

## 피난 시나리오에 따른 승강장 부속실 차압 특성 연구 Pressure Differentials in the Elevator Lobby Depending on the Evacuation Scenarios

박 용 환

Yong-Hwan Park

호서대학교 소방방재학과  
(2007. 11. 14. 접수/2007. 12. 14. 채택)

### 요 약

최근 우리나라 고층아파트에서 많은 문제가 되고 있는 승강장 부속실의 급기가압 시스템에 있어서 거주자의 피난 시나리오에 따른 차압의 변화 및 연기유동 특성을 FDS 화재모델링을 이용하여 현상학적으로 살펴보았다. 자동차압조절밸브의 기준압을 화재실로 할 경우 현관문 누설틈새를 통한 공기의 화재실 유입으로 화재실 및 부속실 모두 절대압이 크게 상승하는 결과를 가져왔으며 피난으로 계단실 방화문이 개방 후에는 다시 닫히지 않아 부속실내의 차압형성이 안 되는 문제점이 예상되었다. 따라서 화재실압이 지속적으로 상승하지 않도록 거실에 별도의 개구부가 필요한 것으로 판단된다. 현관문 개방 후 다시 닫힐 시에는 순간적으로 200 Pa 정도의 높은 과압이 형성되어 이 시간 동안에는 화재실 안의 또 다른 거주자가 현관문을 개방하기는 어려울 것으로 예상되었으며, 현관문만 개방 시에는 적정방연풍속이 유지되었으나, 현관문과 계단실 방화문이 동시에 개방되어 있을 경우에는 적정방연풍속이 생성되지 않아 부속실 및 계단실로의 연기유입이 발생하는 것으로 예측되었다.

### ABSTRACT

The aim of this paper is to investigate the change of pressure differential and smoke propagation characteristics in the elevator lobby with the resident's evacuation scenarios using fire modelling technique. The results showed absolute pressures in the fire room and elevator lobby can significantly increase to cause fire door to the stairway unclosed once it is open. This is due to constant pressure differentials, the increasing reference pressure of fire lobby and pressure leak from elevator lobby to fire lobby. Smoke exhaust mechanism was needed to prevent the continuous pressure rise in the living room. Over 200 Pa was expected upon closing the door during pressurization, which provide difficulties in opening the door for next refugee. Opening both fire door and entrance door may induce smoke flow from fire room to elevator lobby and stairway.

**Keywords :** Smoke flow, Pressure differential, Fire door, Elevator lobby, Stairway

### 1. 서 론

경제발전과 건축기술의 발달로 주상복합 등 각종 건물이 점차 초고층화 되어가고 있는 추세이다. 특히 주거용 건물의 고층화에 따른 피난 대책의 일환으로 현재의 국내 화재안전기준인 NFSC 501A에서는 특별 피난계단의 계단실 및/또는 승강장 부속실 급기가압 제연시스템을 적용하도록 하고 있다.<sup>1)</sup>

현재 우리나라의 많은 고층건물에서는 건물 특성상 계단실 급기가압보다는 승강장 부속실 급기가압 시스템을 적용하고 있으나 아직 이에 대한 실험적 또는 현상학적 연구는 부족한 실정이다. 급기가압 제연의 핵심은 피난공간으로의 연기유입을 방지하기 위한 차압과 방연풍속의 유지인데 NFSC 501A에 따르면, 옥내와의 최소차압은 40 Pa 이상(스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5 이상), 방연풍속은 0.7 m/s 이상, 출입문의 개방력은 110 N 이하를 요구하고 있다.<sup>1)</sup>

이에 따라 대부분의 급기가압에 사용되는 자동과압

<sup>†</sup>E-mail: yhpark@hoseo.edu

차압조절댐퍼는 화재 시 차압을 50±10 Pa로 동작하도록 제작, 시공되고 있다. 하지만 거주자가 피난을 위해 현관문이나 계단실 방화문을 열거나, 평상시 환기나 채광을 위해 방화문을 열어 둘 시 이러한 적정 차압은 더 이상 유지될 수 없으며, 이에 따른 연기 거동 특성 또한 잘 알려져 있지 않아 실제 화재 시 어떤 문제점이 발생할 지에 대해서는 제대로 파악된 바가 없다.<sup>2,6)</sup>

이와 같은 고층 건물에서의 제연 특성은 실험 화재 실험을 통한 현상 규명에는 한계가 있으므로 본 연구에서는 화재 모델링 기법을 이용하여 거주자의 피난 시나리오에 따른 차압 변화 등 급기가압제연 특성을 현상학적으로 다양하게 접근하고자 하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 급기 풍속

NFSC 501 제8조 5항 기준에 의거하여 예상 제연구역에 유입되는 순간의 수직덕트의 풍속은 다음과 같이 산출된다. 이때 댐퍼의 급기풍속은 5 m/s 이하로 한다.

$$\text{수직덕트 풍속} = (\text{댐퍼면적/풍도면적}) \times \text{댐퍼풍속} \quad (1)$$

### 2.2 틈새면적

NFSC 501A에 의하면 출입문에서의 틈새면적 산출식은 다음과 같다.

$$A = (L/l) \times A_d \quad (2)$$

단, A : 출입문의 틈새면적(m<sup>2</sup>)

L : 출입문 틈새의 길이(m)

l : 표준출입문의 틈새길이(m)

A<sub>d</sub> : 표준출입문의 누설면적(m<sup>2</sup>)

### 2.3 수직풍도의 면적

수직풍도의 면적은 자연배출식의 경우 풍도길이 100 m 이하의 경우 다음 식으로 산출된다.

$$A_p = 0.5Q_N \quad (3)$$

단, A<sub>p</sub> : 수직풍도의 내부단면적(m<sup>2</sup>)

Q<sub>N</sub> : 수직풍도가 담당하는 1개 층의 제연구역의 출입문(옥내와 면하는 출입문을 말함) 1개의 면적과 방연풍속을 곱한 값(m<sup>3</sup>/s)

## 3. 모델링

본 연구를 위한 화재모델링 프로그램으로는 미국

NIST에서 개발되어 전 세계적으로 활용되고 있는 FDS v4.07과 Smokeview 4.0을 사용하였으며, 이의 활용에 대한 제반 사항은 해당 매뉴얼을 따르도록 하였다.<sup>7)</sup>

### 3.1 공간 구성 및 치수

본 모델링의 대상 공간으로는 우리나라 고층아파트의 대표적인 표준 공간 중의 하나라고 할 수 있는 침실, 거실, 주방, 다용도실, 현관, 욕실, 배란다, 승강장 및 계단실 등으로 구성되어 있는 중형 아파트 구조로 하였다. 화재의 발생 위치, 가연물의 종류 및 양, 거실 구조나 출입문의 개폐여부 등에 따라 화재 성장 특성이나 거주자의 피난 특성도 크게 달라지는데 본 연구에서는 급기가압제연에 따른 연기유동 특성을 고찰하는 것이 주목적이므로 내부 출입문이 모두 닫혀 있을 때의 거실 화재로 단순화하였다.

계산 시간을 단축하기 위하여 모델링 공간은 Figure 1에서 보는 바와 같이 침실이나 욕실 공간 등은 제외하고 다만 제외된 공간의 틈새면적만 고려하였다. 공간의 높이는 2.3 m, 바닥 두께는 0.2 m, 구획벽의 두께는 0.1 m로 가정하였으며, 거실의 크기는 4.5 m×11.8 m, 현관의 크기는 1.0 m×6.4 m, 승강기(EV)실의 크기는 4.5 m×4.6 m, EV 부속실의 크기는 4.5 m×1.8 m, 계단실의 크기는 4.5 m×3.2 m를 적용하였다. 격자의 크기는 공간 크기를 고려하여 0.1 m×0.1 m 크기로 하였으며, 이 때 총 격자의 수는 256,750개로 산출되었다.

### 3.2 경계조건

#### 3.2.1 배기구

일반적으로 제연이 원활하게 이루어지기 위해서는 급기와 함께 배기가 이루어질 수 있는 배기구가 필요하다. 그러나 화재안전기준에 의하면 아파트의 경우 공간적 제약 특성으로 인하여 거실 공간에 별도의 배기구를 설치하지 않아도 되기 때문에 배기구는 없는 것으로 하였다.

#### 3.2.2 누설틈새

거실 내부의 문이 모두 닫혀 있는 경우 각 출입문에서의 누설틈새는 식 (2)에 근거하여 Table 1과 같이 산출되었다. 그러나 모델링의 격자 크기에는 한계가 있으므로 이를 고려하여 반영누설틈새면적을 산출하였다. 이러한 차이는 전체 틈새 크기에 비해 미소하므로 압력변화나 연기거동 현상 규명에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 가정하였다. 누설틈새는 틈새면적에 해당하는 개구부 격자를 출입문 가장자리에 균등 배치하여 반영하는 것으로 하였다.

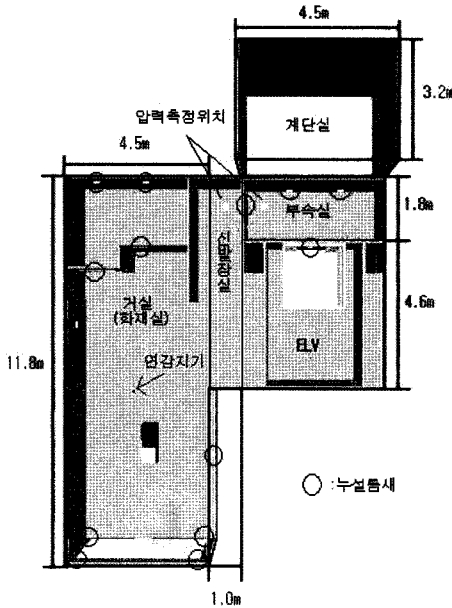


Figure 1. Dimensions and structure of the modeling space.

Table 1. Leak Gaps of the Doors

	거실 방문	현관문	계단실 방화문	승강기문
문의 종류	외여닫이문	외여닫이문	쌍여닫이문	쌍여닫이문
크기(m)	0.8 × 2.0	0.8 × 2.0	2.0 × 1.9	1.0 × 1.9
갯수	6	1	1	1
산출누설틈새 면적(m <sup>2</sup> )	0.12	0.02	0.032	0.06
반영누설틈새 면적(m <sup>2</sup> )	0.12	0.02	0.03	0.06

3.2.3 급기가압 댐퍼의 면적

급기가압 댐퍼의 개구부 크기는 제연구역의 바닥면적의 크기와 격자 크기의 한계성을 고려하여 약 0.2 m<sup>2</sup>를 적용하였다. 이때 수직풍도 단면적 크기는 식 (3)에 의거하여 0.54 m<sup>2</sup>로 산출되었으며, 댐퍼 풍속은 기준압에 따라 약 2.0~2.5 m/s, 풍도풍속은 0.55~0.6 m/s 범위 내에서 각각 조정하였으며, 40~60 Pa의 차압유지를 위해 댐퍼 날개의 개폐 정도에 따른 개구부 면적을 산출하여 이를 본 모델링에 반영토록 하였다.

3.2.4 재질의 물성치

벽체는 콘크리트 재질로 하였고, 따로 내장재는 없는 것으로 하였다. 반응물은 폴리우레탄을 사용하였으

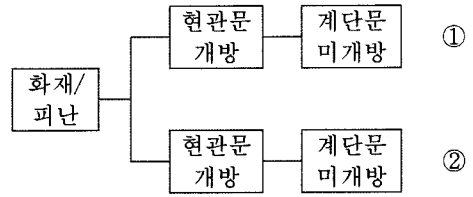


Figure 2. Evacuation scenario on fire.

며, 화염과 연기는 화원을 통해 지속적으로 방출하도록 설정하였다. 콘크리트 및 폴리우레탄 재질에 대한 물성은 FDS 내의 데이터베이스에 있는 값을 적용하였다.

3.3 화재 및 피난시나리오

화재는 급기가압 제연설비가 갖추어져 있는 층에서 거실화재가 발생한 것으로 하였으며, 화원의 위치는 거실(화재실)의 중앙부에서, 화원 크기는 0.5 m × 0.5 m로 가정하였다. 화재성장특성은 극한 상황을 고려하여 2 화재성장곡선의 ultra-fast 화재로 가정하였으며 최대열방생률을 1 MW로 설정하고 이후 일정시간동안 지속되는 것으로 가정하였다.

급기가압 방식은 많은 고층아파트에서 채택하고 있는 부속실 급기가압 방식으로 하였고 댐퍼 작동 시기는 거실 중앙 상부의 연감지기가 작동 하는 시점에 작동하는 것으로 하였다. 차압은 통상 차압공이 설치되는 현관문 중앙 높이 지점에서 각각 측정하는 것으로 하였다. 화재 시 피난 시나리오는 거주자의 피난 상황에 따른 현관문과 부속실 계단문의 개방 여부에 따라 Figure 2와 같이 1) 현관문만 개방 2) 현관문과 계단문 동시 개방의 두 가지로 설정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 급기가압 시의 화재실 및 부속실 압력

Figure 3과 Figure 4는 1 MW 화재 시 자동차압조절 급기댐퍼를 가동하지 않았을 경우와 가동했을 경우에 화재실 및 부속실의 게이지압을 각각 나타낸 것으로 화재실의 압력은 화재가 지속됨에 따라 지속적으로 상승하고 있으며, 이에 따른 급기댐퍼의 자동 차압조절 기능에 의해 부속실 압력도 상승하는 모습을 나타내고 있다.

Figure 3은 거실화재는 발생하였지만 부속실 급기가압을 하지 않는 경우이고 Figure 4는 부속실 급기가압을 하는 경우로서 급기가압의 경우가 미 가압의 경우보다 압력이 훨씬 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데 급기가압의 경우 차압에 의해 현관문의 누설 틈새로의

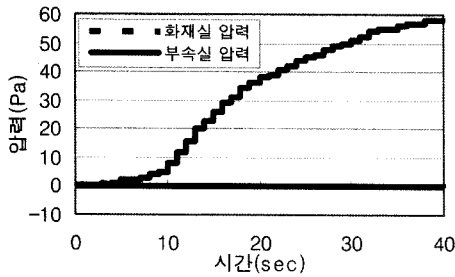


Figure 3. Pressure change with damper unoperated (1 MW fire load).

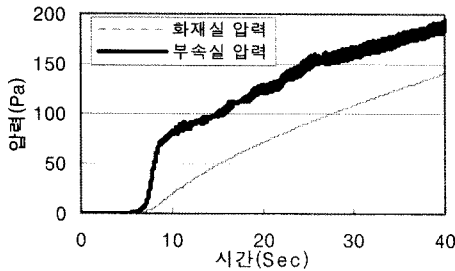


Figure 4. Pressure change with damper operated (1 MW fire load).

공기 유입으로 인하여 화재실의 압력이 더욱 많이 상승하기 때문으로 분석되었다. 그러나 Figure 4에서와 같이 부속실과 화재실의 차압은 화재실압을 기준으로 함에 따라 화재실 압력 상승에도 불구하고 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다.

#### 4.2 현관문 개방 및 계단문 미개방 시의 차압 변화

Figure 5는 화재 발생으로 부속실 급기압이 이루어지고 이때 거주자가 피난을 위하여 화재 발생 약 12 초 후 현관문을 개방하고 피난 후 다시 현관문을 닫았을 경우의 차압 변화를 모델링을 통하여 나타낸 그래프이다. 화재 초기 댄퍼 작동과 동시에 적정차압 범위 내에서 자동차압 조절이 잘 이루어지다가, 현관문을 개방할 경우 차압은 순식간에 0 Pa 이하로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이는 현관문 개방으로 부속실과 화재실 간의 압력이 평형을 이루는 과정으로 분석된다. 이때 개방된 현관문에서의 평균방연풍속은 모델링 계산 결과 Figure 6에서 보는 바와 같이 기준방연풍속 0.7 m/s 이상으로 유지되는 것으로 나타났다. 이후 현관문이 다시 닫히게 되면 차압이 약 200 Pa대까지 급속도로 증가한 후 다시 자동차압조절 기능에 의하여 적정 차압 범위내로 도달하게 되는데, 부속실 차압이 적정차압 이상으로 과도하게 올라가 있는 경우에는 화재실 안의 또 다른 거주자가 현관문을 개방하는데 어려움이

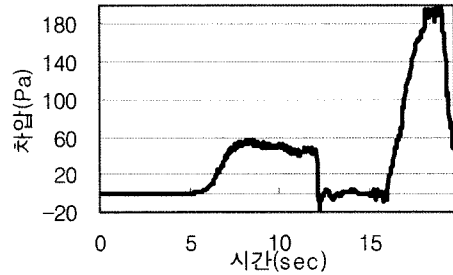


Figure 5. Pressure differentials with entrance door open/closed.

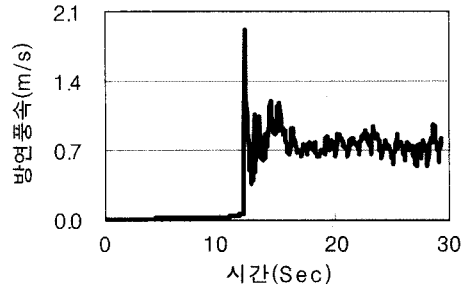


Figure 6. Air velocity to prevent smoke backflow with entrance door open.

있을 것으로 예상된다. 급격한 압력증가의 원인은 적정 방연풍속을 유지하기 위해 충분한 송풍량으로 급기 되는 도중에 현관문이 닫힘으로 인해 순간적으로 과압이 발생하는 것으로 분석되었다.

#### 4.3 현관문과 계단문 동시 개방 시의 차압 변화

화재발생으로 피난을 위하여 현관문이 개방된 후 즉시 계단실 방화문이 열리거나, 평소 환기나 채광 등의 목적에서 계단실 방화문이 상시 열려 있는 상태에서 화재발생으로 현관문이 열리는 상황이 발생할 수 있으며, Figure 7과 Figure 8은 각각 현관문만 개방 시와 현관문과 계단실 방화문 동시 개방 시의 부속실 차압 변화를 나타낸 그래프이다.

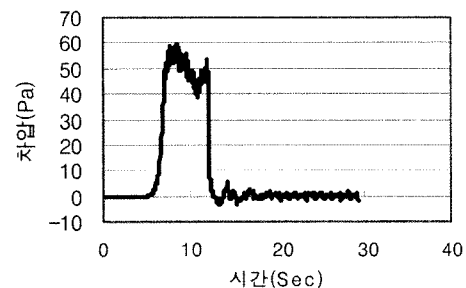


Figure 7. Pressure differentials with entrance door open.

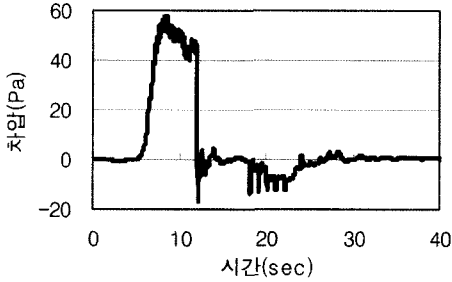


Figure 8. Pressure differentials with both entrance door and stairwell door open.

두 그림 모두 댐퍼 작동 후 자동차압조절에 의해 40~60 Pa의 차압을 유지하다가 현관문이 개방된 후에는 차압이 0 Pa 대로 떨어지는 것을 볼 수 있으며, 동시 개방의 경우 현관문만 개방했을 때보다 부속실 내 압력이 순간적으로 부압으로 더 떨어지게 되며 이 후 압력 평형을 이루어 차압이 0 Pa이 되는 것을 볼 수 있다. 이는 계단문 개방으로 순간적으로 부압이 걸리면서 급기의 상당부분이 계단실로 빠져 나가기 때문으로 추정된다.

4.4 연기 거동

Figure 9는 각각의 피난 시나리오에 대한 화재실, 부속실, 계단실로의 연기유동을 나타낸 것이다. 현관문만 개방 시에는 차압이 전혀 형성되지 않음에도 불구하고 부속실 급기가압에 의한 적정 방연풍속으로 화재실의

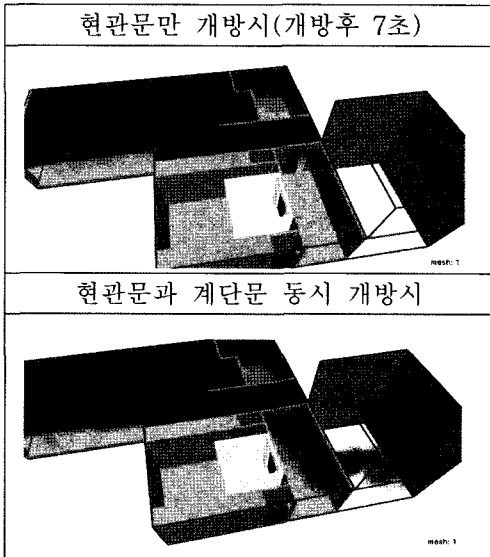


Figure 9. Smoke movement with different evacuation scenarios.

연기가 부속실로 거의 유입되지 못하고 있음을 보여준다.

반면 현관문과 계단문 동시개방의 경우에는 적정 풍량의 급기가압에도 불구하고 화재실의 연기가 부속실로 그리고 다시 계단실로 유입되는데, 이는 급기가 이루어지더라도 열린 계단문을 통해 상당량의 공기가 계단실로 유출됨으로 인해 적정 차압은 고사하고 화재실 압력보다 낮은 부압이 형성되기 때문으로 분석된다. 이 경우 피난안전공간으로 설정된 승강장 부속실이나 계단실이 위험한 상황에 놓일 수 있다고 본다.

5. 결 론

본 연구 결과 밀폐된 주거공간에서 1MW급 크기의 화재 발생으로 급기가압댐퍼 작동 시에는 현관문 틈새를 통한 공기 유입으로 화재실 및 부속실 모두 절대압(또는 게이지압)이 크게 상승하는 결과를 가져올 수 있으며, 이는 피난으로 인해 계단문이 일단 개방된 후에는 다시 잘 닫히지 않아 부속실내의 차압형성이 안 되는 문제점이 예상되었다. 따라서 화재실압이 지속적으로 상승하지 않도록 밀폐 거실에는 댐퍼와 연동되는 별도의 개구부(예: 배출구)가 필요한 것으로 판단된다.

적정 차압이 형성된 후 현관문 개방 시에는 적정방연풍속이 발생하는 것으로 나타났으며, 현관문이 닫힐 경우 순간적으로 200 Pa 정도의 높은 차압이 형성되어 이 시간 동안에는 화재실 안의 또 다른 거주자가 현관문을 개방하기는 어려울 것으로 예상되는 바, 과압 유지 시간이 비교적 짧다면 별 문제가 되지는 않지만 그렇지 않을 경우에는 부속실에 과압조절용 플랩댐퍼의 사용 등을 검토할 필요가 있는 것으로 나타났다.

현관문만 개방 시에는 방연풍속이 유지되어 부속실로의 연기유입이 일어나지 않았으나, 현관문과 계단실 방화문이 동시에 개방되어 있을 경우에는 적정방연풍속이 생성되지 않아 부속실 및 계단실로의 연기유입이 발생하는 것으로 예측되었다. 따라서 평상시 환기나 채광을 위해 계단실 방화문을 상시 열어 놓는 것은 화재시 매우 위험한 상황을 초래할 수 있으며, 피난 시에는 현관문을 반드시 닫은 후 계단실 방화문을 개방하도록 사전 교육이 필요한 것으로 나타났으며, 또한 계단실 방화문이 평소에 개방되어 있더라도 화재 시에는 감지기와 연동하여 자동으로 폐쇄되는 기능을 갖춘 자동도어폐쇄형 방화문의 사용이 요구된다.

참고문헌

1. NFSC 501A, 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연

- 설비, 소방방재청(2007).
2. 박승민 외, “급기가압제연설비의 개선에 관한 연구”, pp.118-124, 한국화재소방학회 춘계 학술대회 논문집 (2003).
  3. 박형주 외, “국내 고층건물의 피난성능확보를 위한 급기가압방연시스템의 제도개선 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.15, No.4, pp.49-56(2001).
  4. E.G. Butcher and A.C. Parell, “Smoke Control in Fire Safety Design”, Spon E & F N, UK(1979).
  5. John, H. Klote, James, A. Milke, “Principle of Smoke Management”, Amer. Society of Heating, USA(2002).
  6. Fire precautions in Design, Construction and Use of Buildings, Part 4. Code of Practice for Smoke Control Using Pressure Differentials, BSI(1998).
  7. FDS v4.07 Users & Technical Manual, BFRL/NIST Special Publication(2006).