



염분함량이 음식물쓰레기의 호기성 퇴비화에 미치는 영향

김남찬, 김도희

광운대학교 환경공학과

(2000년 4월 26일 접수, 2000년 5월 22일 채택)

Effect of Salinity Concentration on Aerobic Composting of Food Waste

Nam-Chan Kim, Do-Hee Kim

Dept. of Environmental Engineering, Kwangwoon University

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the degradation rate and process efficiency of the composting according to the salinity concentration. The samples of food waste for this study were collected in Pocheon-Gun, Kyungki-Do. The collected samples were adjusted to the optimum range of moisture content, pH and C/N ratio. After that, adding the saline, the samples with 3 different salinity concentrations(1%, 5% and 10%) were made. Then each sample was fed into the reactor with temperature controller. During the aerobic composting process, the change of the physical and chemical properties of the sample as temperature, pH, C/N ratio and CO₂ and O₂ concentration in the reactor were measured.

From the experiment of this study, the result are following. The highest temperatures are 59°C at RUN 1(1% salinity conc.), 49°C at RUN 2(5% salinity conc.) and 45°C at RUN 3(10% salinity conc.). The change of CO₂ production and O₂ consumption have the positive correlation with the change of the temperature. CO₂ production and O₂ consumption are peaked at the low salinity concentration. During composting, Run 1, RUN 2 and RUN 3 are increased pH to 8.9, 8.6 and 7.2 and slowly decreased C/N ratio to 18.9, 19.1 and 22.1 and moisture content to 51.1%, 53.7% and 55.0%, respectively. It is supposed that increasing salinity concentration causes the retarding of the microbial degradation activities during the composting. And for the efficient composting, the salinity concentration in the sample has to be maintained below 5%.

Key words : Salinity Concentration, Aerobic Composting, Food Waste, Temperature, C/N Ratio

초 록

본 논문은 퇴비화의 분해속도와 처리효율이 염분농도에 따라 어떻게 변화하는가를 조사하기 위해 이루어졌다. 실험에 사용된 음식물쓰레기의 시료는 경기도 포천군에서 채취하였으며 이 시료의 수분함량, pH 및 C/N비를 적

정범위로 조정하였다. 엽분함량이 1%, 5% 및 10%인 3종류의 시료를 조제하여 온도조절과 공기공급량이 조절가능한 반응조에 넣고 호기성 퇴비화가 진행되는 동안 반응조내의 온도, pH, C/N비 및 이산화탄소와 산소 농도 등을 측정하였다.

최고온도는 반응조 1(엽분함량 1%)에서 59℃, 반응조 2(엽분함량 5%)에서 49℃ 및 반응조 3(엽분함량 10%)에서 45℃로 나타났다. 이산화탄소 발생량은 온도상승과 상관관계를 보였으며 낮은 엽분함량에서 피크값을 나타냈다. 퇴비화가 진행되는 동안 반응조 1, 반응조 2 및 반응조 3의 pH는 8.9, 8.6 및 7.2로 상승하였으며 C/N비는 18.9, 19.1 및 22.1로 천천히 감소하였다. 반응조 1, 반응조 2 및 반응조 3의 최종함수율은 51.1%, 53.7% 및 55.0%로 나타났다. 퇴비화기간 동안의 엽분농도의 증가는 미생물의 분해활동을 지연시키는 원인이 되는 것으로 생각된다. 한편, 효율적인 퇴비화를 위해 시료중의 엽분함량은 5% 미만으로 유지되어야 한다.

핵심용어 : 엽분함량, 호기성 퇴비화, 음식물쓰레기, 온도, C/N비

1. 서론

최근의 경제적인 풍요로움과 안정은 국민들에게 환경에 대한 중요성을 일깨우고 있으며 특히 폐기물처리와 재활용에 대한 관심을 고조시키고 있다. 1995년부터 실시된 쓰레기종량제는 생활폐기물 배출량과 음식물쓰레기의 비율을 감소시키는데 일익을 담당하고 있다. 1998년의 음식물쓰레기 발생량은 11,798톤/일로서 생활폐기물 발생량의 26.5%를 차지하였으며, 이를 1인당 발생량으로 환산하면 1일 0.41kg으로 일본의 0.37kg, 영국의 0.26kg에 비교해 아직도 많은 양을 배출하기 때문에 이에 대한 적절한 대책마련이 필요하다.¹⁾ 음식물쓰레기는 함수율이 높고 부패하기 쉬우며 낮은 발열량으로 소각처리가 어렵고, 매립 또한 부지를 많이 필요로 할 뿐만 아니라 토양오염과 지하수오염과 같은 2차 오염문제를 야기한다.

이러한 문제점의 대안으로 최근 음식물쓰레기의 퇴비화에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 2차세계대전후 네덜란드에서는 도시쓰레기의 퇴비화가 처음으로 도입되었으며 이 무렵 Windrow, Dano, Naturalizer, VTM process 등이 잇달아 개발되었다²⁾. 1960년대 중반부터는 생산된 퇴비의 이용기피로 인해 퇴비화 시설이 재정적인 어려움을 겪었으며, 이후 환경문제에 대한 관심이 점차 고조되어 왔음에도 불구하고 이러한 현상은 계속되어 오다 최근들어 자원의 재활용이라는 관점에서 전세계적으로 퇴비화처리가 다시 중요한 연구테마로 자리잡고 있다. 최근의 연구는 유기물을 미생물 활동에 의해 최종적으로 안정화시키고 효율적으로 분해하는 방향으로 이루어지

고 있다. 우리나라도 1980년대 후반부터 기계식 퇴비화 장치를 개발하기 시작하여 현재는 agitated bed system과 소규모 발효조 등을 이용하는데까지 이르고 있다.

한편, 음식물쓰레기의 퇴비화에서 가장 문제가 되는 것은 음식물쓰레기만이 가지고 있는 특성이다. 퇴비화 과정에서 음식물쓰레기 자체내에 함유되어 있는 엽분과 다량의 수분은 미생물 활성도에 악영향을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 3가지 엽분농도에 대하여 음식물쓰레기의 분해율과 퇴비화 진행과정을 비교·분석하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 시료의 성상

본 실험에서는 경기도 포천군 일대의 음식물쓰레기로부터 채취한 시료를 주원료로 하였다. 채취한 시료는 퇴비화성과 비퇴비화성으로 선별하였는데 퇴비화성 물질은 생선, 고기찌꺼기, 채소, 과일, 곡물 등으로 분류하였으며 비퇴비화성은 조개껍질 및 뼈 등으로 따로 분류하였다. 수분과 C/N비를 조절하기 위한 첨가재료는 톱밥을 이용하였다. 또한, 엽분함량에 따른 퇴비화의 정도를 비교하기 위해 정제된 NaCl을 인위적으로 투입하였다. 원시료와 혼합시료의 물리화학적 조성은 [Table 1]과 같다.

2.2 실험장치

본 실험에 사용된 퇴비화 실험장치를 [Fig 1]에 나타내었다. 이 반응조는 두께 10mm의 투명 아크릴로

[Table 1] Physical and Chemical Property of Sample

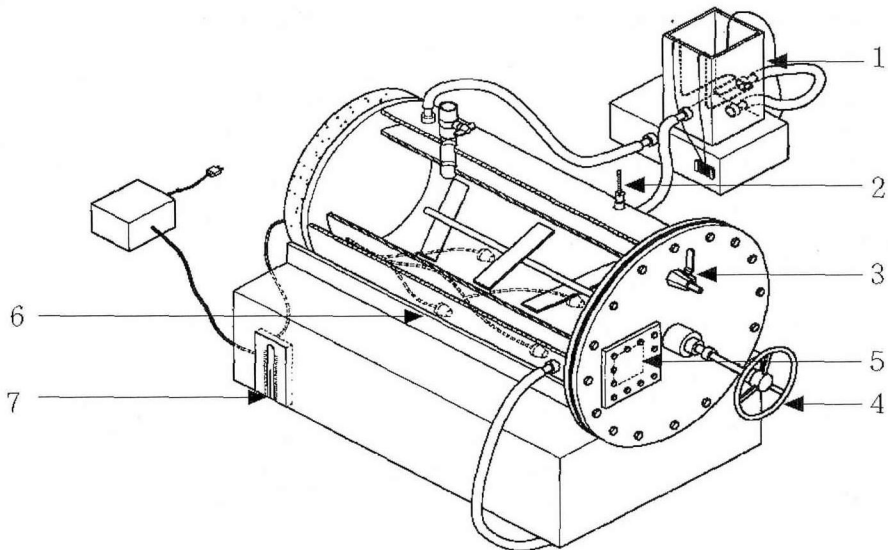
Item	Salinity Conc.(%)	Water Content(%)	pH	C/N Ratio
Food Waste	1.5	86.0	4.9	6.7
Saw Dust	0	9.4	4.8	450
Reactor 1	1	58.5	5.8	29.0
Reactor 2	5	59.8	4.8	28.3
Reactor 3	10	61.2	4.7	31.9

된 원통형으로 이중구조로 되어 있다. 시료를 넣는 내부반응조는 지름 260mm, 길이 400mm로 하였으며, 내부반응조의 열손실을 최소화하기 위해 지름 360mm, 길이 430mm의 외부반응조도 설치하였다. 내부반응조의 최대부피는 21ℓ, 유효부피는 18ℓ로 제작하였으며, 외부온도 변화가 퇴비화 반응에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 내부반응조와 외부반응조 사이에 물순환 장치를 만들어 반응조내의 온도를 40±1℃로 유지시켰다.

또한, 반응조 하단부에 설치된 공기발생기를 통하여 일정한 공기량을 연속으로 주입하였다³⁾. 반응조 상부에는 온도계를 그리고 덮개에는 가스측정용 콕크와 시료채취구를 설치하였으며, 덮개와 본체의 접속부위는 공기가 새지 않도록 고무링을 삽입하였다.

2.3 분석 방법

시료의 함수율, pH 및 C/N비를 미리 조절한 다음 3개의 반응조에 각각 10.2kg의 시료를 넣었다. 분석 시료의 채취 후 반응조를 하루에 1회전시켜 최대한 호기성을 유지하며 시료가 균일하게 섞이도록 하였다. 유입공기와 유출공기의 CO₂농도와 O₂농도는 6시간 간격으로 Geotechnical Instruments Model GA 94 가스분석기를 사용하여 측정하였으며, 온도도 6시간마다 측정하였다. 초기 분해단계 이후에 온도상승 없이 항온조의 온도와 동일한 온도가 지속되었을 때 실험을 종료하였다. 반응조내의 시료는 매일 채취하여 pH, 함수율 및 염분함량을 측정하였다. pH는 Orion Model 720A pH meter로, 함수율은 Ohaus Model MB-200 수분함량계로, 염분함량은 TM-300 염도계로 측정하였다.



1. water circulator 2. thermometer 3. gas-cock 4. agitator 5. sampling port 6. bubbler 7. flow-meter

[Fig. 1] Aerobic composting apparatus

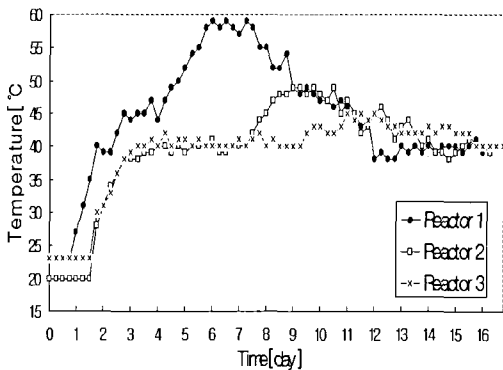
3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도

퇴비화과정에서 온도의 상승과 하강은 미생물에 의한 유기물의 분해정도를 나타낸다. [Fig 2]에 염분함량에 따른 온도변화를 나타내었다. 반응조 1은 실험시작 2일 후부터 온도가 올라가기 시작하여 6일 후에 최고온도 59℃를 나타내었으며 8일 후부터 점차 온도가 떨어지기 시작하여 12일 경과 후 40±1℃ 내외의 일정온도를 유지하였다. 이것은 음식물쓰레기 중의 유기물이 거의 분해되었음을 의미한다⁴⁾. 반응조 2의 경우 7일 후부터 온도의 상승이 이루어져 9일 후에 최고온도 49℃를 약 36시간 동안 유지하였으며, 반응조 1에 비해 온도강하가 완만하게 이루어지는 것을 알 수 있었다. 반응조 3에서는 9일 후부터 온도상승이 일어났으나 최고온도는 45℃로 낮았으며, 약 24시간 동안 유지된 후 아주 완만하게 하강하여 15일 이후에 항온조의 온도와 같아졌다. 이상의 결과로부터 반응조 2와 반응조 3에서는 높은 염분으로 인하여 고온성 미생물보다 중온성 미생물의 대사활동이 활발히 이루어짐을 알 수 있었다. 특히 반응조 3은 온도변화가 크지 않으며 병원균을 사멸하기에 적합하지 못할 것으로 생각된다.

3.2 이산화탄소 발생량과 산소소모량

호기성 퇴비화 공정에서 이산화탄소는 미생물이 유기물을 분해함으로써 생성되는 대사산물로서 그 발생량은 퇴비화의 지표로 널리 이용되고 있다. 반응조 2에 대한 이산화탄소 발생량과 산소소모량의 변화를

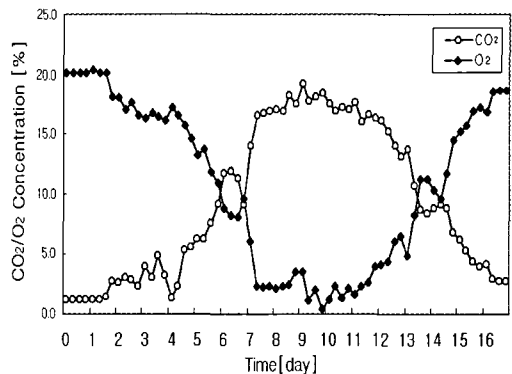


[Fig. 2] Variation of temperature with salinity

[Fig 3]에 나타내었다. 반응조내 온도가 상승함에 따라 이산화탄소 발생량은 빠르게 증가하였으며 조내 최고온도에서 이산화탄소 발생량은 최대값을 나타내었다. 이후 이산화탄소 발생량은 계속 감소하였는데 이것은 유기물이 거의 소모되어 이용가능한 기질이 부족해졌기 때문으로 판단된다⁴⁾. 반응조 3의 경우에는 미생물 분해가 더디어 이산화탄소 발생이 늦게 시작되었으나 반응조 1, 반응조 2와 유사한 경향을 나타내었다. 한편, 산소소모량의 경우에는 이산화탄소 발생량과 반대의 경향을 나타내었다.

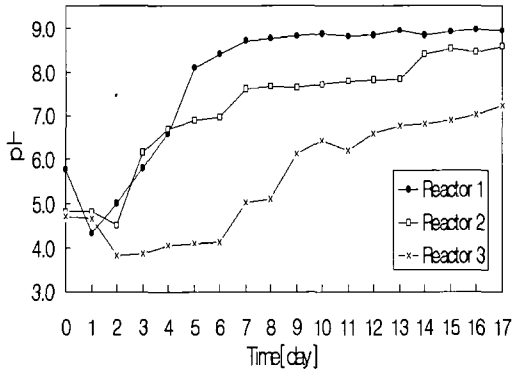
3.3 pH

[Fig 4]에 염분함량에 따른 pH 변화를 나타내었다. 반응조 1에서는 실험초기에 pH가 5.8이었으나 1일째부터 pH가 4.3정도로 약간 감소하였다가 2일째부터는 다시 상승하여 pH 8.9 내외로 안정화되는 경향을 보였다. 이것은 퇴비화 초기단계에서 중온성 미생물의 분해활동으로 복잡한 탄소화합물이 유기산과 같은 중간생성물로 분해되는 과정에서 pH가 다소 감소하였다가 이후 단백질이 가수분해되고 아미노산으로부터 암모니아가 방출되면서 pH가 다시 상승되었기 때문으로 생각된다. 이러한 pH의 변화는 호기성 퇴비화의 전형적인 특징이다⁵⁾. 반응조 2에서는 실험초기의 pH가 4.8이었으며 2일째 4.5로 감소하였다가 다시 상승하여 최종 pH가 8.5 근방에서 안정화되었다. 반응조 3의 경우 초기 pH 4.7에서 2일째 3.8까지 떨어졌으나 이후 서서히 증가하여 최종 pH가 7.2 부근에서 안정화되었다. 반응조 3에서는 pH의 상승이 매우 낮았는데 이것은 온도의 상승폭이 좁아 미생물 활



[Fig. 3] Variation of CO₂ production and O₂ consumption (Reactor 2)

동이 저해받았기 때문으로 생각된다⁶⁾.



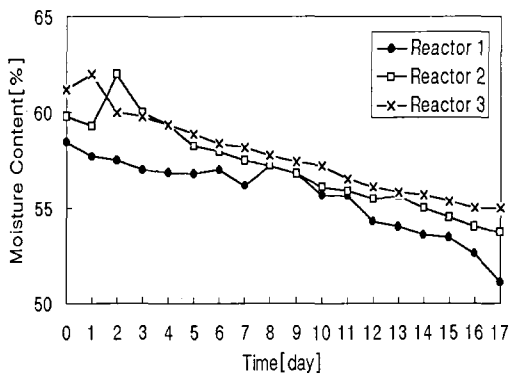
[Fig. 4] Variation of pH with salinity

3.4 함수율

염분함량에 따른 함수율의 변화를 (Fig 5)에 나타내었다. 반응조 1에서는 초기에 적정 함수율 58.5%를 유지하였으나 반응이 지속되면서 약간씩 감소하여 최종 함수율은 51.1%로 나타났다. 반응조 2도 초기에 적정 함수율 59.8%를 유지하였으나 2일째에 62.0으로 증가하였다가 53.7까지 감소하는 경향을 보였다. 반응조 3도 반응조 2와 비슷한 경향을 보였다. 이것은 미생물 활동에 의한 유기물 분해가 일어나면서 수분이 일시적으로 발생하였으나, 반응이 지속되면서 온도가 상승하고 그에 따라 수분이 증발되었기 때문으로 생각된다.

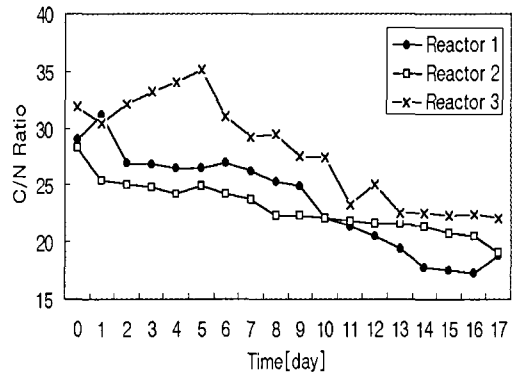
3.5 C/N 비

염분함량에 따른 C/N비 변화량을 (Fig 6)에 나타내



[Fig. 5] Variation of moisture content with salinity

었다. C/N비는 퇴비숙성도의 판단기준으로 널리 이용되어 왔으며 숙성퇴비의 C/N비는 20이하로 알려져 있다.⁷⁾ 반응조 1의 C/N비는 1일 후에 약간 상승하였다가 2일째부터 완만한 변화를 보였으나 10일째부터 급속히 감소하여 최종 C/N비가 18.9를 나타내었다. 일반적으로 C/N비의 증가는 반응중에 질소손실이 유기물 분해율보다 클 때 나타나며 C/N비 감소는 퇴비화 물질이 안정된 물질로 전환되었음을 의미한다.⁸⁾ 반응조 2의 C/N비는 초기값 28.3에서부터 완만하게 감소하여 최종 C/N비가 19.0을 나타내었다. 반응조 3의 초기 C/N비는 31.9였으나 1일째에 약간 감소한 후 2일째부터 증가하였다가 6일째부터 다시 감소하여 최종적으로 22.0을 나타내었다. 이것은 미생물 활동이 지체되고 온도의 상승이 느려져 퇴비화 반응이 지연된 것으로 판단된다⁶⁾.

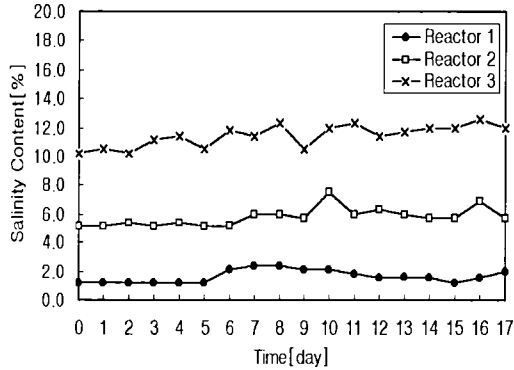


[Fig. 6] Variation of C/N ratio with salinity

3.6 염분함량

퇴비화가 진행되는 동안 염분함량의 변화를 (Fig 7)에 나타내었다. 각 반응조의 염분농도 변화는 초기 염분농도가 높을수록 컸으나 염분농축율은 감소하였다. 반응조 1의 경우 6일째부터 증가하여 7일째에 최고값을 나타낸 후 서서히 감소하다가 17일째에 피크값을 나타내는 경향을 보였다. 반응조 2에서는 초기에 염분염도가 거의 일정하다가 7일째부터 증가하여 10일째에 최고값을 나타낸 후 다시 감소하였다가 16일째에 다시 피크값을 보이고 있다. 반응조 3에서도 몇 번의 피크값을 보이면서 전반적으로 그 값이 커지는 것을 알 수 있다. 그 원인은 유기물 분해속도가 초기에는 늦고 갈수록 빨라지는 반면에 음식물쓰레기에 함

유된 염분은 유기물의 분해와 수분증발에도 불구하고 공정중에 그대로 남아 농축되는 것에 기인한다.



[Fig. 7] Variation of salinity content

4. 결론

본 연구에서는 음식물쓰레기를 호기성 퇴비화시켰을 때 음식물쓰레기 내의 염분함량이 퇴비화에 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 반응조 1, 반응조 2 및 반응조 3의 최고온도점은 각각 59℃, 49℃ 및 45℃로 나타났으며 염분함량이 낮은 반응조 1에서 오랫동안 고온이(59℃) 지속되었다.
2. 이산화탄소 발생량은 온도상승으로 인한 유기물의 분해가 빠른 구간에서 최고농도를 나타내었다. 즉, 이산화탄소 발생량은 온도상승과 상관관계가 있으며 분해속도와도 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.
3. 퇴비화 반응이 진행되는 동안 pH는 상승하여 반응조 1, 반응조 2 및 반응조 3에서 최종적으로 8.9, 8.6 및 7.2의 값에 도달하였다.
4. 반응조 1, 반응조 2 및 반응조 3의 최종 함수율은 51.1%, 53.7% 및 55.0%로 나타났다.
5. 반응조 1, 반응조 2 및 반응조 3의 C/N비는 일정하게 감소하는 경향을 보였으며 최종 C/N비는 18.9, 19.1 및 22.1로 나타났다.
6. 각 반응조의 염분농도 변화는 초기 염분농도가 높을수록 크며, 그 값은 몇 번의 피크값을 나타내면서 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 2000년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 환경부. 환경백서, pp542-544(2000).
2. George Tchobanoglous, Hilary Theisen and Samuel Vigil, Integrated Solid Waste Management, McGraw-Hill, pp302-317(1993).
3. 김병태, 김정욱, "효율적 퇴비화를 위한 온도 제어 공기공급방식의 적용에 관한 연구", 유기성폐기물자원화, 2(1), pp3-18(1994).
4. MacGregor S. T., Miller F. C., Psarianos K. M. and Finstein M. S., "Composting Process Based on Interaction Between Microbial Heat Output and Temperature", Applied and Environmental Microbiology, 41(6), pp1321-1330(1981).
5. M. De Bertoldi, M.P. Ferranti, P. L'Hermite, F. Zucconi, Compost : Production, Quality, and Use, Elsevier Applied Science, pp30-50(1987).
6. 金子 榮廣, 裴 英眞, 藤田 賢二, "堆肥化過程における微生物數と細菌の増殖活性", "日本廢棄物學會論文誌", 4(2), pp35~41(1993).
7. 정준교, 음식쓰레기 퇴비의 숙성도 평가, 건국대 석사학위논문, p4(1995)
8. Luis F. Diaz, George M. Savage, Linda L. Eggerth and Clarence Golueke, Composting and Recycling Municipal Solid Waste, CRC Press · Lewis Publishers(1993). ☐