계산한다.
E. 확장과 응용	12~14장	같은 원소가 산화·환원되는 반응, 산화수가 높은 원소의 옥소산, 탄소의 산화수와 연료·광합성, 그리고 제철소·몸속·대기의 산화·환원을 본다. 이어서 2부로 간다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈생활 속 개념도〉 → 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈문제〉와 풀이 대화 → 〈핵심〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 → 이 장의 참고문헌 순서입니다. 장의 첫머리에는 이 장의 개념도와 그 개념이 쓰인 기출 표가 있어, 지금 배우는 개념이 나중에 어떤 문제로 나오는지 미리 볼 수 있습니다. 〈스스로 풀어 보기〉의 정답과 해설은 부록 A에 모아 두었습니다. 막히면 해설을 먼저 보지 말고, 장 안의 해당 그림과 식으로 돌아가 한 번 더 시도하십시오.

3. 장별 목차

표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념

장(쪽)	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 1장 (16쪽)	왜 산화·환원인가	산화·환원의 세 장면 · 산소와의 결합 · 산화와 환원은 짝
기본개념편 제 2장 (26쪽)	산소를 얻고 잃는 반응: 연소와 제련	산소를 얻는 산화 · 산소를 잃는 환원 · 철의 제련
기본개념편 제 3장 (37쪽)	전자를 잃고 얻는 반응: 반쪽 반응	전자를 잃는 산화 · 전자를 얻는 환원 · 반쪽 반응식
기본개념편 제 4장 (49쪽)	산화수란 무엇인가	전기음성도와 전자 몰아주기 · 산화수의 정의 · 루이스 구조로 산화수 세기
기본개념편 제 5장 (59쪽)	산화수를 계산하는 규칙	산화수 규칙 다섯 가지 · 다원자 이온 · 평균 산화수
기본개념편 제 6장 (69쪽)	산화수로 산화·환원을 가려내다	산화수 증가 = 산화 · 감소 = 환원 · 산화·환원이 아닌 반응

장(쪽)	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 7장 (79쪽)	산화제와 환원제	산화제 · 환원제 · 두 얼굴의 물질
기본개념편 제 8장 (90쪽)	금속의 반응성과 금속 이온	반응성 순서 · 금속과 금속 이온의 반응 · 금속과 산
기본개념편 제 9장 (101쪽)	반응식 완성 1: 산화수법	산화수 증가량 = 감소량 · 산화수법 다섯 단계
기본개념편 제 10장 (111쪽)	반응식 완성 2: 반쪽 반응식	이온 반응식 · 산성 용액의 반쪽 반응식
기본개념편 제 11장 (121쪽)	이동한 전자를 세자: 양적 관계	전자 몰수 · 산화·환원 적정 · 농도 바꾸기
기본개념편 제 12장 (130쪽)	같은 원소의 두 얼굴과 높은 산화수	불균등화 · 균등화 · 옥소산의 세기 · 산성비
기본개념편 제 13장 (140쪽)	탄소의 산화수와 에너지: 연료·음식·광합성	탄소 화합물의 산화수 · 연소열 · 광합성의 전자 24개
기본개념편 제 14장 (150쪽)	몸속·지구·산업의 산화·환원, 그리고 2부로	제련과 탄소 배출 · 부식과 희생 금속 · 비타민 C의 항산화

4. 이렇게 공부하자

- 처음에는 대화를 소리 내어 읽듯 따라가고, 반응식이 나올 때마다 원소 위에 산화수를 손으로 적어 본다.
- 장이 끝나면 〈스스로 풀어 보기〉를 먼저 풀고 부록 A로 확인한다.
- 계산이 막히는 장은 5장(산화수 규칙), 9~10장(반응식 완성), 11장(양적 관계)이다. 이 구간은 두 번 읽는다.
- 기출 표에 나온 문제는 4부에서 만난다. 지금은 “이 개념이 이런 문제에 쓰이는구나” 정도로 훑는다.

기본개념편을 열며

산화와 환원은 중학교 과학에서 “산소를 얻고 잃는 반응”으로 처음 만나고, 고등학교 화학 I 에서 전자와 산화수로 넓어지며, 대학 논술에서는 반응식 완성과 양적 계산, 그리고 생명·환경 제시문 속 서술이 함께 나오는 단원이다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(원자와 이온, 화학 반응식, 간단한 비례 계산)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 규칙을 먼저 주지 않고, 왜 그런 규칙이 필요한가를 먼저 묻고 그다음에 규칙을 만든다.

등장인물

- 하린·태오 — 남매. 하린은 중학교 2학년, 태오는 논술을 준비하는 고등학교 2학년이다. 돌집 과학 방에서 화학을 배운다. 궁금한 것은 바로 묻고, 태오는 계산을 서두르다 실수도 한다.
- 미숙 이모 — 두부집 사장. 부엌과 가게에서 본 일상의 눈으로 질문한다.
- 석 교수 — 충북 단양 ‘돌집 과학방’의 화학 선생님. 은퇴한 화학·생물 교수로, 설명 대신 질문으로 길을 안내한다.

첫 장면 — 토요일 오후, 난로 앞에서

늦가을 토요일, 돌집 과학방 마당에는 장작 난로가 타고 있었다. 이모는 두부를 눌러 놓고 왔다며 손에 녹슨 철 누름돌을 들고 들어왔다.

- 이모** 교수님, 이 누름돌 좀 보세요. 작년에 산 건데 벌써 별경게 녹이 슬었어요. 녹이 스다는 게 정확히 뭐예요?
- 석 교수** 좋은 질문으로 시작하네요. 그 녹과 저 난로 속 장작이 하는 일이 사실 같은 종류의 일이에요.
- 하린** 장작은 타고 있고, 누름돌은 가만히 있는데요? 그게 어떻게 같아요?
- 석 교수** 둘 다 산소와 결합하고 있어. 장작은 몇 분 만에, 철은 몇 달에 걸쳐서. 빠르기가 다를 뿐이야. 그리고 하린이가 지금 숨 쉬는 것도 같은 종류의 일이야.
- 태오** 호흡이요? 포도당이 산소랑 반응해서 이산화 탄소와 물이 되는 거요?
- 석 교수** 맞다. 불, 녹, 숨. 화학자들은 이 셋을 묶어서 **산화**라고 불렀다. 그런데 산소가 결합하면 산소 쪽에서는 무슨 일이 생길까?
- 태오** 산소는... 그냥 붙는 거 아니에요?
- 석 교수** 산소는 그 대가로 무언가를 얻는다. 그걸 **환원**이라고 해. 한쪽이 산화되면 다른 쪽은 반드시 환원된다. 오늘부터 이 짝을 끝까지 따라가 볼 거다.
- 이모** 그럼 우리 아들 학교 시험에 나오는 “산화수”라는 것도 이거예요? 숫자 계산이 엄청 나오던데요.
- 석 교수** 네, 같은 줄기예요. 처음에는 산소를 얻고 잃는 것으로 정의했고, 다음에는 전자를 잃고 얻는 것으로 넓혔고, 마지막에는 전자가 완전히 오가지 않는 분자에서도 쓸 수 있도록 산화수라는 장부를 만들었어요.
- 하린** 장부요? 가게 장부처럼요?
- 석 교수** 그렇지. 원자마다 전자를 얼마나 잃었는지 얻었는지 적어 두는 장부다. 장부가 맞으려면 잃은 전자 수와 얻은 전자 수가 같아야 하지.
- 태오** 아, 그래서 반응식 계수를 맞출 때 전자 수를 맞추라고 하는 거구나.

석 교수 그 한 줄이 이 책 전체의 비밀이야. 잃은 전자 = 얻은 전자. 이걸로 반응식을 완성하고, 물로 세면 질량과 부피까지 나온다.

이모 그럼 제철소에서 철을 만드는 것도, 비타민 C가 몸에 좋다는 것도 다 이 이야기예요?

석 교수 네. 용광로에서는 탄소가 철광석의 산소를 빼앗아 철을 환원하고, 비타민 C는 자기가 먼저 산화되면서 다른 분자를 지켜요. 둘 다 마지막 장에서 다시 만납니다.

하린 그럼 오늘은 어디서부터 해요?

석 교수 저 난로부터 하자. 장작이 탈 때 무엇이 늘고 무엇이 주는지 재 보는 데서 시작한다.

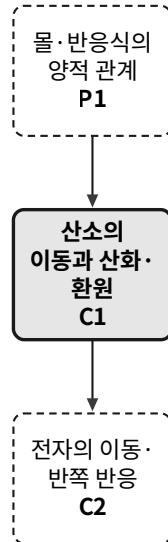
왜 산화·환원인가? **기본개념편 제 1장** (16쪽)은 불·녹·숨이라는 세 장면에서 출발한다. 셋 다 산소가 소모되는 반응이고, 산소를 얻는 쪽 옆에는 늘 산소에게 무언가를 내주는 쪽이 있다. 이 짝이 전자의 주고받음으로, 다시 산화수의 증감으로 정리되고, 마침내 “잃은 전자 = 얻은 전자”라는 한 줄로 반응식과 양적 관계를 모두 푸는 것이 기본개념편의 줄거리다.

제 1장 왜 산화·환원인가

새 개념 산화·환원의 세 장면 · 산소와의 결합 · 산화와 환원은 짝

이어짐 산소 정의 2장 · 전자 정의 3장 · 산화수 4장 · 광합성 13장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념
 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

그림 2. 제 1장에서 배우는 개념(C1 산소의 이동과 산화·환원)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

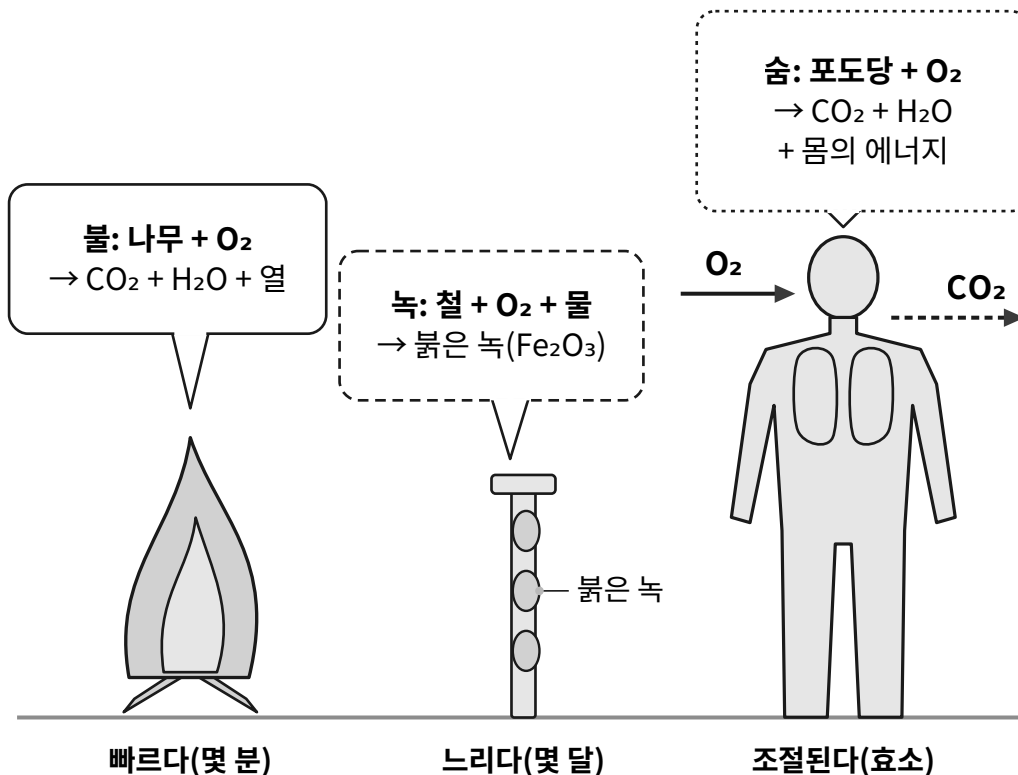
이 장의 개념이 쓰인 기출

표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 2 (연세대 2020년) (218쪽)	철의 제련과 산화수 변화	C1 산소의 이동과 산화·환원
기출 6 (서울과기대 2015년) (255쪽)	분자 구조·산화·환원·산화물의 산과 염기	C1 산소의 이동과 산화·환원

불, 녹, 숨 — 셋 다 산소를 쓴다

캠핑장의 세 장면



셋 다 산소가 소모되는 산화 반응

산화되는 것	나무(C, H)	철(Fe)	포도당
환원되는 것	O ₂	O ₂	O ₂
O ₂ 1 mol당 열	약 445 kJ*	549 kJ	467 kJ

* 나무 대신 메테인(CH₄)으로 계산한 값

그림 3. 캠핑장의 모닥불, 녹슨 텐트 말뚝, 숨 쉬는 사람 — 빠르기는 달라도 셋 다 산소를 쓰는 산화 반응이다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 세 장면 모두 산소(O₂)가 소모되는 산화 반응이다.
2. 산화되는 물질 옆에는 반드시 환원되는 물질(산소)이 있다.
3. 불은 빠르고, 녹은 느리고, 숨은 몸이 속도를 조절할 뿐이다.

이 장의 출발점

이 장은 다음 세 가지만 알면 읽을 수 있다. ① 반응식의 계수는 입자 수의 비이고, 몰(mol)은 입자를 6.02×10^{23} 개씩 묶어 세는 단위다. ② 원자량(H 1, C 12, O 16, Mg 24, Fe 56)으로 몰과 질량을 바꾼다. ③ 화학 반응에서 원자는 새로 생기거나 없어지지 않는다(질량 보존).

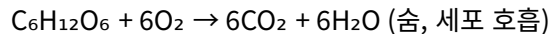
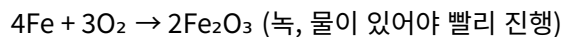
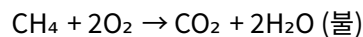
늦가을 토요일, 돌집 과학방 마당의 장작 난로는 아직 타고 있었다. 석 교수는 탁자 위에 마그네슘 리본 한 토막, 녹슨 못 하나, 그리고 전자저울을 올려놓았다. 지난주에 이야기한 불·녹·숨을 오늘은 숫자로 재 보기로 한 날이다.

하린 교수님, 지난번에 불이랑 녹이랑 숨이 같은 일이라고 하셨잖아요. 아직도 잘 안 믿겨요. 하나는 뜨겁고 하나는 차갑잖아요.

석 교수 뜨겁고 차가운 건 빠르기의 차이야. 반응이 몇 초 만에 끝나면 열이 한꺼번에 나와서 불꽃이 되고, 몇 달에 걸쳐 일어나면 그 열이 조금씩 흩어져서 손으로는 느낄 수 없지. 오늘은 무엇이 같은지를 하나씩 확인해 보자.

1.1 불, 녹, 숨 — 세 장면의 공통점

석 교수 먼저 세 장면의 반응식을 나란히 적어 보자. 장작의 주성분은 셀룰로스지만, 단순하게 천연가스 메테인으로 대신하자.



태오 세 식 모두 왼쪽에 O_2 가 있네요. 그게 공통점이에요?

석 교수 그렇다. 셋 다 산소 기체가 소모된다. 18세기 화학자들은 이런 반응을 모두 묶어 **산화**(oxidation)라고 불렀다. 말 그대로 “산소(oxygen)와 결합한다”는 뜻이야.

이모 숨 쉬는 게 불이 타는 것과 같다니, 그럼 몸속에서 불이 나는 건가요?

석 교수 몸은 같은 반응을 수십 단계로 나누어서 아주 천천히 진행시켜요. 한 단계에서 나오는 에너지가 작으니 불꽃이 생기지 않고, 그 에너지를 ATP라는 분자에 나누어 담지요. 반응의 출발점과 도착점, 곧 포도당과 산소에서 이산화 탄소와 물로 가는 것은 불과 똑같습니다.

하린 그럼 에너지도 똑같이 나와요?

석 교수 출발과 도착이 같으면 나오는 에너지 총량도 같다. **그림 4**을 보자. 반응식대로 반응할 때 나오는 열을 막대로 그렸다. 메테인 1몰이 타면 890 kJ, 포도당 1몰이 호흡되면 2803 kJ, 철 4몰이 녹슬어 Fe_2O_3 2몰이 되면 1648 kJ이 나온다.

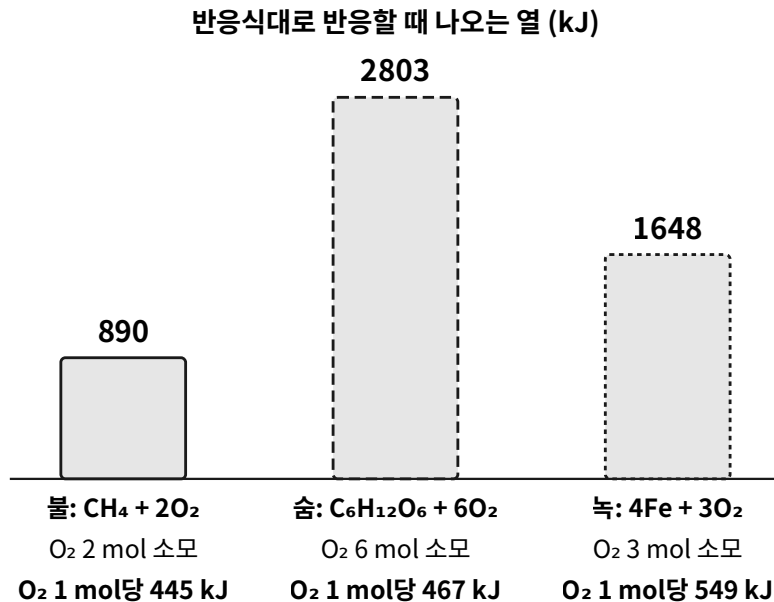


그림 4. 불·녹·숨의 반응열 — 반응식대로 반응할 때 나오는 열(막대)과, 소모된 O₂ 1몰당 나오는 열(아래 숫자). 녹의 값은 Fe₂O₃의 표준 생성 엔탈피 -824.2 kJ/mol의 두 배로 계산했다.

태오 막대 길이는 제각각인데, 아래 적힌 “O₂ 1몰당” 값은 445, 467, 549로 비슷하네요?

석 교수 잘 봤다. 반응식마다 쓰는 산소의 몰수가 다르니까, 산소 1몰을 기준으로 나누어 보면 비슷한 크기가 된다. 메테인은 $890 \div 2 = 445$ kJ, 포도당은 $2803 \div 6 = 467$ kJ, 철은 $1648 \div 3 = 549$ kJ이다. 산소와 결합하는 일에서 큰 에너지가 나온다는 것이 세 장면이 공유하는 또 하나의 성질이야.

이모 손난로가 따뜻한 것도 그 철 녹스는 열이겠네요.

석 교수 맞아요. 손난로는 철가루를 아주 곱게 만들어서 녹스는 속도를 일부러 빠르게 한 물건이에요. 3장에서 다시 열어 봅시다.

같은 반응, 다른 빠르기

하린 그럼 철도 불처럼 활활 탈 수 있어요?

석 교수 있다. 설거지할 때 쓰는 가는 쇠수세미, 곧 강철솥에 불을 붙이면 불꽃을 튀기며 탄다. 못과 강철솥은 같은 철인데 무엇이 다를까?

태오 굵기요. 강철솥은 실처럼 가늘어서 공기와 닿는 겉넓이가 훨씬 넓어요.

석 교수 그렇다. 반응은 철 표면에서 산소 분자와 만나야 일어나니까, 같은 질량이라도 겉넓이가 넓으면 한꺼번에 많은 원자가 반응한다. 열이 빠져나가기 전에 쌓이니 온도가 올라가고, 온도가 오르면 반응은 더 빨라진다. 녹과 불의 차이는 결국 열이 쌓이느냐 흩어지느냐야.

이모 몸은 그 열이 쌓이지 않게 조절하는 거고요.

석 교수 네, 몸은 효소로 단계마다 속도를 정하고 체온을 37 °C 근처로 유지해요. 같은 산화 반응을 불, 녹, 숨이 각자의 속도로 하고 있는 셈입니다.

1.2 “산화”라는 말의 내력

석 교수 이 단원을 공부하면 산화의 정의가 세 번 바뀐다. 산소를 얻는 것, 전자를 잃는 것, 산화수가 늘어나는 것. 왜 바뀌었는지 알면 헛갈리지 않는다. **그림 5**의 연표를 따라가 보자.

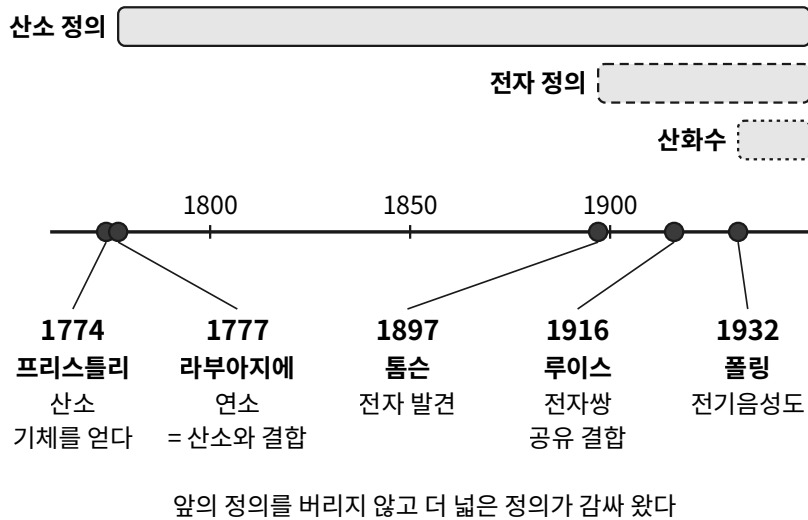


그림 5. 산화·환원의 정의가 넓어진 과정 — 산소의 발견에서 전기음성도까지 다섯 사건. 위 띄는 그때 쓰인 정의이다.

석 교수 1774년 영국의 프리스틀리가 산화 수은을 가열해서 물질을 더 잘 태우는 기체를 얻었다. 그 무렵 프랑스의 라부아지에는 닫힌 그릇 안에서 금속을 가열하면 금속은 무거워지고 공기는 그만큼 줄어든다는 것을 저울로 보였다. 1777년 무렵에는 연소란 물질이 공기 속 한 성분과 결합하는 일이라고 정리했고, 그 성분에 “산을 만드는 것”이라는 뜻의 이름 oxygène을 붙였다.

태오 프리스틀리가 먼저 찾았는데 이름은 라부아지제가 붙였네요.

석 교수 프리스틀리는 끝까지 플로지스톤 이론을 믿고 그 기체를 “플로지스톤이 빠진 공기”라고 불렀다. 같은 기체를 손에 쥐고도 해석이 달랐던 거지. 실험 결과를 어떤 이론으로 읽느냐가 그만큼 중요하다.

하린 산을 만드는 거요? 산소가 산이에요?

석 교수 라부아지에는 황이나 인을 태운 재가 물에 녹으면 산이 되는 것을 보고 그렇게 생각했어. 나중에 염산(HCl)처럼 산소가 없는 산이 발견되면서 그 생각은 틀렸다는 게 드러났지만, 이름은 그대로 남았다.

태오 그다음이 전자예요?

석 교수 1897년 톰슨이 음극선이 원자보다 훨씬 가벼운 음전하 알갱이, 곧 전자의 흐름이라는 것을 밝혔다. 원자 안에 전자가 있다는 걸 알고 나니 “금속이 산소와 결합하면 금속 원자는 전자를 내주고 산소는 받는다”는 설명이 가능해졌지. 이게 3장에서 배울 전자 정의다.

석 교수 1916년 루이스는 두 원자가 전자쌍을 함께 가지는 공유 결합을 제안했다. 그러면 새 문제가 생긴다. 물 분자처럼 전자를 나눠 가지는 경우에는 누가 잃고 누가 얻었는지 어떻게 말하지?

태오 그래서 폴링의 전기음성도가 나오는 거군요. 1932년.

석 교수 맞다. 원자마다 전자를 끌어당기는 세기가 다르다는 것을 수치로 나타냈다. 그 수치를 써서 “공유 전자쌍을 센 쪽에 몰아준다”고 약속하면, 공유 결합 분자에서도 장부를 적을 수 있다. 그게 4장의 산화수다. 세 정의를 표 4에 나란히 정리해 두자.

표 4. 산화·환원의 세 정의 — 뒤의 정의는 앞의 정의를 포함하며 더 넓다

정의	산화	환원	잘 쓰이는 곳	한계
산소	산소를 얻음	산소를 잃음	연소, 녹, 제련	산소가 없는 반응($2\text{Na} + \text{Cl}_2$)을 설명 못 함
전자	전자를 잃음	전자를 얻음	금속, 이온 결합, 금속 이온 용액	전자를 공유하는 분자 반응에는 쓰기 어려움
산화수	산화수 증가	산화수 감소	모든 반응(유기물·생체 포함)	실제 전하가 아닌 약속된 장부상 전하

이모 정의가 바뀌었다고 해서 예전 정의가 틀린 건 아니군요. 더 넓어진 거네요.

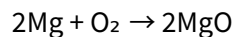
석 교수 네, 산소 정의로 산화인 반응은 전자 정의로도, 산화수 정의로도 산화예요. 거꾸로는 성립하지 않아서 시험에서는 가장 넓은 산화수 정의로 판정하는 것이 안전합니다.

1.3 무게가 늘어나는 연소 — 마그네슘 리본

석 교수 이제 저울을 쓰자. 이 마그네슘 리본이 2.4 g이다. 도가니에 넣고 태우면 흰 가루가 남는데, 질량이 어떻게 될까?

하린 타면 없어지니까 가벼워지지 않아요? 장작은 타고 나면 재만 조금 남잖아요.

석 교수 장작은 생성물인 이산화 탄소와 수증기가 공기 중으로 날아가서 가벼워 보이는 거야. 마그네슘은 생성물 산화 마그네슘이 고체로 남는다. 반응식을 쓰고 몰로 세어 보자.



태오 Mg 2.4 g은 $2.4 \div 24 = 0.10$ mol이에요. 계수비가 2 : 2니까 MgO도 0.10 mol이고, MgO 화학식량이 $24 + 16 = 40$ 이니까 $0.10 \times 40 = 4.0$ g이요.

석 교수 정확하다. 2.4 g이 4.0 g이 되었으니 1.6 g이 늘었다. 늘어난 1.6 g은 어디서 왔을까?

하린 공기 속 산소요! 산소 원자 0.10 mol이니까 $0.10 \times 16 = 1.6$ g, 딱 맞아요.

이모 공기 속 산소가 붙어서 무거워진다는 걸 옛날 사람들은 몰랐나요?

석 교수 18세기 초까지는 물질 속에 “플로지스톤”이라는 불의 원소가 있어서 타면 그것이 빠져나간다고 생각했어요. 그런데 금속을 태우면 오히려 무거워지니 설명이 궁색했지요. 라부아지에는 주석이나 수은을 밀폐한 그릇 안에서 가열해서, 그릇 전체의 질량은 그대로이고 금속이 늘어난 만큼 공기가 줄어든다는 것을 보였습니다. 빠져나간 것이 아니라 공기 속 무언가가 들어왔다는 증거였지요.

석 교수 그것이 라부아지에가 저울로 보인 내용이고, 오늘 우리가 다시 확인한 내용이다. 그림 6는 태운 마그네슘의 질량을 바꿔 가며 생기는 MgO의 질량을 계산해 그린 것이다. 어떤 양을 태워도 MgO는 Mg의 40/24배, 곧 약 1.67배다.

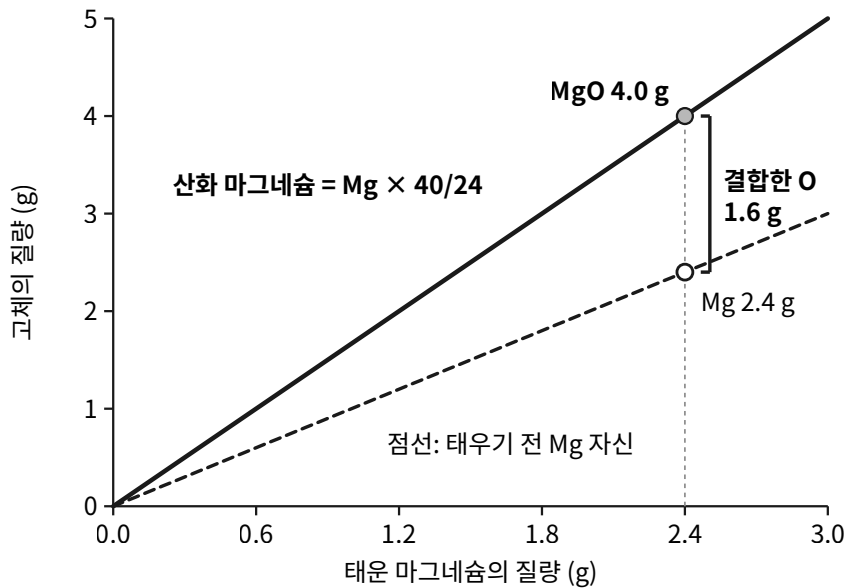


그림 6. 마그네슘의 질량과 연소 후 생성된 산화 마그네슘의 질량 — $\text{MgO} = \text{Mg} \times 40/24$ 의 직선. 2.4 g의 Mg는 4.0 g의 MgO가 되며, 차이 1.6 g이 결합한 산소이다(계산값).

태오 그런데 학교에서 실험할 때 저희 조는 3.6 g밖에 안 나왔어요. 그럼 반응식이 틀린 거예요?

석 교수 반응식이 틀린 게 아니라 실험에서 무언가를 놓친 거다. 마그네슘이 탈 때 흰 연기가 올라가지? 그 연기가 MgO 가루야. 도가니 뚜껑을 조금씩만 열어야 하는 이유가 그거다. 또 공기 중 질소와 반응해 Mg_3N_2 가 조금 생기기도 한다. 이론값보다 작게 나오면 먼저 “생성물이 빠져나가지 않았나”를 의심하는 습관을 들이자.

문제 1.1

마그네슘 2.4 g이 공기 중에서 완전 연소하였다. 생성되는 산화 마그네슘의 질량과, 마그네슘과 결합한 산소의 질량을 구하라. (원자량 Mg 24, O 16)

하린 방금 한 거예요. $\text{Mg } 0.10 \text{ mol} \rightarrow \text{MgO } 0.10 \text{ mol} \rightarrow 4.0 \text{ g}$. 결합한 산소는 $4.0 - 2.4 = 1.6 \text{ g}$ 이에요.

석 교수 계산까지 하자. 산소 원자 $0.10 \text{ mol} \times 16 \text{ g/mol} = 1.6 \text{ g}$. 두 방법이 같은 답을 주니 맞다. 정답은 MgO 4.0 g, 산소 1.6 g이다.

문제 1.2

철 5.6 g이 모두 녹슬어 Fe_2O_3 가 되었다. 녹의 질량은 몇 g인가? (녹을 Fe_2O_3 로만 본다. 원자량 Fe 56, O 16)

태오 $\text{Fe } 5.6 \div 56 = 0.10 \text{ mol}$ 이에요. 그러니까 Fe_2O_3 도 0.10 mol이고, $160 \times 0.10 = 16 \text{ g}$!

석 교수 잠깐. Fe_2O_3 한 단위에 철 원자가 몇 개 들어 있지?

태오 아, 두 개요. 그럼 Fe 0.10 mol로는 Fe_2O_3 가 0.050 mol밖에 안 생겨요. $160 \times 0.050 = 8.0 \text{ g}$ 이에요.

석 교수 맞다. 정답은 8.0 g. 반응식 $4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ 의 계수비 4 : 2로 봐도 0.10 mol의 절반이다. 결합한 산소는 $8.0 - 5.6 = 2.4$ g, 산소 원자로 0.15 mol이다. 화학식의 아래 숫자를 놓치면 답이 두 배로 틀린다는 걸 기억해 두자.

이모 실제 녹은 물이 섞여 있어서 더 무겁겠네요.

석 교수 네, 실제 녹은 물 분자가 붙은 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 라서 더 무겁고 푸석해요. 그래서 문제에서 “ Fe_2O_3 로만 본다”고 조건을 줍니다.

물 계산에서 자주 틀리는 두 곳

첫째, 화학식의 아래 숫자. Fe_2O_3 1몰에는 Fe 2몰과 O 3몰이 들어 있으므로, 철의 몰수에서 Fe_2O_3 의 몰수로 갈 때는 2로 나눈다. 둘째, 원소 기호와 분자식의 구분. “산소 1.6 g”이 산소 원자(O, 16 g/mol)로 0.10 mol인지, 산소 분자(O_2 , 32 g/mol)로 0.050 mol인지 문장에서 확인한다. 같은 1.6 g이라도 무엇을 세느냐에 따라 몰수가 두 배 차이 난다.

1.4 산화와 환원은 언제나 짝

석 교수 이제 반대편을 보자. 마그네슘이 산소를 얻었다면, 산소 쪽에서는 무슨 일이 일어났을까?

하린 산소는... 마그네슘한테 붙었어요.

석 교수 산소 분자 O_2 는 원래 산소 원자끼리 붙어 있었는데, 그 결합이 끊어지고 마그네슘과 결합했다. 산소를 얻는 쪽을 산화라고 부른다면, 산소를 마그네슘에 넘겨준 쪽에 일어난 일에도 이름이 필요하다. 그것을 **환원(reduction)**이라고 한다.

태오 환원은 원래 “되돌린다”는 뜻이잖아요. 왜 그런 이름이에요?

석 교수 옛날 제련 기술자의 말이다. 광석, 곧 금속의 산화물에서 산소를 빼앗아 금속으로 “되돌리는” 일을 환원이라고 불렀어. 2장에서 볼 용광로가 바로 그 일을 하지. 산화철에서 산소가 떠나면 철이 환원되고, 그 산소를 받은 탄소는 산화된다.

이모 그러니까 한쪽이 산소를 얻으면 다른 쪽은 반드시 잃는 거네요. 산소가 어디서 갑자기 생기지는 않으니까요.

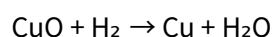
석 교수 바로 그거예요. 원자는 보존되니까 산소가 어딘가로 가면 어딘가에서는 떠나야 합니다. 그래서 산화만 일어나는 반응, 환원만 일어나는 반응은 없어요. 늘 짝으로 일어나기 때문에 “산화-환원 반응”이라고 한 단어로 부르지요.

태오 그럼 Mg 연소에서 산화된 건 Mg, 환원된 건 O_2 예요?

석 교수 산소 정의로는 “산소를 잃는 쪽”이 환원이니 O_2 를 환원됐다고 하기가 좀 어색하지? 산소 정의만으로는 산소 자신을 설명하기 어렵다. 3장에서 전자 정의를 쓰면 깔끔해진다. Mg는 전자 2개를 잃고, O는 전자 2개를 얻는다. 그때 O_2 가 환원된다고 분명하게 말할 수 있다.

하린 정의가 넓어지는 이유가 이런 거구나.

석 교수 하나 더 보자. 검은 산화 구리(II) 가루를 가열한 관에 수소 기체를 흘리면 붉은 구리가 남고 관 끝에 물방울이 맺힌다.



태오 CuO 는 산소를 잃었으니 환원, H_2 는 산소를 얻어서 물이 됐으니 산화예요. 여기서도 짝이네요.

석 교수 그렇다. 마그네슘 연소는 “산화되는 쪽”이 눈에 띄는 반응이고, 이 반응은 “환원되는 쪽”이 눈에 띄는 반응일 뿐, 둘 다 짝을 이룬다. 2장에서 이 반응의 질량을 직접 계산해 볼 거다.

1.5 이 책의 길

석 교수 기본개념편 14장의 순서를 미리 보여 주마. 산소 → 전자 → 산화수 → 반응식 → 몰 → 응용. 2·3장에서 산소와 전자, 4~6장에서 산화수를 만들고 쓰는 법, 7·8장에서 산화제·환원제와 금속, 9~11장에서 반응식을 완성하고 몰로 센다. 12~14장은 응용이다.

태오 논술에서 제일 많이 나오는 건 어디예요?

석 교수 산화수를 매기고(5장), 산화수 변화로 산화·환원을 판정하는(6장) 문제가 거의 모든 기출에 들어 있다. 그다음이 반응식 계수 맞추기(9장)와 전자 몰수 계산(11장)이야. 하지만 오 늘처럼 몰과 질량을 정확히 세는 습관이 없으면 그 어느 것도 끝까지 풀 수 없다.

이모 아이들이 학교에서 배우는 순서와 같은가요? 우리 애는 산화수부터 외웠던데요.

석 교수 교과서도 산소 → 전자 → 산화수 순서로 나오지만, 시험 준비를 하다 보면 산화수 규칙만 외우고 앞을 건너뛰기 쉬워요. 그러면 “왜 산화수가 늘면 산화인가”를 설명하라는 논술 문제에서 막힙니다. 산화수는 전자를 잃은 정도를 적은 장부이고, 전자를 잃는다는 건 산소와 결합하는 금속이 하던 일이라는 걸 알고 있으면, 그 질문은 두 문장으로 답할 수 있어요.

하린 그럼 저는 오늘 배운 Mg 연소 하나만 확실히 기억하면 되겠네요.

석 교수 좋은 출발점이다. 2.4 g이 4.0 g이 되고, 늘어난 1.6 g이 산소라는 것. 그 장면을 2장에서 는 거꾸로 돌려서, 산소를 빼앗아 금속을 되찾는 제련으로 읽어 보자.

핵심 오늘 가져갈 네 가지

1. 연소·녹·호흡은 모두 산소와 결합하는 반응, 곧 산화 반응이다.
2. 산화되는 물질 옆에는 반드시 환원되는 물질이 있다. 산화와 환원은 언제나 짝으로 일어난다.
3. 금속이 연소하면 결합한 산소만큼 질량이 늘어난다(2.4 g Mg → 4.0 g MgO, 늘어난 1.6 g = 산소).
4. 산화·환원의 정의는 산소 → 전자 → 산화수로 넓어졌고, 뒤의 정의가 앞의 정의를 포함한다.

스스로 풀어 보기

1. 마그네슘 1.2 g을 완전 연소시키면 생기는 MgO의 질량과 결합한 산소의 질량을 구하라.
2. 구리 6.4 g을 공기 중에서 충분히 가열하여 모두 CuO로 만들었다. 생성물의 질량을 구하라. (Cu 64)
3. 장작을 태우면 재가 장작보다 훨씬 가볍다. 이것이 질량 보존 법칙에 어긋나지 않는 이유를 한두 문장으로 쓰라.
4. 마그네슘의 연소에서 “산화와 환원이 짝으로 일어난다”는 말을 산소 원자의 이동으로 설명하라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

오늘 본 “산소를 얻는 쪽과 내주는 쪽”은 4부의 **기출문제 2**(연세대 2020) (218쪽)에서 철의 제련을 단계별 반응식으로 쓰고 산화·환원을 논하는 문제로 그대로 나온다. 생명 현상으로 넓히면, **기출문제 5**(성균관대 2016) (246쪽)에서는 광합성 생성물의 분자식을 구한 뒤 이동한 전자 수를 세게 하고, **기출문제 8**(연세대 2012) (279쪽)에서는 탄소 고정을 산화·환원과 에너지 저장의 관점에서 다른 행성의 광합성과 비교하게 한다. 세 문제 모두 이 장의 첫 질문, 곧 “무엇이 산소(전자)를 얻고 무엇이 잃는가”에서 시작한다.

이 장의 참고문헌

- Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson.
- Priestley, J. (1775). An account of further discoveries in air. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 65, 384–394. <https://doi.org/10.1098/rstl.1775.0039>
- Thomson, J. J. (1897). Cathode rays. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 44(269), 293–316. <https://doi.org/10.1080/14786449708621070>
- Lewis, G. N. (1916). The atom and the molecule. Journal of the American Chemical Society, 38(4), 762–785. <https://doi.org/10.1021/ja02261a002>
- Pauling, L. (1932). The nature of the chemical bond. IV. The energy of single bonds and the relative electronegativity of atoms. Journal of the American Chemical Society, 54(9), 3570–3582. <https://doi.org/10.1021/ja01348a011>

제 2장 산소를 얻고 잃는 반응: 연소와 제련

새 개념 산소를 얻는 산화 · 산소를 잃는 환원 · 철의 제련

이어집 전자 정의 3장 · 산화제·환원제 7장 · 제련과 탄소 배출 14장

이 장의 개념도

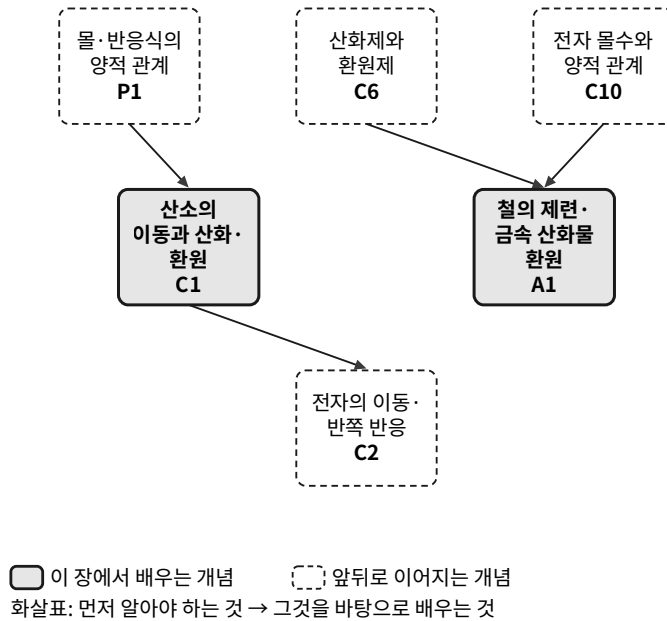


그림 7. 제 2장에서 배우는 개념(C1 산소의 이동과 산화·환원, A1 철의 제련·금속 산화물 환원)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

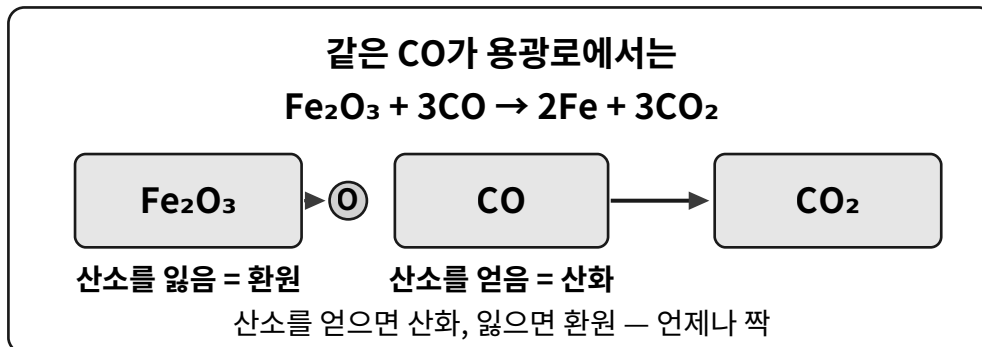
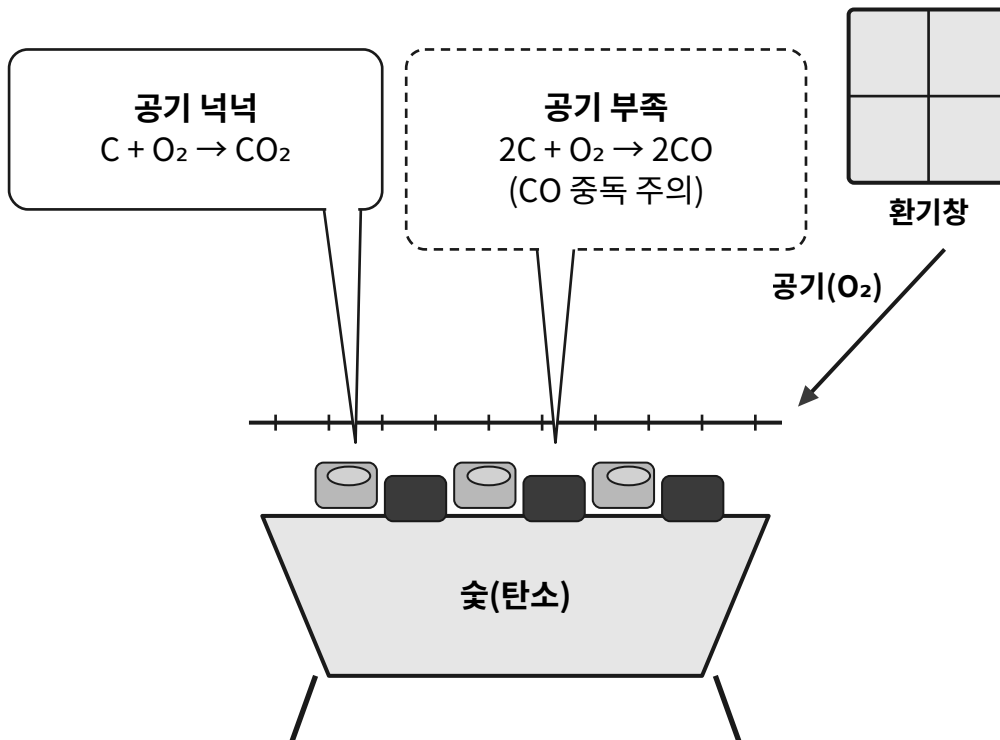
이 장의 개념이 쓰인 기출

표 5. 제 2장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 2 (연세대 2020년) (218 쪽)	철의 제련과 산화수 변화	C1 산소의 이동과 산화·환원; A1 철의 제련·금속 산화물 환원
기출 3 (경희대 2020년) (227 쪽)	산소 부피로 금속 맞히기와 산화제·환원제	A1 철의 제련·금속 산화물 환원
기출 6 (서울과기대 2015년) (255쪽)	분자 구조·산화·환원·산화물의 산과 염기	C1 산소의 이동과 산화·환원

숯불구이의 숯 — 산소를 얻는 탄소

공기의 양에 따라 다른 기체가 생긴다



숯(탄소)은 산소를 얻고, 철광석은 산소를 잃는다

그림 8. 숯불구이 화로의 숯 — 공기가 넉넉하면 CO_2 , 모자라면 CO가 생긴다. 같은 CO가 용광로에서는 철광석의 산소를 빼앗는다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 숯(탄소)은 산소를 얻어 산화된다.
2. 공기가 모자라면 독성 기체 CO가 생긴다.
3. 같은 CO가 용광로에서는 Fe_2O_3 를 철로 환원한다.

이 장의 출발점

기본개념편 제 1장 (16쪽)에서 연소·녹·호흡이 모두 산소와 결합하는 반응이라는 것을 보았다. 이 장에서는 ① 반응식의 계수비로 몰수를 구하고 ② 화학식량(CuO 80, Fe₂O₃ 160, CO 28, CO₂ 44, H₂O 18)으로 질량을 구하는 계산을 쓴다. ③ 산화와 환원은 언제나 짝이라는 1장의 결론을 기억해 두자.

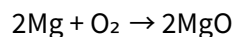
다음 토요일, 이모는 마당에 숯불구이 화로를 내놓았다. 숯이 벌겋게 달아오르자 석 교수는 화로 옆 환기창을 가리키며 오늘 이야기는 이 숯 한 덩이에서 시작해 제철소까지 간다고 했다. 하린은 숯 한 조각을 집어 들고 가볍다며 놀랐고, 태오는 지난주에 배운 질량 계산을 벌써 공책에 적어 두었다.

이모 교수님, 숯불은 연기도 거의 없는데 왜 꼭 창문을 열라고 하나요? 고기 굽는 냄새 때문인가요?

석 교수 냄새보다 무서운 기체 때문이에요. 숯이 탈 때 공기가 넉넉하면 이산화 탄소가 생기지만, 공기가 모자라면 일산화 탄소가 생깁니다. 오늘은 그 두 기체가 무엇이 다른지, 그리고 그 일산화 탄소가 제철소에서 어떤 일을 하는지 보려고 해요.

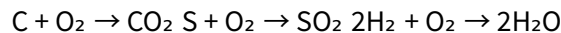
2.1 산화 — 산소를 얻는 반응

석 교수 1장의 마그네슘부터 다시 쓰자. 마그네슘은 산소를 얻어 산화 마그네슘이 되었다.



태오 Mg가 산소를 얻었으니 산화예요. 숯은 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ 이고요.

석 교수 그렇다. 숯의 주성분은 탄소이고, 탄소가 산소를 얻어 이산화 탄소가 되니 탄소는 산화된 다. 황을 태우면 이산화 황, 수소를 태우면 물이 된다. 모두 산소를 얻는 반응이다.



하린 산소를 얻으면 다 산화라고 부르면 되니까 쉽네요.

석 교수 쉬운 정의의 장점이지. 그런데 산소를 얻는 물질만 보면 반쪽만 본 거다. 이 반응들에서 산소 분자 O₂는 산소 원자를 내주었다. 1장에서 말한 짝이다. 이제 반대 방향, 곧 산소를 잃는 반응을 보자.

금속마다 다른 산화의 모습

이모 알루미늄 냄비는 오래 써도 녹이 안 슬던데요. 알루미늄은 산소랑 안 붙나요?

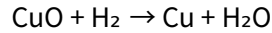
석 교수 오히려 아주 잘 붙어요. 알루미늄 표면은 공기에 닿자마자 산화 알루미늄 Al₂O₃의 아주 얇은 막으로 덮이는데, 이 막이 치밀해서 산소가 안쪽으로 더 들어가지 못합니다. 철의 녹은 푸석해서 떨어져 나가며 속까지 계속 녹슬지만, 알루미늄은 얇은 껍질이 속을 지켜 주는 거지요.

태오 구리 냄비 바닥이 까맣게 되는 것도 산화예요?

석 교수 그렇다. 구리를 세게 가열하면 $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$ 가 일어나 검은 산화 구리(II)가 생긴다. 금속은 대부분 산소와 결합하려는 경향이 있고, 그 경향의 크기가 금속마다 다르다. 마그네슘·알루미늄은 아주 크고, 철은 중간, 구리는 작고, 금은 거의 없다. 이 순서는 8장의 “금속의 반응성”으로 다시 만난다.

2.2 환원 — 산소를 잃는 반응

석 교수 검은 산화 구리(II) 가루를 유리관에 넣고 가열하면서 수소 기체를 흘려 보자. 검은 가루가 점점 붉은 구리로 바뀌고, 관의 차가운 끝에는 물방울이 맺힌다.



태오 CuO는 산소를 잃고 Cu가 됐으니 환원이고, H₂는 산소를 얻어 물이 됐으니 산화예요.

석 교수 맞다. 이렇게 금속 산화물에서 산소를 떼어내 금속을 얻는 일이 옛날부터 “환원”이라고 불린 일이다. 질량으로 확인해 보자. **그림 9**는 CuO 8.0 g을 완전히 환원할 때의 질량 장부다.

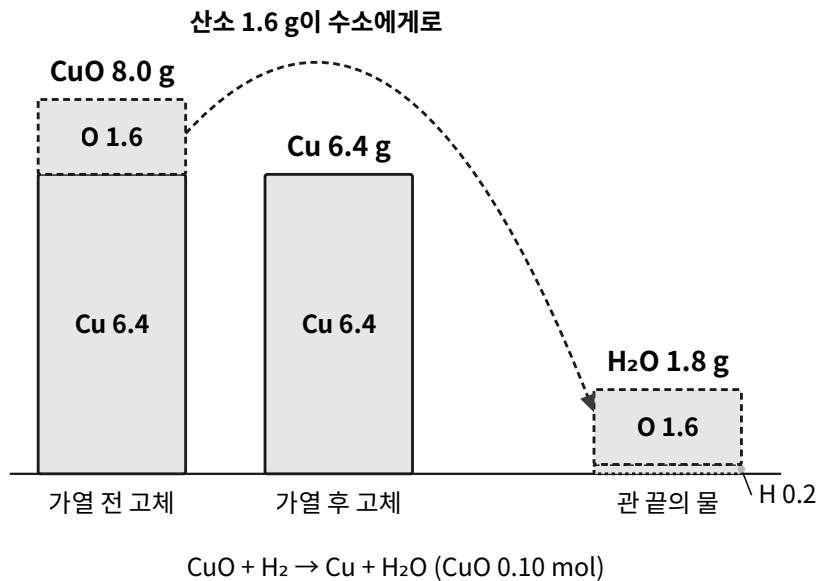


그림 9. 산화 구리(II) 8.0 g을 수소로 완전히 환원할 때의 질량 장부 — 고체는 8.0 g에서 6.4 g으로 줄고, 잃은 산소 1.6 g은 수소 0.20 g과 결합해 물 1.8 g이 된다(계산값).

문제 2.2

산화 구리(II) 8.0 g을 수소 기체로 완전히 환원하였다. 생성되는 구리와 물의 질량을 각각 구하라. (Cu 64, O 16, H 1)

하린 CuO 화학식량이 64 + 16 = 80이니까 8.0 ÷ 80 = 0.10 mol이에요. 계수가 모두 1이니까 Cu도 0.10 mol, 64 × 0.10 = 6.4 g이요.

태오 물도 0.10 mol이니까 18 × 0.10 = 1.8 g이에요.

석 교수 정답은 구리 6.4 g, 물 1.8 g이다. 계산도 해 보자. 반응물은 CuO 8.0 g과 H₂ 0.10 mol × 2 = 0.20 g이니 합이 8.2 g. 생성물은 6.4 + 1.8 = 8.2 g. 질량이 보존된다.

태오 그런데 실험에서는 수소를 훨씬 많이 흘려야 하잖아요. 0.20 g만 넣으면 안 되나요?

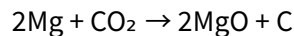
석 교수 좋은 질문이다. 흘려 보낸 수소의 상당 부분은 가루와 만나지 못하고 관을 그냥 지나간다. 또 가열을 끝낸 뒤에도 구리가 식을 때까지 수소를 계속 흘려야 해. 뜨거운 구리가 공기를 만나면 다시 $2\text{Cu} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuO}$ 로 산화되거든. 반응식의 양은 “실제로 반응한 양”이고, 실험에서 넣는 양은 그보다 넉넉해야 한다. 논술에서 “필요한 최소량”을 물으면 반응식의 양을 쓰면 된다.

이모 실험할 때는 고체 무게가 줄어드는 걸 보고 반응이 끝났는지 알 수 있겠네요.

석 교수 네. 가열 전후로 관 속 고체의 질량을 재서 더 이상 줄지 않으면 다 환원된 거예요. 줄어든 1.6 g이 빠져나간 산소이고, 그것을 산소의 몰수로 바꾸면 0.10 mol, 처음 CuO의 몰수와 같아요.

하린 그럼 MgO도 수소로 환원하면 마그네슘이 나와요?

석 교수 그건 안 된다. 마그네슘은 산소를 붙잡는 힘이 수소보다 훨씬 세서, 수소가 MgO에서 산소를 빼앗지 못해. 오히려 거꾸로, 불붙은 마그네슘 리본을 이산화 탄소가 든 병에 넣으면 계속 타면서 검은 탄소 알갱이가 생긴다.



태오 마그네슘이 CO₂의 산소를 빼앗는 거네요. 그럼 CO₂ 소화기로는 마그네슘 불을 못 끄겠어요.

석 교수 그래서 금속 화재에는 모래나 전용 소화약제를 쓴다. 누가 누구의 산소를 빼앗을 수 있는지는 산소를 붙잡는 힘의 크기 순서로 정해진다는 것, 이것이 제련의 핵심이다.

2.3 용광로 속 세 단계

석 교수 이제 제철소로 가자. 철광석의 주성분은 적철석 Fe₂O₃다. 이걸 철로 만들려면?

하린 산소를 떼어내야 해요. 환원이요!

석 교수 그렇다. 수소로 해도 되지만, 수백 년 동안 사람들은 값싼 탄소, 곧 석탄을 구워 만든 코크스를 썼다. **그림 10**의 용광로를 보자. 위에서 철광석·코크스·석회석을 넣고, 아래에서 뜨거운 공기를 불어 넣는다.

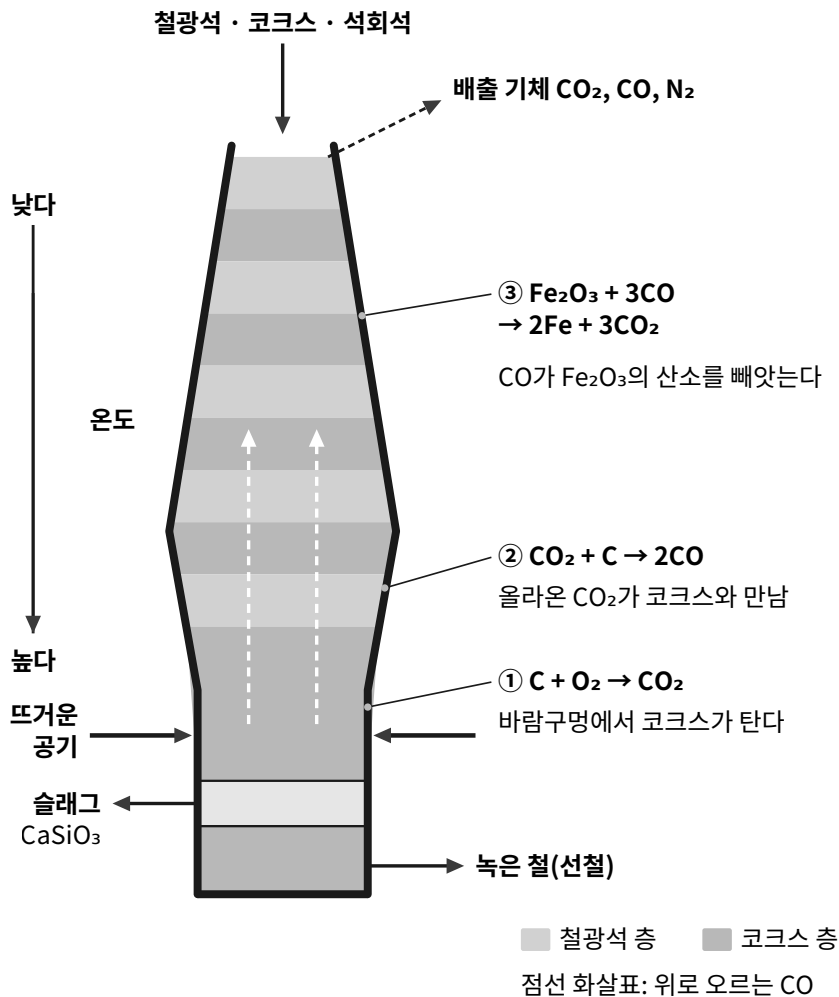
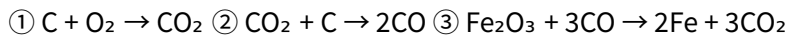


그림 10. 용광로의 단면 모식도 — 위에서 철광석·코크스·석회석을 넣고 아래에서 뜨거운 공기를 불어 넣는다. 아래쪽에서 코크스가 타서 CO가 생기고, 올라가는 CO가 내려오는 Fe_2O_3 를 철로 환원한다. 녹은 철 위에 슬래그가 뜬다.

석 교수 반응은 세 단계다. 아래쪽 바람구멍 근처에서 코크스가 타서 이산화 탄소가 된다. 그 이산화 탄소가 위로 올라가다 뜨거운 코크스와 다시 만나 일산화 탄소가 된다. 마지막으로 그 일산화 탄소가 내려오는 철광석에서 산소를 빼앗는다.



태오 ②에서는 C가 산소를 얻으니 산화, CO_2 는 산소를 하나 잃으니 환원이네요. ③에서는 Fe_2O_3 가 산소를 잃어 환원, CO가 산소를 얻어 산화되고요.

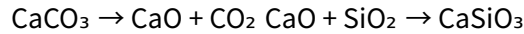
석 교수 잘 읽었다. 실제 용광로 안에서는 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$ 순서로 산소가 조금씩 떨어져 나가지만, 처음과 끝만 쓰면 ③ 한 줄이 된다.

하린 왜 코크스로 바로 $\text{C} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 하지 않고 CO를 거쳐요?

석 교수 고체끼리는 맞닿는 면에서만 반응하니 느리다. 기체인 CO는 철광석 덩어리 사이 틈으로 스며들어 표면 전체에서 산소를 빼앗을 수 있지. 그래서 용광로는 “CO 기체를 만들어 올려 보내는 장치”라고 보면 된다.

이모 석회석은 왜 넣어요?

석 교수 철광석에는 모래 성분인 이산화 규소 SiO_2 가 섞여 있어요. 석회석 CaCO_3 가 열에 분해되어 생긴 CaO 가 SiO_2 와 만나 규산 칼슘 CaSiO_3 , 곧 슬래그가 됩니다. 슬래그는 녹은 철보다 가벼워서 위에 뜨니까 따로 빼낼 수 있지요. 이 두 반응은 산소의 주고받음이 없는 반응이라는 점도 기억해 두세요.



석 교수 이제 양을 세 보자.이모: 결국 철 만드는 데 필요한 건 산소를 빼앗아 갈 무언가군요.

그림 11는 Fe_2O_3 160 kg, 곧 1 kmol을 기준으로 반응 ③의 물질 수지를 그린 것이다.

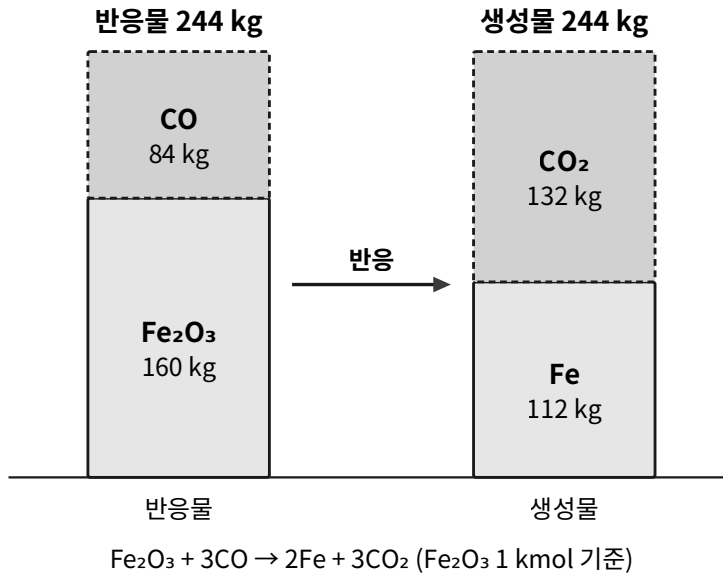


그림 11. 반응 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$ 의 물질 수지(Fe_2O_3 160 kg = 1 kmol 기준) — 반응물 160 + 84 = 244 kg, 생성물 112 + 132 = 244 kg(계산값).

문제 2.1

Fe_2O_3 16.0 kg을 일산화 탄소로 완전히 환원하였다($\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$). 얻는 철의 질량과 필요한 일산화 탄소의 질량을 구하라. (Fe 56, C 12, O 16)

태오 Fe_2O_3 160 g/mol이니깐 16.0 kg = 16 000 g ÷ 160 = 100 mol이에요. 철은 계수비 1 : 2라서 200 mol, 200 × 56 = 11 200 g = 11.2 kg이요.

하린 CO는 1 : 3이니깐 300 mol, 300 × 28 = 8400 g = 8.4 kg이에요.

석 교수 정답은 철 11.2 kg, 일산화 탄소 8.4 kg이다. 단위 하나 조심하자. kg을 g으로 바꾸지 않고 16.0 ÷ 160 = 0.100이라고 쓰면 그건 kmol이다. 끝까지 kmol로 계산해도 되지만, 중간에 단위를 섞으면 답이 1000배 틀린다.

태오 이산화 탄소는 300 mol × 44 = 13.2 kg 나오겠네요. 철 11.2 kg 만들면서 CO₂가 13.2 kg이나 나와요?

석 교수 그것이 14장에서 다시 불 철강 산업의 탄소 배출 문제다. 이 계산에는 코크스를 태워 열을 내는 몫이 빠져 있어서 실제로는 더 많이 나온다. 수소로 환원하면 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2 \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{H}_2\text{O}$ 가 되어 CO₂ 대신 물이 생기지. 그 이야기는 마지막 장에서 하자.

제련 계산에서 단위 지키기

산업 규모 문제는 kg이나 t(톤)으로 주어진다. g으로 바꾸어 mol로 계산하거나, kg을 그대로 쓰고 kmol(1 kmol = 1000 mol)로 계산하거나 하나로 정해 끝까지 간다. Fe_2O_3 16.0 kg = 0.100 kmol = 100 mol이다. 답을 쓸 때 단위를 다시 확인한다.

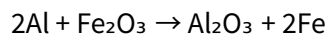
선철에서 강철로, 그리고 테르밋

이모 용광로에서 나온 철이 바로 우리가 쓰는 강철인가요?

석 교수 용광로에서 나온 철은 선철이라고 해서 탄소가 4 % 정도 녹아 있어 단단하지만 잘 부서져요. 이 녹은 선철에 순수한 산소를 불어 넣어 탄소를 CO와 CO_2 로 태워 날려 보내면 탄소가 적은 강철이 됩니다. 용광로에서는 철을 환원하고, 다음 단계에서는 섞인 탄소를 산화하는 셈이지요.

태오 환원했다가 다시 산화하는 거네요. 대상이 다를 뿐이고요.

석 교수 그렇다. 하나 더. 철길 레일을 이을 때 쓰는 테르밋 반응이 있다.



하린 알루미늄이 철에게서 산소를 빼앗아요?

석 교수 알루미늄이 산소를 붙잡는 힘이 철보다 훨씬 세니까. 이때 나오는 열이 커서 생긴 철이 녹은 채로 흘러나오고, 그 쇳물로 레일 틈을 메운다. 앞에서 본 $2\text{Mg} + \text{CO}_2$ 와 같은 원리야. 산소를 더 세게 붙잡는 물질이 상대의 산소를 빼앗고, 빼앗긴 쪽은 환원된다.

태오 그럼 알루미늄 5.4 g으로 철을 얼마나 만들 수 있어요? Al 원자량이 27이니깐 0.20 mol 이고, 계수비 2 : 2라서 철도 0.20 mol, $56 \times 0.20 = 11.2$ g이에요. 필요한 Fe_2O_3 는 0.10 mol, 16 g이고요.

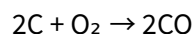
석 교수 계산이 빨라졌구나. 반응물 $5.4 + 16 = 21.4$ g, 생성물은 Al_2O_3 0.10 mol $\times 102 = 10.2$ g과 철 11.2 g, 합 21.4 g. 질량 보존도 맞다.

용광로는 거꾸로 흐르는 두 강

용광로 안에서 고체(철광석·코크스·석회석)는 위에서 아래로 천천히 내려오고, 기체(CO · CO_2 · N_2)는 아래에서 위로 빠르게 올라간다. 아래로 갈수록 고체는 더 뜨겁고 더 많이 환원된 상태가 되며, 위로 갈수록 기체는 식으면서 CO가 CO_2 로 바뀐다. 두 흐름이 반대 방향이라 열과 환원력이 버려지지 않고 고체에 차례로 전달된다. 맨 위에서 빠져나가는 기체에도 CO가 남아 있어서, 제철소는 이 기체를 모아 다시 연료로 쓴다.

2.4 숯불의 일산화 탄소 — 불완전 연소

석 교수 다시 화로로 돌아오자. 숯이 공기를 넉넉히 받으면 $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ 다. 공기가 모자라면?



하린 탄소 두 개가 산소 분자 하나를 나눠 가지니까 산소를 하나씩만 얻네요.

석 교수 그래서 불완전 연소라고 한다. 탄소가 덜 산화된 상태야. 일산화 탄소는 색도 냄새도 없는 데, 혈액 속 헤모글로빈에 산소보다 200배 이상 강하게 결합해서 몸이 산소를 나르지 못하게 한다. 닫힌 방에서 숯을 피우면 위험한 이유다.

- 이모** 그 위험한 기체가 용광로에서는 철을 만드는 일꾼이군요.
- 석 교수** 네. 덜 산화된 탄소라서 산소를 하나 더 받아들일 여유가 있고, 그래서 남의 산소를 빼앗을 수 있지요. 산소를 빼앗아 상대를 환원시키는 물질을 7장에서 “환원제”라고 부를 거예요. 1.2 g의 숯이 모두 CO로 타면 CO가 0.10 mol, 2.8 g 생긴다는 계산도 해 둘 만해요.
- 태오** 그런데 CO가 푸른 불꽃을 내며 타는 것도 봤어요. 그건 $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2$ 죠?
- 석 교수** 맞다. 덜 산화된 CO가 마저 산화되는 반응이다. 숯불 위에 가끔 보이는 푸르스름한 불꽃이 그것이야.
- 이모** 캠핑 텐트 안에서 숯 화로를 피우면 안 된다는 경고가 그래서 있군요. 일산화 탄소 경보기도 팔던데요.
- 석 교수** 네, 꼭 필요한 물건이에요. 공기가 모자란 좁은 공간일수록 $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ 쪽이 많아지니까요. 같은 탄소라도 산소를 얼마나 받았느냐에 따라 CO와 CO_2 라는 전혀 다른 물질이 된다는 것, 4장에서는 이 차이를 탄소의 산화수 +2와 +4로 적게 됩니다.

표 6에 이 장에서 본 다섯 반응을 산소의 이동으로 정리했다.

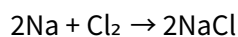
표 6. 산소의 이동으로 본 반응 다섯 가지 — 산소를 얻는 쪽이 산화, 잃는 쪽이 환원된다

반응	반응식	산소를 얻음(산화)	산소를 잃음(환원)
연소	$\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$	C	O_2
호흡	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	포도당	O_2
녹	$4\text{Fe} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3$	Fe	O_2
제련	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$	CO	Fe_2O_3
CuO 환원	$\text{CuO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$	H_2	CuO

- 하린** 표를 보니까 위의 세 줄은 환원되는 게 모두 O_2 이고, 아래 두 줄은 산화물이 환원되네요.
- 석 교수** 잘 봤다. 위의 세 반응은 산소 기체가 직접 산소를 내주는 경우이고, 아래 두 반응은 산화물이 산소를 내주는 경우다. 어느 쪽이든 “산소를 내준 쪽이 환원된다”는 한 문장으로 설명된다. 다만 O_2 가 “산소를 잃었다”는 표현은 어색하지? O_2 는 산소 그 자체니까. 이 어색함이 다음 절에서 불 산소 정의의 한계와 이어진다.
- 태오** 제련 줄에서 CO를 산화되는 물질로 쓰는 게 처음엔 헷갈렸어요. 철을 만드는 반응이니까 철 애기만 쓰게 되거든요.
- 석 교수** 시험에서 가장 많이 감점되는 곳이다. “철이 환원된다”만 쓰면 반쪽 답이야. 산화와 환원은 짝이니까 “ Fe_2O_3 는 산소를 잃어 환원되고, CO는 산소를 얻어 산화된다”처럼 두 물질을 함께 쓰는 습관을 들이자.

2.5 산소 정의의 한계

- 석 교수** 산소 정의는 편리하지만 구멍이 있다. 나트륨을 염소 기체 속에 넣으면 밝게 타면서 흰 소금이 생긴다.



- 하린** 산소가 없는데요? 그럼 산화가 아니에요?

- 석 교수** 산소 정의로는 산화라고 할 수 없다. 그런데 나트륨이 산소와 반응한 Na_2O 를 보면, 나트륨은 Na^+ 이온으로 들어 있다. NaCl 에서도 나트륨은 Na^+ 다. 나트륨 원자에게 일어난 일이 똑같은데 상대가 산소냐 염소냐로 이름을 달리 붙이는 건 이상하지 않니?
- 태오** 나트륨이 전자를 하나 잃었다는 건 같아요. 그럼 전자를 기준으로 하면 되겠네요.
- 석 교수** 바로 그게 3장의 내용이다. 산소를 얻는다는 건 사실 전자를 산소에게 내준다는 뜻이었고, 그걸 알고 나면 염소든 황이든 상대가 무엇이든 같은 말로 설명할 수 있다.
- 이모** 황이라고 하시니 생각하는데, 학교 실험에서 철가루와 황가루를 섞어 가열하면 검은 덩어리가 생긴다고 들었어요.
- 석 교수** 네, $\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$, 황화 철(II)이 생기는 반응이에요. 여기에도 산소는 없지만 철 원자는 Fe^{2+} 가 되어 녹이 슬 때와 똑같이 전자를 내줍니다. 반대로 수소와 염소가 만나 염화 수소가 되는 $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$ 에는 이온도 산소도 없어요. 이런 반응은 3장의 전자 정의로도 잘 설명되지 않아서 4장의 산화수까지 가야 합니다.
- 태오** 정리하면, 산소가 있으면 산소 정의, 이온이 생기면 전자 정의, 둘 다 아니면 산화수 정의군요.
- 석 교수** 처음 배울 때는 그렇게 기억해도 좋다. 다만 산화수 정의는 앞의 두 경우를 모두 포함하니까, 결국 하나만 고르라면 산화수다. 오늘 본 반응 하나하나에 6장에서 산화수를 매겨 보면, 산소를 얻은 원소는 모두 산화수가 늘고 산소를 잃은 원소는 모두 산화수가 준다는 것을 확인하게 될 거다.

핵심 산소 정의로 반응 읽기

1. 산소를 얻는 물질은 산화되고, 산소를 잃는 물질은 환원된다. 한 반응 안에 둘이 함께 있다.
2. 금속 산화물에서 산소를 떼어내 금속을 얻는 것이 제련이다($\text{CuO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$).
3. 계산은 몰로 한다. 화학식의 아래 숫자와 단위(g, kg, kmol)를 확인한다. Fe_2O_3 16.0 kg $\rightarrow$ Fe 11.2 kg, CO 8.4 kg.
4. 산소가 없는 반응($2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$)은 산소 정의로 판정할 수 없다. 그래서 전자 정의가 필요하다.

스스로 풀어 보기

1. CuO 4.0 g을 수소로 완전히 환원하면 얻는 구리의 질량은?
2. 용광로의 반응 $\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO}$ 에서 산화되는 물질과 환원되는 물질을 산소의 이동으로 쓰라.
3. Fe_2O_3 8.0 kg에서 얻을 수 있는 철의 최대 질량은?
4. $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ 을 산소 정의로 판정할 수 없는 이유를 한 문장으로 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

4부의 **기출문제 2**(연세대 2020) (218쪽)에서는 이 장의 용광로를 그대로 제시문으로 삼아, 단계별 반응식을 쓰고 각 단계에서 무엇이 산화·환원되는지 논하게 한다. **기출문제 3**(경희대 2020) (227쪽)의 II-1 (2)는 $\text{CuO} + \text{CO} \rightarrow \text{Cu} + \text{CO}_2$ 에서 산화제와 환원제를 고르게 하고, **기출문제 6**(서울과기대 2015) (255쪽)의 [4.1.2]는 오늘 실험한 $\text{CuO} + \text{H}_2$ 반응에서 산화되는 물질과 환원되는 물질을 쓰게 한다. 세 문제 모두 산소의 이동만으로도 풀리지만, 답안에 산화수의 변화를 함께 쓰면 더 단단해진다. 그 방법은

4~6장에서 배운다. 특히 **기출문제 2**(연세대 2020) (218쪽)처럼 문명사 제시문 속에 반응이 숨어 있는 문제는, 제시문에서 반응물과 생성물을 먼저 골라 반응식으로 옮기고, 산소가 어디서 어디로 갔는지 화살표로 표시한 뒤 서술을 시작하면 빠뜨리는 것이 없다.

이 장의 참고문헌

Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson.

Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (1997). Chemistry of the elements (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.

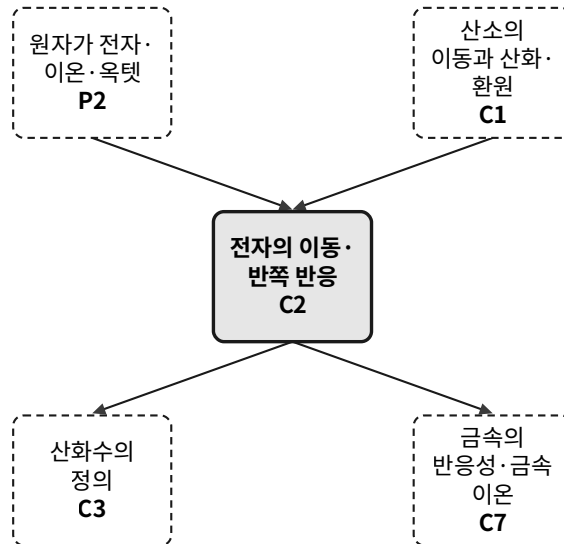
Housecroft, C. E., & Sharpe, A. G. (2018). Inorganic chemistry (5th ed.). Pearson.

제 3장 전자를 잃고 얻는 반응: 반쪽 반응

새 개념 전자를 잃는 산화 · 전자를 얻는 환원 · 반쪽 반응식

이어집 산화수 4장 · 금속 이온 8장 · 반쪽 반응식 완성 10장

이 장의 개념도



□ 이 장에서 배우는 개념 □ 앞뒤로 이어지는 개념
화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

그림 12. 제 3장에서 배우는 개념(C2 전자의 이동·반쪽 반응)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

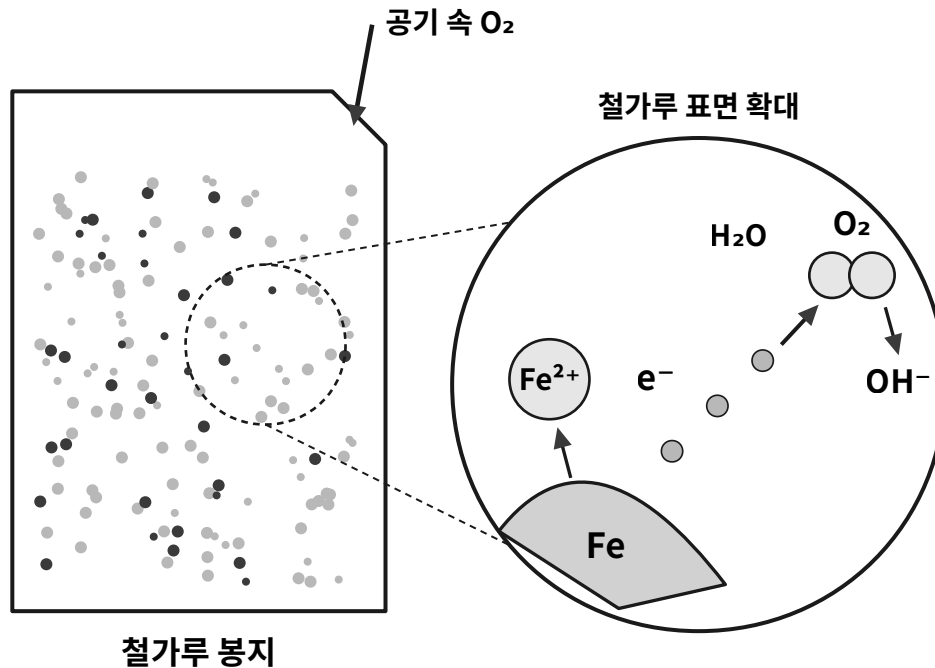
이 장의 개념이 쓰인 기출

표 7. 제 3장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

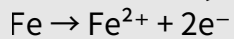
기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 6 (서울과기대 2015년) (255쪽)	분자 구조·산화·환원·산화물의 산과 염기	C2 전자의 이동·반쪽 반응
기출 9 (연세대 미래캠퍼스 2011년) (292쪽)	미생물·광합성에서 전자를 꺼내는 법	C2 전자의 이동·반쪽 반응

흔들어 쓰는 손난로

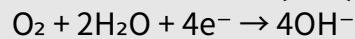
철가루 · 소금물 · 활성탄 · 질석 — 봉지를 뜯으면 공기가 들어온다



철이 전자를 잃는다(산화)



산소가 전자를 얻는다(환원)



전자가 오가며 나오는 열로 손이 따뜻해진다
 $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$ (전자 4개 이동)

봉지를 뜯어야 산소가 들어와 반응이 시작된다
 소금물: 이온이 전하를 옮겨 반응을 빠르게
 활성탄·질석: 공기와 물을 머금어 철에 대 준다

그림 13. 흔들어 쓰는 손난로 — 봉지를 뜯으면 철가루가 전자를 잃고, 들어온 산소가 그 전자를 얻으며 열이 난다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 철은 전자를 잃어 산화된다.
2. 산소는 그 전자를 얻어 환원된다.
3. 잃은 전자 수와 얻은 전자 수가 같다.

이 장의 출발점

이 장에서는 ① 원자 번호 = 양성자 수 = 중성 원자의 전자 수, ② 전자 껍질의 전자 배치(2, 8, 8)와 가장 바깥 껍질의 전자(원자가 전자), ③ 원자가 전자를 잃거나 얻어 옥텟(바깥 껍질 전자 8개)을 이루면 이온이 된다는 것을 쓴다. 물 계산은 **기본개념편 제 2장** (26쪽)에서 한 방법 그대로이고, 기체 1몰의 부피는 0 °C, 1 atm에서 22.4 L로 둔다.

셋째 토요일은 바람이 잦다. 이모는 주머니에서 일회용 손난로 두 개를 꺼내 하나씩 나눠 주었다. 하린이 봉지를 흔들자 금세 따뜻해졌고, 태오는 봉지 뒷면의 성분표를 소리 내어 읽었다. 철가루, 물, 소금, 활성탄, 질석.

하린 오빠, 그거 다 뭐야? 질석은 처음 들어 봐.

태오 교수님, 여기 산소라는 말은 없는데요. 그런데도 1장에서 말한 철의 녹이랑 같은 반응이네요?

석 교수 질석은 물을 머금은 가벼운 광물이다. 성분 하나하나가 하는 일은 뒤에서 보자. 산소는 봉지 안에 아니라 밖, 공기 속에 있지. 그래서 겉봉을 뜯기 전에는 반응하지 않는다. 오늘은 철과 산소 사이에서 실제로 오가는 것이 무엇인지 보자. 2장 끝에서 남겨 둔 숙제, $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ 도 함께 풀 거다.

3.1 나트륨과 염소 — 전자 하나가 옮겨 간다

석 교수 나트륨 원자부터 보자. 원자 번호가 11이니까 전자가 11개다. 껍질에 채우면?

하린 첫 껍질에 2개, 둘째에 8개, 셋째에 1개요. 2, 8, 1.

석 교수 염소는 원자 번호 17이다.

하린 2, 8, 7이요. 바깥에 7개.

석 교수 **그림 14**를 보자. 나트륨은 바깥 껍질의 전자 1개만 내놓으면 안쪽 껍질 2, 8이 바깥이 되어 네온과 같은 배치가 된다. 염소는 전자 1개만 받으면 2, 8, 8로 아르곤과 같은 배치가 되지. 그래서 나트륨의 전자 하나가 염소로 옮겨 간다.

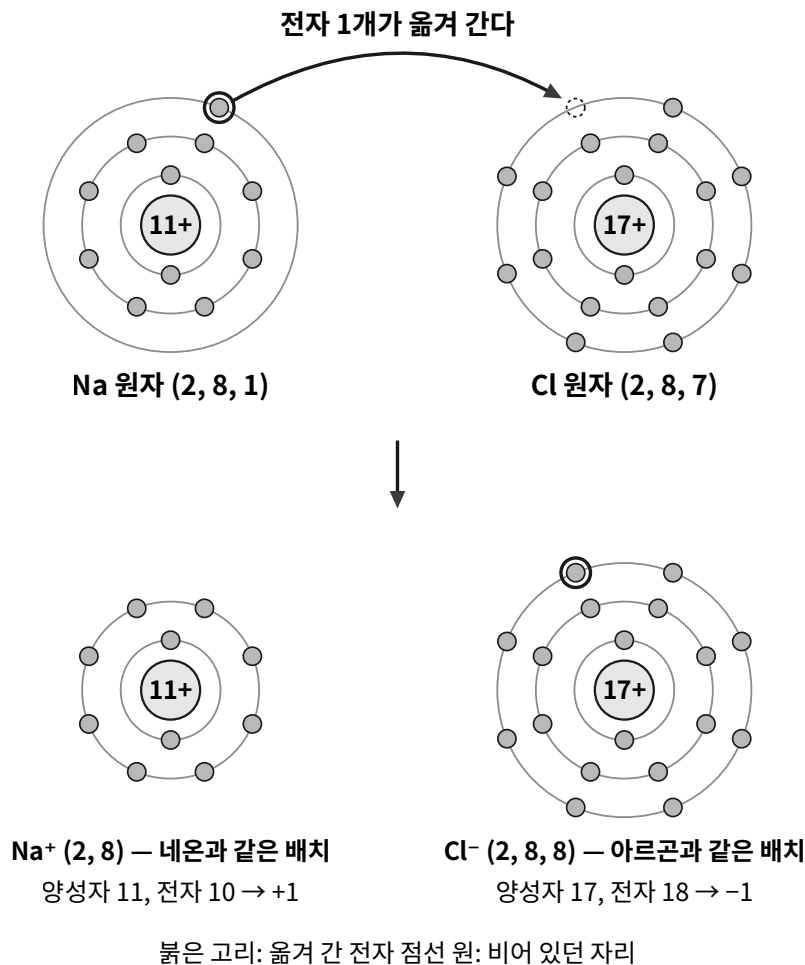


그림 14. 나트륨 원자(2, 8, 1)의 바깥 전자 1개가 염소 원자(2, 8, 7)로 옮겨 가 $\text{Na}^+(2, 8)$ 와 $\text{Cl}^-(2, 8, 8)$ 이 된다. 파란 점이 전자이고, 핵의 숫자는 양성자 수이다(모식도).

태오 그러면 나트륨은 양성자 11개에 전자 10개라서 +1, 염소는 양성자 17개에 전자 18개라서 -1이네요. Na^+ , Cl^- .

하린 그런데 나트륨은 왜 전자 7개를 받아서 옥텟을 채우지 않고 1개를 내줘요? 둘 다 옥텟이 되잖아요.

석 교수 들이는 품이 다르기 때문이다. 나트륨의 바깥 전자 1개는 핵에서 멀리 떨어진 셋째 껍질에 혼자 있고, 안쪽 전자 10개가 핵의 당김을 가려 준다. 그래서 떼어 내기가 비교적 쉽다. 반대로 전자 7개를 더 받으려면 음전하끼리 밀어내는 힘을 일곱 번 이겨야 하니 훨씬 어렵지. 염소는 거꾸로 바깥 껍질에 전자 7개가 있고 핵의 양성자가 17개라서 바깥 전자를 강하게 붙잡는다. 7개를 내주기보다 1개를 받는 편이 훨씬 쉽다.

태오 그래서 금속은 전자를 잃고 비금속은 전자를 얻는 경향이 있는 거군요.

석 교수 그렇다. 금속 원소는 원자가 전자가 적고 쉽게 떨어져 나가서 산화되기 쉽고, 비금속 원소는 원자가 전자가 많아 전자를 받아 환원되기 쉽다. 8장의 금속 반응성 순서는 금속끼리 “잃기 쉬운 정도”를 비교한 것이다.

석 교수 맞다. 반대 전하를 띤 두 이온이 끌어당겨 NaCl 결정이 된다. 이제 2장의 질문으로 돌아가자. 나트륨이 산소와 반응해 Na_2O 가 될 때 나트륨은 어떻게 되었지?

태오 그때도 Na^+ 예요. 산소가 전자 2개를 받아 O^{2-} 가 되고, 나트륨 2개가 하나씩 내주고요.

석 교수 그렇다. 상대가 산소든 염소든 나트륨에게 일어나는 일은 “전자를 잃는다”로 같다. 그래서 정의를 이렇게 바꾼다.

전자 정의

산화 = 전자를 잃는 것. **환원** = 전자를 얻는 것. 산소를 얻는 반응에서 산소와 결합하는 원자는 대부분 산소에게 전자를 내주므로, 산소 정의로 산화인 반응은 전자 정의로도 산화이다. 산소가 없는 반응($2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$, $\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$)도 이제 산화·환원으로 설명할 수 있다.

하린 그런데 헛갈려요. 전자를 잃는 게 산화고, 얻는 게 환원이면, 환원이 뭔가 “더 얻는” 거니까 더 좋은 쪽인가요?

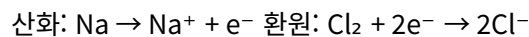
석 교수 좋고 나쁨은 없다. 다만 이름 때문에 거꾸로 외우는 학생이 많아서 기억법 하나를 알려 주마. 전자는 음전하라서, 전자를 얻으면 전하가 -쪽으로 “줄어들다(환원, reduction)”. Cl이 Cl^- 이 되면 전하가 0에서 -1로 줄지. 반대로 전자를 잃으면 전하가 +쪽으로 늘어난다. Na이 Na^+ 로 0에서 +1. 4장에서 이 “전하가 늘고 준다”는 생각이 그대로 산화수가 된다.

이모 영어 교재에서는 OIL RIG라고 외우던데요. Oxidation Is Loss, Reduction Is Gain.

석 교수 네, 같은 내용이에요. 산화는 잃음, 환원은 얻음. 잃고 얻는 대상이 전자라는 것만 붙여 두면 됩니다.

3.2 반쪽 반응식 쓰기

석 교수 이제 산화와 환원을 따로 떼어 적어 보자. $2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl}$ 을 두 쪽으로 나누면 이렇게.



석 교수 이렇게 전자를 드러내 적은 식을 **반쪽 반응식**이라고 한다. 산화 반쪽에서는 전자가 오른쪽(생성물 쪽)에, 환원 반쪽에서는 전자가 왼쪽(반응물 쪽)에 있다.

태오 반쪽 반응식도 원자 수랑 전하가 맞아야 하죠? $\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$ 에서 왼쪽 전하는 -2, 오른쪽도 -2. 맞네요.

석 교수 그 검사가 핵심이다. 반쪽 반응식은 원자 수와 전하가 모두 맞아야 한다. 1장의 마그네슘도 써 보자.

하린 Mg는 2, 8, 2니까 전자 2개를 잃어요. $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$. 산소는 2, 6이라서 2개를 얻어 O^{2-} 가 되는데, O_2 는 원자가 둘이니까 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$.

태오 저도 하나 해 볼게요. 염소 환원은 $\text{Cl}_2 + \text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$.

석 교수 검사해 보렴. 원자 수는?

태오 Cl이 2, 2로 맞아요. 전하는... 왼쪽 -1, 오른쪽 -2. 안 맞네요. 염소 원자 둘이 하나씩 받으니까 2e^- 여야 해요.

석 교수 그렇다. 원자 수만 맞추고 넘어가면 이런 실수가 생긴다. 반쪽 반응식을 쓰면 반드시 “원자 수, 그리고 전하”를 두 번 확인하는 습관을 들이자. 알루미늄은 어떨까? 원자 번호 13.

하린 2, 8, 3이니까 3개를 잃어요. $\text{Al} \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{e}^-$. 왼쪽 0, 오른쪽 $+3 - 3 = 0$. 맞아요.

석 교수 완벽하다. 자주 쓰는 반쪽 반응식을 표 8에 모았다. 위쪽 다섯 줄은 전자를 잃는 산화, 아래쪽 다섯 줄은 전자를 얻는 환원이다.

표 8. 자주 쓰는 반쪽 반응식 — 원자 수와 전하가 양쪽에서 같다

구분	반쪽 반응식	옮겨 가는 전자	메모
산화	$\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}^-$	1	알칼리 금속
산화	$\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$	2	마그네슘 연소·산화 반응
산화	$\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$	2	아연 + 구리 이온
산화	$\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$	2	손난로·녹의 첫 단계
산화	$\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$	1	녹이 붉어지는 단계
환원	$\text{Cl}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$	2	염소의 반응
환원	$\text{O}_2 + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{O}^{2-}$	4	금속의 연소(산화물)
환원	$2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$	2	금속 + 산에서 수소 발생
환원	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$	2	푸른 용액에서 구리 석출
환원	$\text{Ag}^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{Ag}$	1	은 석출(8장)

이모 철은 Fe^{2+} 도 되고 Fe^{3+} 도 되네요. 어느 쪽인지는 어떻게 알아요?

석 교수 철은 상대에 따라 둘 다 돼요. 산소가 넉넉하고 시간이 지나면 Fe^{3+} 까지 가서 붉은 녹 Fe_2O_3 가 되고, 묽은 산과 반응하면 주로 Fe^{2+} 가 됩니다. 문제에서는 생성물의 화학식을 주니까, 화학식에서 이온의 전하를 읽으면 돼요.

3.3 잃은 전자 = 얻은 전자

석 교수 반쪽 반응을 다시 하나로 합칠 때 꼭 지킬 규칙이 있다. $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$ 를 보자.

태오 Mg 하나가 2개 잃으니까 Mg 2개면 4개. O_2 는 4개 얻고요. $4 = 4$, 같아요.

석 교수 그것이 이 단원 전체의 원리다. 잃은 전자는 어디론가 가야 하고, 전자가 새로 생기거나 사라지지 않으니까 **잃은 전자 수 = 얻은 전자 수**다. 그래서 반쪽 반응식을 더할 때는 전자 수가 같아지도록 각 식에 수를 곱한다. 그림 15의 저울처럼 생각하면 된다.

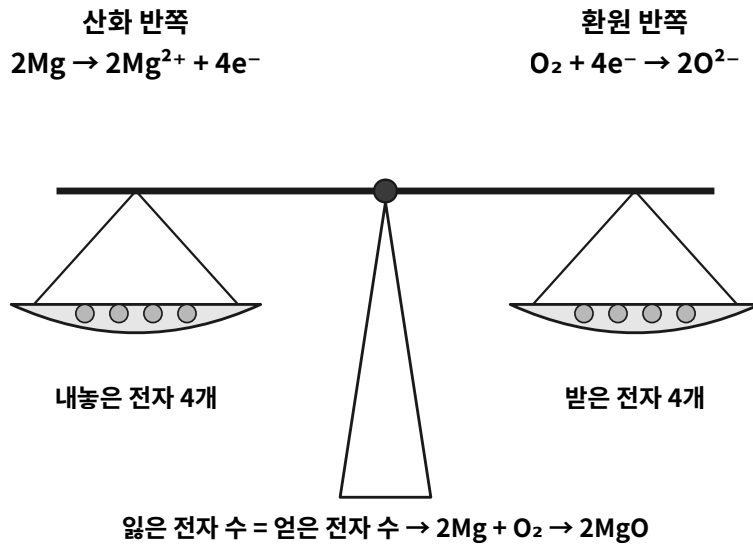
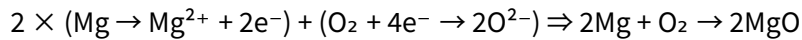


그림 15. 전자 저울 — 산화 반쪽에서 나온 전자 수와 환원 반쪽이 받는 전자 수가 같아야 반응식이 성립한다. $2\text{Mg} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{MgO}$ 에서는 양쪽 모두 4e^- 이다.

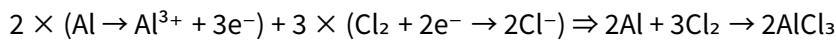


하린 더하면 4e^- 가 양쪽에 있어서 지워지는 거네요. 그래서 최종 반응식에는 전자가 안 보이고요.

석 교수 그렇다. 전체 반응식에는 전자가 보이지 않지만 그 뒤에서 전자 4개가 옮겨 간 것이다.

태오 전자 수가 서로 다르면요? 알루미늄과 염소처럼 3개 잃고 2개 얻으면요?

석 교수 최소공배수로 맞춘다. 알루미늄 반쪽에 2를 곱하면 6e^- , 염소 반쪽에 3을 곱하면 6e^- 다.



하린 계수 2와 3이 전자 수 맞추기에서 그냥 나오네요. 원자 수 맞추기로 이리저리 해 보지 않아도요.

석 교수 그게 9장과 10장에서 복잡한 반응식을 완성하는 방법의 씨앗이다. 이 숨은 전자를 세는 일이 11장의 양적 관계다. 금속을 산에 넣는 예로 해 보자.

문제 3.1

마그네슘 0.24 g을 충분한 양의 묽은 염산에 넣었다. (1) 산화와 환원의 반쪽 반응식을 쓰고, (2) 이동한 전자의 몰수와 (3) 발생한 수소 기체의 부피(0°C , 1 atm)를 구하라. (Mg 24)

태오 (1) 산화는 $\text{Mg} \rightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}^-$ 이고, 환원은... 염산이니까 Cl^- 이 받나요?

석 교수 염산 속 Cl^- 는 이미 전자를 받아 옥텟을 채운 상태다. 더 받을 자리가 없어. 거품으로 나오는 기체가 뭐였지?

태오 수소요. 그럼 H^+ 가 전자를 받는 거네요. $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$.

석 교수 맞다. 전체 반응식은 $\text{Mg} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+} + \text{H}_2$ 이고, Cl^- 는 반응 전후에 그대로 있는 구경꾼 이온이다.

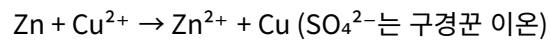
하린 (2) $\text{Mg } 0.24 \div 24 = 0.010 \text{ mol}$ 이에요. 하나에 전자 2개씩이니까 0.020 mol.

태오 (3) 수소는 전자 2개당 1개니까 $0.020 \div 2 = 0.010 \text{ mol}$, $0.010 \times 22.4 \text{ L} = 0.224 \text{ L} = 224 \text{ mL}$ 예요.

석 교수 정답은 (2) 0.020 mol, (3) 224 mL다. 전자 몰수를 가운데 두고 Mg 쪽과 H₂ 쪽을 각각 잇는 것, 이 다리 놓기가 11장에서 쓰는 방법이다.

3.4 아연과 황산 구리(II) 수용액

석 교수 이번엔 실험을 보자. 푸른 황산 구리(II) 수용액에 아연판을 넣어 두면, 아연 표면에 붉은 구리가 달라붙고 용액의 푸른색이 점점 없어진다.



하린 아연은 $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$ 로 녹아 들어가고, 구리 이온은 $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ 로 붉은 구리가 되는 거죠? 그런데 왜 푸른색이 없어져요?

석 교수 푸른색은 물 분자에 둘러싸인 Cu^{2+} 이온의 색이다. Cu^{2+} 가 구리 금속으로 빠져나가니 색이 없어지고, 대신 들어온 Zn^{2+} 이온은 색이 없다. 산소 하나 없이 전자만 오가는 반응이지.

이모 아연판의 무게는 어떻게 되나요? 녹아 나가는 것도 있고 붙는 것도 있잖아요.

석 교수 그걸 계산해 보는 게 오늘의 두 번째 문제예요. **그림 16**를 먼저 보세요. 황산 구리(II) 0.20 mol이 든 용액에 아연 6.5 g을 넣었을 때, 반응한 아연의 양에 따라 고체의 구성과 용액의 Cu^{2+} 농도가 어떻게 바뀌는지 계산한 그래프예요.

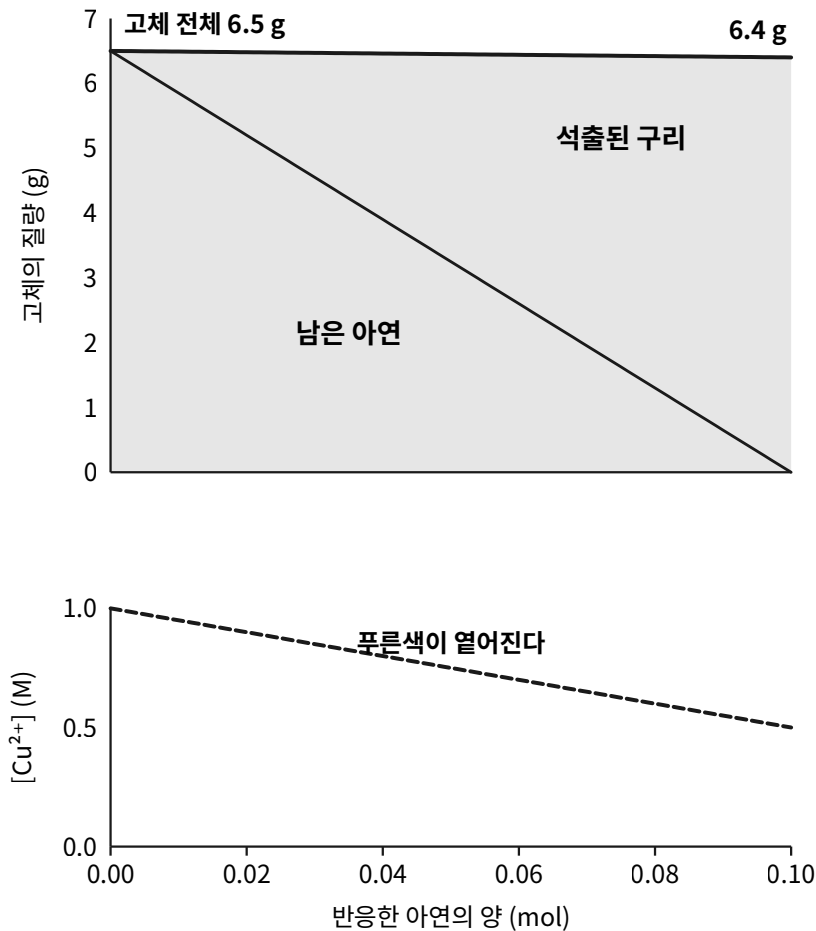


그림 16. 아연 6.5 g을 1.0 M 황산 구리(II) 수용액 200 mL(Cu^{2+} 0.20 mol)에 넣을 때 — 위: 고체 속 남은 아연과 석출된 구리의 질량, 아래: 용액의 Cu^{2+} 농도. 아연 0.10 mol이 모두 반응하면 고체는 6.5 g에서 6.4 g이 되고 [Cu^{2+}]는 1.0 M에서 0.50 M이 된다(계산값).

문제 3.2

아연 6.5 g을 충분한 양의 황산 구리(II) 수용액에 넣어 아연이 모두 반응하였다. 석출된 구리의 질량, 고체 질량의 변화, 이동한 전자의 몰수를 구하라. (Zn 65, Cu 64)

태오 $\text{Zn } 6.5 \div 65 = 0.10 \text{ mol}$ 이에요. 계수비 1 : 1이니까 Cu도 0.10 mol, 6.4 g 석출이요. 고체는 6.5 g에서 6.4 g이 되니까 0.1 g 줄어요.

하린 전자는 아연 하나에 2개니까 0.20 mol이에요.

석 교수 정답은 구리 6.4 g 석출, 고체 질량 0.1 g 감소, 전자 0.20 mol이다. 고체 질량이 거의 안 바뀌는 건 아연(65)과 구리(64)의 원자량이 비슷하고, 둘 다 전자 2개를 주고받아 1 : 1로 바뀌기 때문이다.

태오 그럼 은 이온 용액에 구리를 넣으면 질량이 크게 늘겠네요. 구리 하나가 전자 2개를 내주면 은 이온 2개가 은이 되니까요.

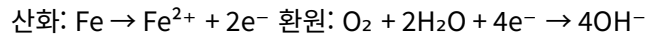
석 교수 좋은 예측이다. 구리 64 g이 녹을 때 은 216 g이 붙으니 고체가 크게 늘지. 그건 8장의 은 나무 실험에서 계산해 보자. 이렇게 고체 질량의 변화로 어떤 금속인지 거꾸로 맞히는 문제가 기출에 나온다.

이모 반대로 구리판을 황산 아연 수용액에 넣으면 아연이 붙나요?

석 교수 아무 일도 일어나지 않아요. 아연은 구리보다 전자를 잃으려는 경향이 커서, 아연이 구리 이온에게 전자를 주는 쪽으로만 반응이 진행됩니다. 어느 쪽으로 전자가 가는지는 금속마다 정해진 순서가 있고, 8장에서 그 순서를 정리할 거예요.

3.5 손난로 속 철가루

석 교수 이제 손난로를 열어 보자. 걸봉을 뜯으면 공기가 부직포 속 봉지로 스며든다. 철가루 표면에서 두 반쪽 반응이 일어난다.



하린 산소 반쪽이 아까랑 달라요. 물이 들어가 있고 O^{2-} 대신 OH^- 가 생겨요.

석 교수 물에 젖은 환경이라 그렇다. 물속에는 O^{2-} 이온이 따로 있지 못하고 곧바로 물과 반응해 OH^- 가 되거든. 전하를 확인해 보렴.

하린 왼쪽은 전자 4개라서 -4, 오른쪽은 OH^- 4개라서 -4. 맞아요. 원자도 O가 $2 + 2 = 4$, 4. H는 4, 4.

태오 전자 수를 맞추면 철 반쪽에 2를 곱해서 $2\text{Fe} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 4\text{OH}^-$, 곧 $2\text{Fe}(\text{OH})_2$ 가 되겠네요.

석 교수 그렇다. 수산화 철(II)은 다시 산소를 만나 Fe^{3+} 까지 산화되고, 결국 녹과 같은 수산화 철(III)·산화 철(III)이 된다. 1장에서 녹이 O_2 1몰당 549 kJ의 열을 낸다고 했지. 손난로는 그 열을 몇 시간에 걸쳐 내도록 만든 물건이다.

하린 철가루가 5.6 g 들어 있다면 산소는 얼마나 필요해요?

태오 내가 해 볼게. $\text{Fe } 5.6 \div 56 = 0.10 \text{ mol}$, Fe^{2+} 까지면 전자 0.20 mol이야. 산소 분자 하나가 전자 4개를 받으니까 O_2 는 $0.20 \div 4 = 0.050 \text{ mol}$, 0°C , 1 atm에서 $0.050 \times 22.4 = 1.12 \text{ L}$.

석 교수 맞다. 철이 Fe^{3+} 까지 산화되면 전자가 0.30 mol이 되어 산소도 0.075 mol, 1.68 L로 늘어난다. 같은 철이라도 어디까지 산화되느냐에 따라 필요한 산소가 달라진다. 전자 수를 먼저 세면 이 차이가 바로 보인다.

이모 소금이랑 활성탄은 왜 넣는 거예요?

석 교수 소금물은 이온이 녹아 있어서 전기가 잘 통하는 물이에요. 철에서 나온 전자가 산소가 있는 곳까지 쉽게 이동하고 이온도 쉽게 움직이게 해서 녹스는 속도를 높여 줍니다. 겨울철 염화 칼슘을 뿌린 도로 옆 자동차가 빨리 녹스는 것과 같은 이유지요. 활성탄은 구멍이 많아 공기와 물을 머금어 철 표면에 대 주고, 질석은 물을 붙잡아 두는 역할을 해요.

하린 손난로가 다 식으면 철가루는 어떻게 돼 있어요?

석 교수 열어 보면 철가루가 굳어 있고 갈색으로 변해 있다. 전자를 다 내주고 철 이온이 되어 산소·물과 결합한 거야. 처음보다 무거워졌을 거다. 1장의 마그네슘처럼 결합한 산소만큼.

전자 정의로도 부족한 경우

수소와 염소가 만나 염화 수소가 되는 $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$ 에서 생성물 HCl은 이온이 아니라 전자 쌍을 공유하는 분자이다. 수소가 전자를 “잃었다”고 말하기 어렵고, 염소가 전자를 “얻었다”고 말하기도 어렵다. 메테인이 타는 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 도 모두 공유 결합 분자이다. 이런 반응에서 누가 산화되고 누가 환원되는지 가리려면, 공유 전자쌍이 어느 원자 쪽으로 더 끌려가 있는지를 따져야 한다. 그 장부가 4장의 산화수이다.

핵심 전자로 산화·환원 읽기

1. 산화 = 전자를 잃음(전하가 +쪽으로 늘어남), 환원 = 전자를 얻음(전하가 -쪽으로 줄어듦).
2. 반쪽 반응식은 원자 수와 전하가 모두 맞아야 한다. 산화 반쪽은 e^- 가 오른쪽, 환원 반쪽은 e^- 가 왼쪽에 있다.
3. 잃은 전자 수 = 얻은 전자 수. 반쪽 반응식을 더할 때 전자 수가 같도록 곱하고, 더하면 전자는 지워진다.
4. 반응에 참여하지 않는 이온(Cl^- , SO_4^{2-})은 구경꾼 이온이다. 알짜 반응만 쓰면 전자의 이동이 잘 보인다.
5. 전자 몰수를 가운데 두고 양쪽 물질의 몰수를 잇는다($\text{Mg } 0.010 \text{ mol} \rightarrow e^- 0.020 \text{ mol} \rightarrow \text{H}_2 0.010 \text{ mol}$).

스스로 풀어 보기

1. 칼슘(원자 번호 20)이 염소와 반응해 CaCl_2 가 될 때 산화·환원 반쪽 반응식을 쓰라.
2. 알루미늄 0.27 g을 충분한 염산에 넣을 때 이동한 전자의 몰수와 발생한 수소의 부피(0 °C, 1 atm)를 구하라. (Al 27)
3. 반쪽 반응식 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + e^-$ 와 $\text{Cl}_2 + 2e^- \rightarrow 2\text{Cl}^-$ 를 합쳐 전체 이온 반응식을 쓰라.
4. 아연판을 황산 구리(II) 수용액에 넣으면 용액의 푸른색이 없어지는 이유를 이온의 변화로 설명하라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

4부의 **기출문제 6**(서울과기대 2015) (255쪽)의 [4.1.3]에서는 오늘 실험한 아연과 구리 이온의 반응을 두 반쪽 반응식으로 쓰게 한다. **기출문제 3**(경희대 2020) (227쪽)의 II-1 (3)은 구리와 금 이온의 반응에서 “잃은 전자 = 얻은 전자”로 석출된 금과 녹아 나간 구리의 양을 잇는 문제이고, **기출문제 9**(연세대 미래캠퍼스 2011) (292쪽)에서는 미생물이 유기물을 산화해 내놓은 전자가 어디로 흘러 산소를 환원하는지를 묻는다. 세 문제 모두 반쪽 반응식을 먼저 쓰면 절반은 풀린다. 답안에서는 반쪽 반응식 두 줄을 쓰고, 각 줄의 원자 수와 전하가 맞는지 확인했다는 흔적, 그리고 두 반쪽의 전자 수를 맞춘 곱셈을 함께 보여 주면 채점자가 풀이의 흐름을 바로 따라올 수 있다. 전지에서 전자가 도선을 따라 흐르는 구조는 짝 권인 화학 전지 권에서 이어 다룬다.

이 장의 참고문헌

Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson.

Thomson, J. J. (1897). Cathode rays. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 44(269), 293–316. <https://doi.org/10.1080/14786449708621070>

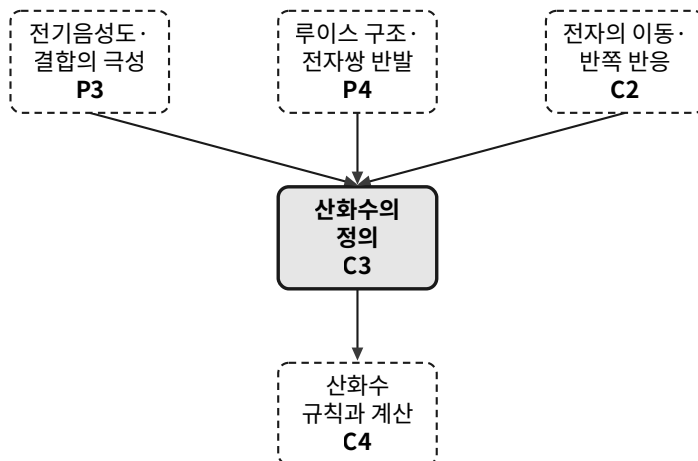
Atkins, P., Overton, T., Rourke, J., Weller, M., Armstrong, F., & Hagerman, M. (2010). Shriver and Atkins' inorganic chemistry (5th ed.). Oxford University Press.

제 4장 산화수란 무엇인가

새 개념 전기음성도와 전자 몰아주기 · 산화수의 정의 · 루이스 구조로 산화수 세기

이어짐 산화수 규칙 5장 · 판정 6장 · 루이스 구조와 기출 4부

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념
 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C3 산화수의 정의)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 9. 제 4장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 2 (연세대 2020년) (218쪽)	철의 제련과 산화수 변화	C3 산화수의 정의
기출 6 (서울과기대 2015년) (255쪽)	분자 구조·산화·환원·산화물의 산과 염기	C3 산화수의 정의
기출 7 (중앙대 2015년) (270쪽)	웃음 가스와 질소의 산화수 변화	C3 산화수의 정의

물 한 잔 속 전자 줄다리기

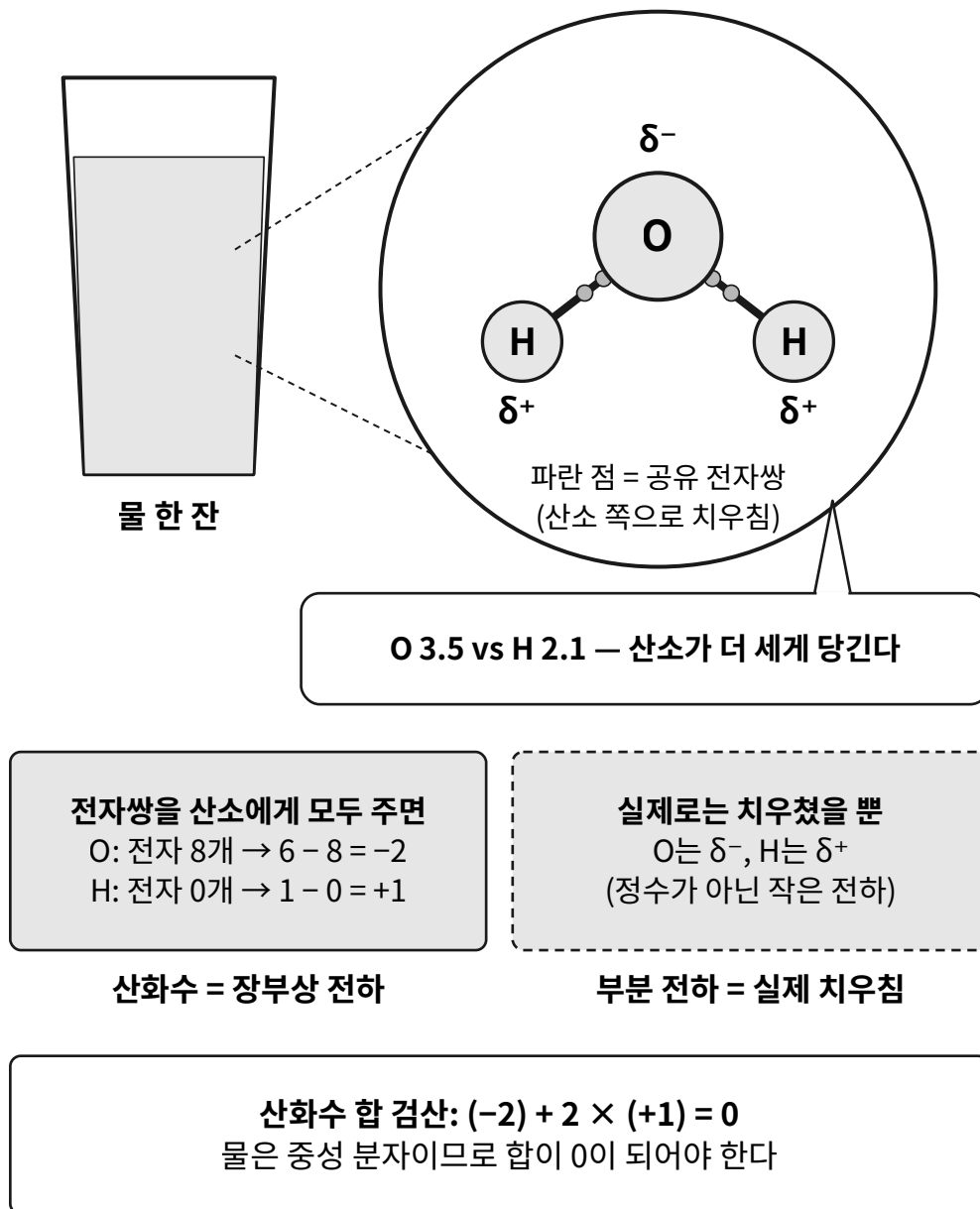


그림 18. 물 한 잔 속 물 분자 — 산소와 수소가 공유 전자쌍을 두고 줄다리기를 한다. 센 쪽(산소)에 전자쌍을 모두 몰아주고 매긴 가상의 전하가 산화수이다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 전기음성도가 큰 원자가 공유 전자쌍을 모두 가진다고 가정한다.
2. 이때의 가상 전하가 산화수다(H_2O : O -2, H +1).
3. 실제 부분 전하(δ^- , δ^+)와는 크기가 다르다.

산화·환원 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

산화·환원 = 산화수를 매기고, 잃은 전자와 얻은 전자를 같게 맞춘 뒤 몰로 센다

1부 기본개념편

14개 장 · 장마다 생활 속 개념도 한 쪽과 개념 지도

3부 논술답안작성 패턴분석

설명·비교·판별·계산·해결 5가지 답안 틀, 감점 답안과 우수 답안 비교

2부 기출문제와 기본개념

기출 11문항(2009~2022학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

4부 실전기출문제와 풀이과정

대학 원문 그대로 + 모범답안(공식 해설 기반 9문항) · 변형 문항

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

1. 왜 산화·환원인가
2. 산소를 얻고 잃는 반응: 연소와 제련
3. 전자를 잃고 얻는 반응: 반쪽 반응
4. 산화수란 무엇인가
5. 산화수를 계산하는 규칙
6. 산화수로 산화·환원을 가려내다
7. 산화제와 환원제

8. 금속의 반응성과 금속 이온
9. 반응식 완성 1: 산화수법
10. 반응식 완성 2: 반쪽 반응식
11. 이동한 전자를 세자: 양적 관계
12. 같은 원소의 두 얼굴과 높은 산화수
13. 탄소의 산화수와 에너지: 연료·음식·광합성
14. 몸속·지구·산업의 산화·환원, 그리고 2부로

한 단원씩 깊게, 25권으로 완성하는 고교 과학 논술 — 시리즈 전 25권 (테두리가 이 책)

논술 마스터 시리즈 · 생물 12권 (01~12)



논술 매니아 시리즈 · 화학 13권 (13~25)



함께 보면 좋은 권: 화학 전자·전기 분해(14권) · 화학 결합·분자 구조 · 화학양론 · 열화학 · 세포호흡·광합성



개념 → 기출 → 답안 → 실전, 한 단원을 끝까지.

대학 논술 원문과 공식 해설로 검증한 풀이, 생활 속 개념도와 개념 그래프로 읽는 고교 과학 논술 교재입니다.

값 24,000원

실린 기출 문항의 저작권은 각 대학에 있습니다.

값 24000 원

53430



ISBN 979-11-23065-17-5

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수 — 전체 338쪽

ssbook.kr/book/nonsul-18

판매가 **14,400원** (POD 정가 24,000원)

- 전 페이지 컬러 PDF · 개인 영구 소장
- 카드 결제 즉시 내 서재에서 내려받기
- 공개 배포·재판매 금지

발간 도서 목록

다음 쪽부터 과학과영성출판사가 발간한 책 전체 목록(표지·가격·특징)을 안내합니다.

총 69종 · 판매가는 POD 정가의 60% · 컬러 PDF · 개인 영구 소장

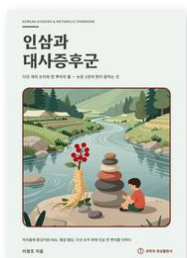
인삼 (6)



만병통치 인삼의 신경내분비시스템
하나의 인삼뿌리는 어떻게 온몸의 스위치를 건드리는가
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-neuroendo



인삼과 당뇨
공복혈당·당화혈색소·합병증을 개선하는 인삼
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-diabetes



인삼과 대사증후군
허리둘레·중성지방·HDL·혈압·혈당을 개선하는 인삼치유의 과학적 원리
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-metabolic



인삼과 아토피
금산 아토피 마을에서 어린이 임상시험 설계까지
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-atopy



인삼과 암치유
실험실에서 진료실까지, 1,300편의 논문이 말하는 것
18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/ginseng-cancer



인삼의 임상연구
최신연구와 방법론
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-clinical

오토파지 (2)



스스로를 먹는 몸
오토파지, 자가포식, 세포가 자기를 고쳐 쓰는 법
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/eating-self



오토파지와 암
세포는 스스로를 먹는다
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/autophagy-cancer

식물성 저탄고지 (11)



뇌신경 4+2축과 성격유형 그리고 식물성 저탄고지
도파민 · 세로토닌 · 노르에피네프린 · 아세틸콜린 + 글루타메이트 · 가바
20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/brain-axes



당뇨를 개선하는 식물성 저탄고지
혈당·당화혈색소·체중을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-diabetes



고혈압을 개선하는 식물성 저탄고지
혈압·체중·혈관 건강을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-hypertension



비만을 개선하는 식물성 저탄고지
체중·허리둘레·체지방을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-obesity



뇌전증을 개선하는 식물성 저탄고지
뇌전증 환자와 보호자를 위한 논문 근거 기반 식물성 저탄고지 식단
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-epilepsy



우울증을 개선하는 식물성 저탄고지
소화관과 장·뇌 축, 에너지 대사를 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-depression



자폐를 개선하는 식물성 저탄고지
일곱 갈래 기전이 한 점에서 만난다
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-autism



아토피를 개선하는 식물성 저탄고지
피부 장벽과 면역, 장 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
19,000원 → **11,400원**
ssbook.kr/book/pkd-atopy



치매를 개선하는 식물성 저탄고지
뇌 에너지 대사와 인슐린 신호, 혈관 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/pkd-dementia



암을 개선하는 식물성 저탄고지
치료 중 체중 유지와 근육 보존, 영양 상태를 함께 살피는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-cancer



관절염을 개선하는 식물성 저탄고지
염증 신호와 체중 부하, 대사 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-arthritis

단식 (1)



40일간 굶는 몸의 시간표
카힐의 40일 연구, 혈당과 케톤과 자가포식을 중심으로
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/fasting-40days

생물리학 (4)



발끝의 강

피의 흐름에서 발바닥까지, 땅과 몸 사이에서 확인된 것과 아직 모르는 것

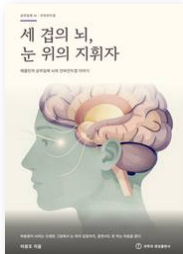
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



보이지 않는 99%, 부항 자국 아래에서 벌어지는 일

부항과 미세혈관에 대한 열다섯 번의 강의

17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/cupping99



세 겹의 뇌, 눈 위의 지휘자

매클린의 삼위일체 뇌와 안와전두엽 이야기

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/triune-brain



광유전

빛으로 세포를 제어하는 기술 — 원리·실험·회로·치료

42,000원 → **25,200원**
ssbook.kr/book/optogenetics

독립영양인간 (2)



이암블리코스의 피타고라스적 삶에 관하여

그리스어 원전 완역 · 테일러 판 전면 수록

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/iamblichus



홍산문화의 수행상에서 한국 선도까지

요하의 흙인형 · 우하량의 여신 · 해명경 · 태을금
화종지 다섯 갈래를 한자리에 놓다

26,000원 → **15,600원**
ssbook.kr/book/hongsan

중고등학교 교재 (30)



대입 과학논술 01 — 유전 암호·전사·번역

대학 기출로 완성하는 분자생물학의 중심원리

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-01



대입 과학논술 03 — 멘델 유전·감수분열·가계도

분리·독립 × 감수 분열 × 확률의 곱 — 기출 22문항으로 읽는 유전

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-03



대입 과학논술 05 — 재조합 DNA·생명공학

제한 효소의 인식·절단 × 조각 길이로 위치 추론 × 재조합·판별 실험 설계

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-05



대입 과학논술 07 — 세포막·소기관·물질수송

인지질의 벽과 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐른다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-07



대입 과학논술 08 — 호르몬·항상성·배설

감지하고, 신호를 보내고, 되돌린다 — 혈당에서 콩팥까지 항상성

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-08



대입 과학논술 09 — 면역·백신

몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-09



대입 과학논술 10 — 세포호흡·광합성·에너지 대사

포도당 한 분자의 ATP 장부 — 미토콘드리아와 엽록체

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-10



대입 과학논술 11 — 신경계·활동 전위
펌프가 기울기를 만들고, 통로가 열리고 닫히며 신호가 생긴다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-11



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물 다양성

에너지는 흐르고 물질은 돈다 — 개체군에서 종 분화까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-12



대입 과학논술 13 — 원자 구조·주기성

전자 배치 × 유효 핵전하 × 이온화 에너지로 읽는 주기성

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-13



대입 과학논술 14 — 화학 결합·분자 구조·극성

원자가 전자 세기 × 전자쌍 반발 × 쌍극자 벡터 합

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-14



대입 과학논술 15 — 분자 간 힘·수소 결합·계면

극성 × 분자 간 힘의 서열 × 계면 에너지로 읽는 물질

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-15



대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자

유기 화학·생체 분자·고분자 논제 해설

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



대입 과학논술 17 — 화학양론·농도

몰 × 반응식 계수비 × 농도 환산으로 푸는 화학 계산

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-17



대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수

산화·환원과 산화수 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-18



대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충

평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정으로 푸는 산·염기

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-19



대입 과학논술 20 — 반응 속도

넘어야 할 언덕 — 반감기에서 촉매, 반응 메커니즘까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-20



대입 과학논술 21 — 화학 평형

평형 상수 K × 반응 지수 Q × 르샤틀리에로 읽는 화학 평형

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



대입 과학논술 22 — 열화학·엔탈피·자유 에너지

열화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

25,000원 → **15,000원**
ssbook.kr/book/nonsul-22



대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형

용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-23



대입 과학논술 24 — 기체

기체 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-24



대입 과학논술 25 — 화학 전자·전기 분해

화학 전자·전기 분해 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-25



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별

원자에서 원소의 기원·주기율표까지

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-01



02 통합과학 화학 2 — 꽃은 왜 녹슬까

결합에서 반응·산과 염기까지

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-02



03 통합과학 생명과학 1 — 배추는 왜 숨이 죽을까

분자에서 세포·효소·에너지까지

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자

유전 정보에서 진화·생태계까지

18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 따뜻해질까

원자에서 힘과 에너지까지

22,000원 → **13,200원**
ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나뭇잎

원자에서 전자기파까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/tonghap-06



07 통합과학 지구과학 1 — 구름은 왜 떨어지지 않을까

대기·기압·복사 에너지로 읽는 날씨

21,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/tonghap-07



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다

원자에서 암석·판·지구의 역사까지

20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식

이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영양학과 분자생물학으로 다시 읽다

21,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비

사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의 언어로 다시 읽다

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/constitution-neuro

역사 속의 채식인

채식의 역사를 사람들의 이야기로 읽다

교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-history

채식이야기

채식에 관한 이야기

교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-story

우리 몸은 채식을 원한다

몸이 채식을 원하는 이유

교보문고 판매

ssbook.kr/book/body-wants-veg

라이프스타일 (3)



아주 쉬운 회춘의 원리

노화의 12가지 특징과 식이를 통한 회춘

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다

콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식

18,400원 → **11,000원**

ssbook.kr/book/skin-inside

과학과 초월의 길목에서

과학과 영성이 만나는 자리

교보문고 판매

ssbook.kr/book/science-transcend

고대사 (5)



동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/climate-ea-1



고려 서경(西京)의 위치를 추정하다 1권 방법편

여덟 가지 방법으로 동아시아 고전 지명을 좌표로 옮기기

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/seogyong-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제1권 기초편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제1~7장)

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/geonames-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제8~16장)

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/geonames-2



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제3권 적용편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (적용 사례)

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/geonames-3