

신축 공동주택에서 베이크 아웃 시 환기 조건에 따른 마감재에서의 방출량 저감 효과

박 동 선*, 손 장 열*

(주)우원M&E 부설연구소, *한양대학교 건축공학부

The Effect of Ventilation on VOCs Emission rate during the Bake-out Procedure in Newly Constructed Apartments

Dong-Sun Park[†], Jang-Yeul Sohn^{*}

ABSTRACT: Various kinds of contaminant are generated from many kinds of interior construction materials, furniture and life articles. People of today living indoor most of the time are exposed to these kinds of contaminant. In this connection, people are exerting their efforts to reduce the occurrence of contaminant from the interior finish materials. And it is the actual condition that research is being actively made on the method of reducing contaminant by performing bake-out for newly constructed housings. Bake-out is the method of temporarily increasing the generation of the harmful contaminant quantity including VOCs and Formaldehyde emitting from construction materials or finish materials by increasing the interior temperature of the newly constructed buildings or improved or repaired buildings, and then removing it by mobilizing ventilation system. In this study, the researcher measured the effect of reduced concentration according to ventilation or non-ventilation of the newly constructed but not yet resident public housings during the bake-out in order to grasp the effect of reduced interior air contaminant according to the elapse of time at the time of bake-out.

Key words: indoor air quality(실내공기질), Bake-Out(베이크 아웃), ventilation(환기)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 신축 건물이나 리모델링한 건물 내에서 생활하고 있는 거주자 중 감수성이 높은 유아나 노인들에게 있어서, 휘발성유기화합물

(VOCs) 및 포름알데히드(Formaldehyde) 등 오염 물질은 눈, 코, 목의 점막을 자극하거나 현기증, 구토, 두통을 유발시키며, 심한 경우 피부염 및 천식 등을 발생시키는 원인이 되고 있다.

국내에서도 새집증후군, 화학물질과민증 등의 실내공기환경의 오염으로 인하여 발생하는 신종 질병이 각종 매스컴에 보도되고 있다. 이러한 실내공기질에 대한 관심이 증가하여 이와 관련된 많은 단체와 기관들이 생겨나고 대학과 연구소에서 많은 연구가 행해지고 있고 실내 마감재로부터

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-860-9726

E-mail address: pds@300302.com

터의 오염물질 발생을 감소시키기 위한 노력을 하고 있다. 또한 신축 공동주택에 대하여 실내의 화학물질 농도를 저감시키기 위하여 화학물질 저방출 자재 사용, 환기시스템의 적용 등의 방법이 연구되고 있다.

따라서 상기의 방법과 더불어 베이크 아웃의 시행, 광촉매 시공 등의 활발한 연구가 진행되고 있는 실정이다.

이 중 베이크 아웃의 시행은 건축물의 신축이나 개보수 작업이 끝난 건물에 적용된 난방시스템을 활용하여 실내 바닥을 가열하여 건축자재나 마감재료에서 방출되는 VOCs와 Formaldehyde를 비롯한 유해오염물질의 방출량을 일시적으로 증가시킨 후에 환기하여 이를 제거하는 효과를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 입주 전인 신축공동주택을 대상으로 베이크 아웃 시행 중 환기 유무에 따른 실내 공기오염물질 농도변화와 방출량을 비교분석하였다.

1.2 국내외 관련 연구현황

1980년대의 SBS증후군 이후, 실내공기질 개선을 위한 기초자료, 실험결과 그리고 개선방안 제시 등 다양한 주제의 논문들이 발표되었다. 그리고 북미와 유럽, 일본에서는 실내공기오염에 따른 건강피해를 본격적으로 조사하기 시작하였고, 거주자의 건강을 고려하여 실내 공기 중의 각종 오염물질에 대한 가이드라인을 제시하였다.

국내에서는 2004년 5월(환경부) ‘다중이용시설등의 실내공기질관리법’을 제정하여 신축공동주택의 경우에는 입주 전에 실내공기질을 측정 및 공고토록 의무화하였다.

2005년 12월에는 공동주택의 실내공기질 권고기준을 제시하였다. 이러한 실내공기질 관리 기본계획(안)은 실내공기질의 관리현황 및 전망, 정책의 기본방향, 부문별대책 등 실내공기질 관련 정책을 포괄하는 종합계획으로 5개년(2004~2008)간의 중·장기 종합계획이다.

국외에서는 베이크 아웃에 의한 실내공기질 개선효과를 파악하기 위하여 소형 베이크 아웃 챔버를 제작하여 실험을 한 결과, 베이크 아웃 시간이 길수록 효과가 증대되며 최소한 24시간 이상 실

시해야 유효함을 확인하였고 베이크 아웃 시행중 TVOCs의 방출량은 초기에 높았고 건축자재가 혼재되어 있는 경우에는 베이크 아웃 이후에 TVOCs와 Formaldehyde의 재흡착과 탈착에 의해 일시적인 증대가가능성이 있음을 나타냈다.⁽¹⁾

2. 실험 및 측정개요

2.1 실험개요

실험은 2006년 6월 21일부터 2006년 7월 7일 까지 서울 한남동에 위치한 크기가 같은 신축 공동주택의 두 세대의 거실에서 진행하였다. 시료의 채취는 공동주택단위세대의 거실 중앙부에서 실시하며, 벽으로부터 최소 1m이상 떨어진 위치의 바닥면으로부터 1.2~1.5m 높이를 측정 점으로 하였고 측정 시간은 오후 2시에서 5시 사이에 이루어 졌다. 측정은 총 5회로 1차 측정이 끝난 후 두 세대의 난방온도를 35℃로 설정하여 4일간 베이크 아웃이 실시되었다. Fig. 1은 측정세대의 평면도와 측정지점을 나타낸다. 환기세대 208호는 베이크 아웃 시행중 4일 동안 환기⁽¹⁾를 실시하였고, 밀폐세대 508호는 실내를 밀폐하였다. 베이크 아웃 시행 후에는 밀폐로 유지하면서 4회에 걸쳐 ‘실내공기질 공정시험방법’으로 실내오염물질 농도를 측정하였다.



Fig. 1 Floor plan and measurement points

1) 일반적인 시스템 창호에서 미닫이 식으로 연 것이 아니라 창호 위 부분을 실내 쪽으로 당겨 경사지게 해준 상태

공동주택에서의 실내공기질환경의 측정을 위해서는 공동주택 단위세대의 외부에 면한 모든 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)와 실내출입문, 수납가구의 문 등을 개방하고, 이 상태로 30분 이상 환기를 실시한 후 실내외 공기의 이동을 방지하기 위해 외부공기와 면하는 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)를 5시간 이상 모두 닫아 밀폐시켰다. 이때, 실내간의 이동을 방지하기 위해 문과 수납가구 등의 문은 개방하였다. 그리고 실내에 기계환기 시스템(화장실)은 가동을 중단하였다.

2.2 측정 및 분석방법

실내 휘발성 유기 화합물 (VOCs) 중에서 BTEX(Benzene, Toluene, Etylbenzene, Xylene)와 Formaldehyde의 농도를 측정하였다. 측정방법 Fig. 3과 같이 '실내공기질 공정시험방법'(2004년 6월 고시된 공정시험방법 준용)에 제시된 신축 공동주택의 측정방법을 준용하여 채취한 시료를 분석하였다. 휘발성유기화합물은 고체흡착관을 이용하여 시료를 채취하였다. 흡착관 뒤에 유량계를 장착시키고 저용량펌프를 작동시킨 후, 유량을 50~200mL/min으로 안정되게 조정하여 채취하였다.

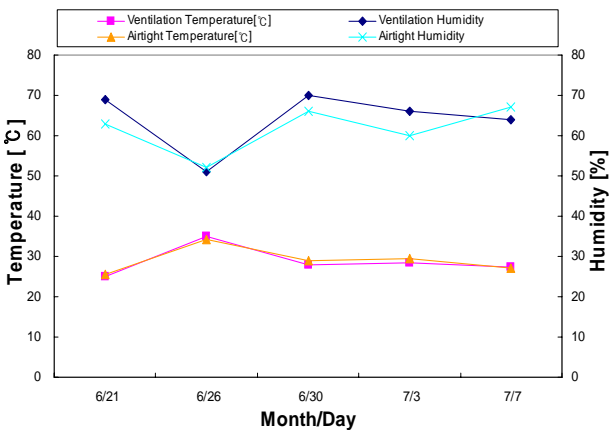


Fig. 2 Changes in temperature and humidity

① 30분 이상 환기 : 공동주택 단위세대의 외부에 면한 모든 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)와 실내출입문, 수납가구의 문 등을 개방하고 이 상태를 30분 이상 지속하여 측정대상 실내공기의

수준을 외부 공기와 같이 유지.

② 5시간 밀폐 : 외부공기와 면하는 개구부(창호, 출입문, 환기구 등)를 5시간 이상 모두 닫아 실내외 공기의 이동을 방지. 단, 실내간의 이동을 위한 문과 수납가구 등의 문은 개방.

③ 1시간 측정 : 시료의 채취는 원칙적으로 30분간 실시하는 것을 기본으로 함.

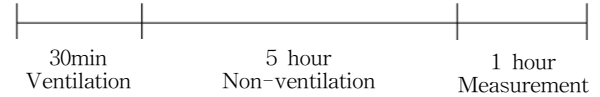


Fig. 3 Measurement Method

총 시료 채취량의 확인은 유량계를 이용하고 유량의 안정성을 파악하기 위해 시료채취 전후의 유량을 비교하여 10% 이내임을 확인하였고 현장에서 채취한 후 흡착관의 마개를 닫아 밀봉하고 분석시까지 4°C 냉장 보관하였다. 농도분석은 GC-FID 방법을 이용하였다. 농도계산은 각 표준시료의 검량 식에서 면적 값에 대한 물질의 농도 (A_s)와 배경시료에 대한 물질의 농도(A_t)를 구하고 다음 식(1)에 의해 각 화합물의 농도를 구한다.

$$C_A = (A_s - A_t) \div Q \quad (1)$$

- C_A : 공기시료 중 각 휘발성 유기화합물의 농도 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- A_s : 시료중의 각 휘발성유기화합물의 중량 [μg]
- A_t : 배경시료의 각 휘발성유기화합물의 중량 [μg]
- Q : 총흡인시료량 [m^3]
(채취 종류 후 적산유량 [m^3]-채취 직전 후 적산유량 [m^3])

Formaldehyde는 측정대상 실내공기의 일정량을 채취하여, 2,4-디니트로페닐히드라진 (2,4-DNPH; 2,4-Dinitrophenylhydrazine) 으로 유도체화 시킨 후, 이 2,4-DNPH 유도체를 고성능액체크로마토그래프 (HPLC)에 주입하여 자외선흡광검출기의 흡수과장 360nm에서 검출되는 크로마토그램의 높이 또는 면적 등으로 Formaldehyde 농도를 구한다. 시료 채취 장치로는 DNPH (2,4-Dinitrophenylhydrazine) 카트리지와 오존 스크리버를 사용하여 채취장치를 연결하고 유속을 50~200mL/min으로 채취하였다. 분석결과로부터 얻은 크로마토그램의 면적 값을 검량 선에 대입하여 실내공기중 Formaldehyde의

농도를 식(2)로 산출한다.

$$C_A = (A_s - A_b) \times V \div Q \quad (2)$$

- C_A : 실내공기시료 중 폼알데하이드의 농도 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
- A_s : 실내공기시료 분석결과값 [$\mu\text{g}/\text{mL}$]
- A_b : DNPH 카트리지의 바탕시험값 [$\mu\text{g}/\text{mL}$]
- V : 아세토니트릴 추출부피 [mL]
- Q : 총흡인시료량 [m^3]
(채취 종류 후 적산유량 [m^3]-채취 직전 후 적산유량 [m^3])

Table 1 Measuring equipments

Indoor Comfort	Measuring equipments
Temperature · Humidity	Thermo Recorder
TVOC(BTEX)	Charcoal tube ,GC-FID
Formaldehyde	DNPH Cartridge ,HPLC

3. 측정결과 분석 및 고찰

3.1 세대별 측정결과

Table 2 Ventilation room [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Date	June			July	
	21	26	30	3	7
Benzene	57.46	12.32	14.19	20.75	18.36
Toluene	133.13	55.85	57.65	38.01	24.56
Ethylbenzene	26.61	22.72	19.04	16.56	9.89
Xylene	36.60	26.35	14.83	8.27	3.34
Stylene	12.72	6.19	5.32	4.40	3.50
Formaldehyde	115.00	94.16	52.08	40.00	16.25

Table 3 Airtight room [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Date	June			July	
	21	26	30	3	7
Benzene	52.95	25.70	28.38	23.35	26.35
Toluene	115.14	89.21	61.35	63.90	66.69
Ethylbenzene	34.49	40.40	34.14	37.77	36.63
Xylene	36.84	36.43	40.58	33.03	38.93
Stylene	16.82	7.54	6.05	6.11	6.34
Formaldehyde	102.50	109.16	59.16	65.00	90.83

3.2 세대별 측정결과 비교

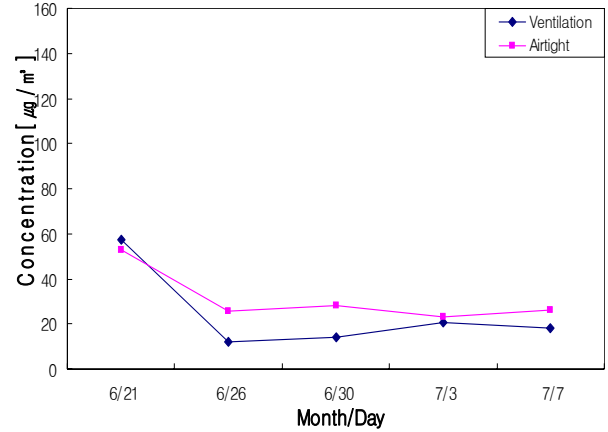


Fig. 4 Concentration changes in benzene

Fig. 4는 환기세대와 밀폐세대의 Benzene의 농도 변화를 나타낸다. 두 실 모두 시간이 지날수록 농도가 저감된 것을 알 수 있었으며, 모두 베이크 아웃 이후에 농도 저감율이 크게 나타났다. 또한 환기세대의 경우에 최종 농도 저감율이 더 우수하였다.

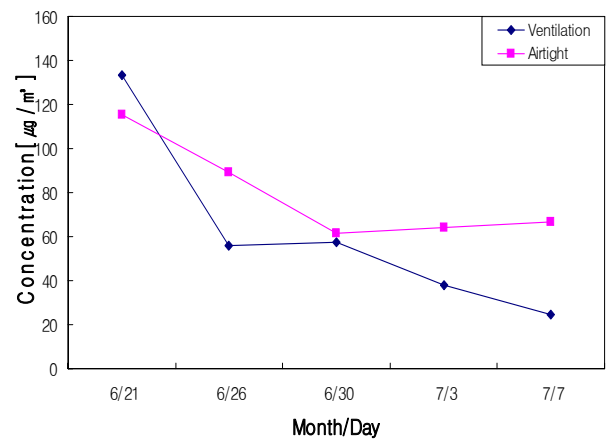


Fig. 5 Concentration changes in toluene

Fig. 5는 환기세대와 밀폐세대의 Toluene의 농도 변화를 나타낸다. 두 실 모두 시간이 지날수록 농도가 저감된 것을 알 수 있었다. 두 세대 모두 베이크 아웃 이후에 농도저감효과가 크게 나타났다. 환기세대의 경우에 베이크 아웃 이후에 농도 저감율이 크게 나타났으며, 최종 농도 저감율이 더 우수하였다.

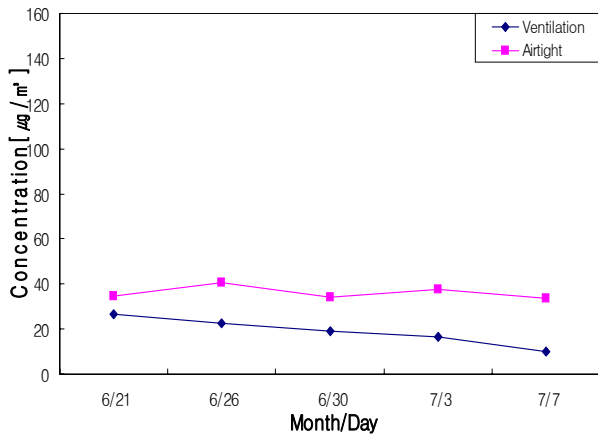


Fig. 6 Concentration changes in ethyl-benzene

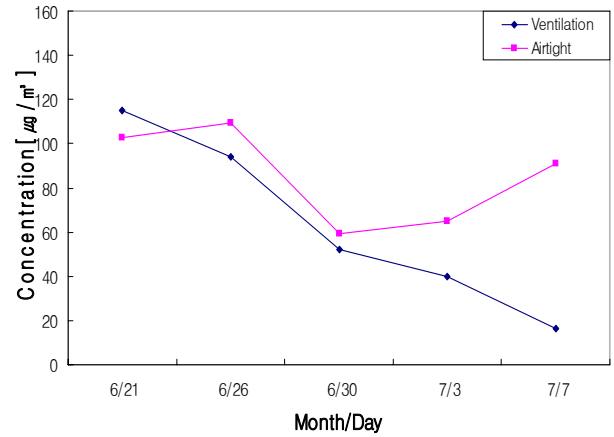


Fig. 9 Concentration changes in formaldehyde

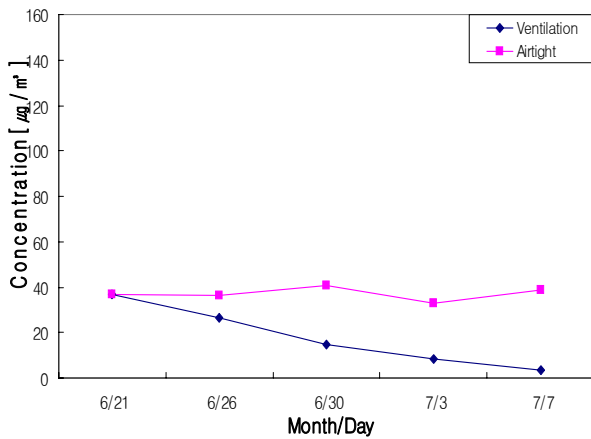


Fig. 7 Concentration changes in xylene

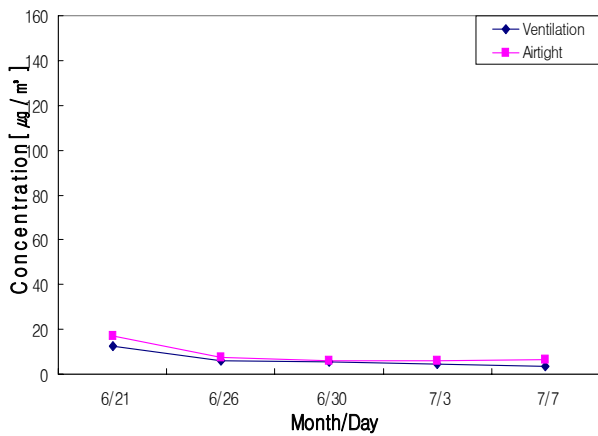


Fig. 8 Concentration changes in styrene

Fig. 6은 환기세대와 밀폐세대의 Ethylbenzene의 농도변화를 나타낸다. 환기세대의 경우 베이크아웃 실시 후 농도저감효과가 우수하였으나 밀폐세대의 경우에는 Ethylbenzene의 농도저감효과가 거의 나타나지 않았다. Fig. 7은 환기세대와 밀폐세대의 Xylene의 농도변화를 나타낸다. 환기세대의 경우 농도 저감율이 우수하게 나타났으나 밀폐세대의 경우에는 농도가 증가와 감소를 반복하였다. Xylene의 경우 베이크아웃 후에 환기를 실시하면 오염물질 저감에 유리할 것으로 사료된다. Fig. 8은 환기세대와 밀폐세대의 Styrene의 농도변화를 나타낸다. 두세대 베이크아웃을 실시하면 다소 저감되는 것을 알 수 있었다. Fig. 9는 환기세대와 밀폐세대의 Formaldehyde의 농도변화를 나타낸다. 두 세대 모두 베이크아웃 실시 후 농도저감효과를 나타내었다. 특히 부분환기의 경우 약100µg/m³의 Formaldehyde의 농도가 저감하였다.

3.3 환기조건에 따른 베이크아웃 후 방출량 변화

방출량(M) 계산은 정상상태에서 흡착을 무시하고 각 오염물질 농도(C)와 기존 공동주택의 환기량(Q)데이터 약0.24회(한국건설기술연구원,2004)를 다음 (3)에 대입하여 구한다.

$$M = C \times Q \quad (3)$$

M : 실내오염물질 방출량[$\mu\text{g}/\text{h}$]

C : 실내오염물질 농도[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Q : 환기량[m^3/h]

Table 4은 환기조건에 따른 오염물질 방출량으로 앞서 식(3)으로 구하였다. 마지막 측정일인 베이크 아웃 종료 후 12일 경과의 값을 나타낸다. 베이크 아웃 후 환기세대가 밀폐세대 보다 오염물질 방출량이 낮게 나타났는데 이는 베이크 아웃 중 환기세대가 밀폐세대 보다 마감재에서 오염원의 방출이 많았던 것으로 판단된다.

Table 4 VOCs Emission rate [$\mu\text{g}/\text{h}$]

Date Contaminant	VOCs Emission rate			
	Non-ventilation		Ventilation	
	Before bake-out	After 12-day	Before bake-out	After 12-day
Benzene	12.6	6.2	13.6	4.4
Toluene	27.3	15.8	31.6	5.8
Ethylbenzene	8.2	8.7	6.3	2.3
Xylene	8.7	9.2	8.7	0.8
Styrene	4.0	1.5	3.0	0.8
Formaldehyde	24.3	21.5	27.3	3.9

4. 결론

신축한 공동주택을 대상으로 베이크 아웃 시행중, 환기 유무에 따른 실내오염물질 농도저감효과를 알아보았다. 베이크 아웃과 환기 유무에 따른 VOCs와 Formaldehyde의 농도를 종합한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

(1) 베이크 아웃 시행 시, 실내 밀폐세대 보다 실내 환기세대에서 VOCs와 Formaldehyde 농도의 저감 효과가 우수하게 나타났으며, 특히 베이크 아웃 직후인 5일 측정에서 농도 저감이 크게 나타났다.

(2) 휘발성 유기화합물의 개별 물질 중에서, Toluene과 Formaldehyde는 베이크 아웃 전 농도

가 높게 나타났으나, 베이크 아웃 이후 농도저감 효과가 우수하였다. Toluene과 Formaldehyde를 제외한 다른 오염물질의 경우에는 베이크 아웃 전의 농도가 낮았으며, 베이크 아웃 후 농도저감 효과가 나타났다.

(3) 베이크 아웃 후에 밀폐세대의 오염물질 방출량은 환기세대 보다 높게 나타났다. 이는 베이크 아웃 중 자재내부 오염원의 방출이 환기세대가 밀폐세대 보다 많았던 것으로 판단된다. 그러므로 베이크 아웃 시행 시, 실내 오염 물질 농도를 낮게 하기 위하여 실내 환기 하는 것이 유리하다. 따라서 신축공동주택에서 베이크 아웃 시행 시 부분적인 환기를 통하여 VOCs와 Formaldehyde의 농도를 줄여 이에 따른 실내공기질 개선효과가 충분히 있을 것으로 판단된다.

본 연구에 이어 보다 정확한 베이크 아웃 시행의 효과를 평가하기 위해서는 다양한 측정데이터가 요구되며, 화학물질의 흡착, 탈착 현상을 파악할 수 있는 데이터가 필요하다. 추후 건물의 다양한 측정 데이터를 바탕으로 베이크 아웃에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Noda K., et al., A study on reduction effect of chemical substance emission rates from building material by using bake-out, J. Archit. Plan. Environ. Eng., AIJ, No 552, 56-62, 2002. 2.
2. Kang, D. H., 2005, VOCs Emission Affected by Bake-out in Floor Heated Space, MS thesis, Seoul University, Seoul, Korea.
3. ASTM D 5087 : Standard Test Method for Determining Amount of Volatile Organic Compound(VOC) Released from Solventborne Automotive Coatings and Available for Removal in a VOC Control Device(Abatment), American Society for Testing and Materials, 2001.