

CFD를 이용한 대형매장 냉열원 주변의 공기유동에 관한 연구

조 성 우[†], 박 민 용*, 임 영 빈
부경대학교 건축공학부, *부산정보대학 건축공학과

A Study on the Airflow near the Cold Heat Source Using CFD in Merchandising Store

Cho Sung Woo[†], Park Min Young*, Im Young Bin

Division of Architectural Engineering, Pukyong University, Busan 608-737, Korea

**Department of Architecture Design, Busan Info-Tech College, Busan 616-737, Korea*

(Received September 30, 2004; revision received May 4, 2005)

ABSTRACT: This paper performed to predict vertical temperature distribution and air flow near cold heat source in the mass merchandising store. At the height of 150 cm, the vertical air temperature difference between the results of CFD and of measurement field showed 10% near the refrigeration zone and 8.8% near the freezing zone. Therefore, it regarded as appropriate for the using CFD to investigate airflow near the heat sources. The 3 kinds of CFD model were divided by the disposition of diffuser/exhaust and diffuser air temperature. At the refrigeration and freezing zone in the Model 2 and 3, the temperature difference between the front and the back of human model were showed 6.8℃ and 3.9℃ with diffuser air temperature 17℃ and were showed 6.8℃ and 4℃ with diffuser air temperature 19℃.

Key words: Mass merchandising store(대형매장), Cold heat source(냉열원), Temperature distribution(온도분포), CFD(수치해석)

1. 서 론

1.1 배경 및 목적

1993년대 중반 이후 대도시를 중심으로 건립된 대형할인매장은 값싸고 품질이 우수한 상품을 판매하는 장소뿐만 아니라 소비자들에게 레저 및 휴식공간과 F&B(Food & Beverage)의 기능을 제공하는 역할도 수행하며 그 폭은 더욱더 넓어지고 있는 추세이다. 그러나 대형할인매장 냉·난방장치의 용량계산은 공간 전체에 대하여 산정이

되고 있으므로 온열환경에 대한 검토가 소홀히 다루어지고 있는 실정이다. 특히, 냉장·냉동식품을 보관하는 냉열원부분과 가공 및 조리 등을 위한 온열원 부분에서 소비자들의 PMV 측정결과¹⁾ 쾌적 영역에서 벗어나는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 대형매장의 실측을 토대로 수치해석 프로그램(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용하여 냉열원 주변의 공기유동과 PMV를 조사하여 향후 건설예정인 대형매장의 취출구와 배기구의 적정위치 및 취출온도를 위한 기초 자료를 제공함을 목적으로 한다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-51-403-3019; fax: +82-51-403-3019

E-mail address: c_sungwoo@hotmail.com

1) 김태영 외 3명, 하절기 대형할인매장의 온열환경 실태조사에 관한 연구, 대한건축학회 부산경남지회 학술발표대회 2002.11. pp. 427-431.

1.2 범위 및 방법

본 연구는 대형매장의 실측을 바탕으로 대상 건축물의 공조조건을 CFD 결과와 비교하기 위하여 취출구와 배기구의 위치 및 취출온도에 따라 총 6개의 Case로 해석하였다.

첫번째 단계로 대형매장의 중 육가공을 주로 취급하는 OPEN형 다단모델인 냉동 쇼케이스와 청과와 야채를 담당하는 냉 OPEN형 다단모델인 냉장 쇼케이스의 냉열원 주변 및 전 매장을 대상으로 수직온도를 실측하였으며, 두번째 단계로는 대상건축물의 취출구와 배기구의 위치 및 취출온도가 동일한 기본모델에 대하여 CFD를 실시하여 그 결과값을 비교하였으며, 이 결과값을 토대로 기본 모델 외 5개의 경우에 대하여 공기유동을 예측하였다. 마지막 단계로는 CFD에서 나온 결과 값을 이용하여 각각 모델의 온열감에 대한 검토와 예측을 실시하였다.

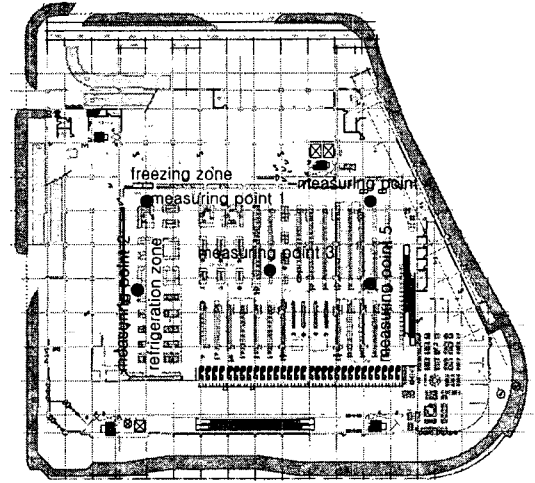


Fig. 1 The measuring points in the field.

2. 대상 건축물의 측정

2.1 측정개요

측정대상 건축물은 부산에 소재한 지상 4층, 지하 1층 SRC조 건축물로 공조는 단일덕트 정풍 방식의 Air Handling Unit(AHU)+Cooling and Heating Unit 방식이며, 1층 매장 내는 AHU(급기풍량 : 65,000 m³/h, 환기풍량 : 37,000 m³/h) 2대와 CHU(천정형, 급기풍량 : 7,000 m³/h) 27대로 구

Table 1 Composition on the each floor

Floor	Composition on the each floor
F4	A roof garden, Tourist bureau office
F3	Food court
F2	Daily necessities, Book store
F1	Market
B1	Parking area

성되어 있다. 측정대상 공간은 지상 1층으로 식료품매장이며, 각 층 구성요소는 Table 1과 같다.

2002년 7월 23일 예비측정을 실시한 후 7월 24일 오전 10시부터 오후 8시까지 2시간 간격으로 각 측정지점에 대하여 총 6회 측정하였다.

측정에서는 시물레이션을 위한 경계조건 및 예측용 데이터의 취득을 위하여 전 매장의 수직온도를 측정하였다. 조사대상 공간에 있어서 측정지점은 Fig.1에 ●로 표시하였으며, 측정항목 및 측정기기는 Table 2와 같다.

2.2 측정결과

측정대상 건축물의 공조조건으로 설정된 취출구 온도 17℃, 취출속도 1.7m/s일 때, 냉동 및 냉장 쇼케이스인 측정점 1과 측정점 2의 수직온도 분포는 19~22℃의 분포를 보이며, 열원을 사용하는 제과·제빵 주변인 측정점 4와 측정점 5의 수직온도분포는 22.5~25.5℃로 나타났다.

특히 호흡역 부근인 150cm의 경우에서 냉동 및 냉장 쇼케이스의 측정점에서 평균 21.5℃ 분

Table 2 Measurement items and instruments

Measuring item	Instruments	Models
Air temp.	Data logger	MDL-64
Radiation temp. velocity	Indoor climate system	BABUC/A
PMV*	Amenity meter	AM101

* clothing=0.5 clo, metabolic rate=1.4 met

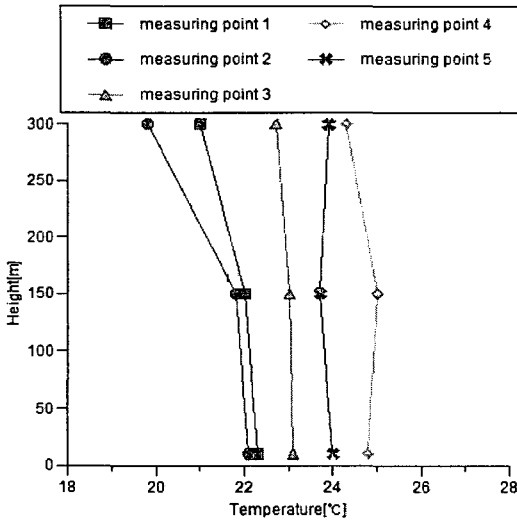


Fig. 2 Average vertical air temperature distribution in the field.

포를 보이는 것으로 나타났다. 이는 대형매장의 실내 설정온도 기준조건인 26°C보다 4°C 이상 낮게 나타났다. 그러므로 냉방부하의 감소를 위하여 기존 취출구와 배기구의 위치 및 취출온도에 대한 검토가 필요하다고 판단된다. 각 측정지점별 평균 수직온도분포는 Fig. 2와 같다.

3. 기본모델의 측정과 CFD 결과의 비교

3.1 기본모델의 CFD 경계조건 및 결과

매장 내의 냉열원 주변에 구성되어 있는 취출구와 배기구의 위치에 따라 해석대상 공간을 설정하였다. CFD 해석공간에 있어서 공기유동은 순환·반복되는 동일 패턴을 가진 기류로 가정하

여, 취출구와 배기구의 위치에 따라 6m×6m×4m의 크기로 설정하였다. 2개의 인체모델의 높이는 호흡역과 같은 1.5m로 하였고 전체적인 크기는 0.6m×0.3m×1.5m로 하였다. 취출구와 배기구의 크기는 0.5m×0.5m, 쇼케이스와 인체모델과의 거리는 소비자가 쇼케이스를 대면하고 있는 거리로 가정하여 0.5m로 설정하였다. 본 계산은 k-ε 모델을 이용하였으며, 각 벽면 표면온도는 판매시설의 실내온도 기준인 26°C로 설정하였다. 대형매장의 경우 다수의 이용에 따른 인체의 열부하가 많은 영향을 미치므로, 본 해석에서는 체표면적을 1.6m², 인체발열량은 35.6W/m²의 발열체로 두었고, CFD를 실행시켰다. 조명부하와 실내부하는 122W/m²으로 설정하였으며, 벽체의 열관류율은 고려하지 않았다.

Fig. 3은 기본모델인 모델 1의 Case 1-1에 대한 냉장 및 냉동 쇼케이스 주변의 온도분포를 나타내고 있다. 매장 내의 냉동·냉장과 벽면의 온도를 제외한 공간 내의 온도분포는 17.7~19.8°C로 나타났으며, 냉동 쇼케이스의 경우 높이 150cm 일 때, 인체 정면은 22°C, 배면의 경우 24°C로 2°C의 차가 나타났고, 냉장 쇼케이스의 경우 인체 정면에서 19.8°C, 배면에서 24°C로 4.2°C의 차를 보였다. 인체 정면과 배면의 차는 냉장 쇼케이스보다 냉동 쇼케이스가 2.2°C 더 작게 나타났다. 이는 배기구가 취출구와의 간격이 좁은 상태이고, 냉장의 경우 대류에 의한 공기유동이므로 취출구에서 배기구로 유입되는 속도가 다른 것이 큰 원인으로 사료된다.

3.2 기본모델의 측정과 CFD 결과값의 비교

쇼케이스 주변의 측정 결과와 Case 1-1(냉동),

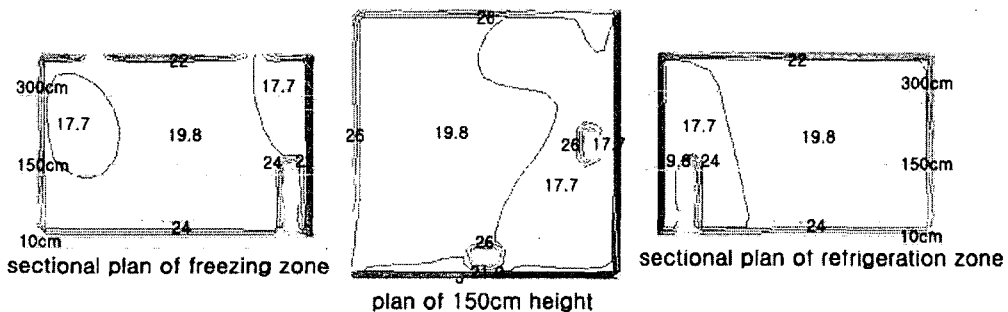


Fig. 3 Temperature distribution in the basic model using CFD.

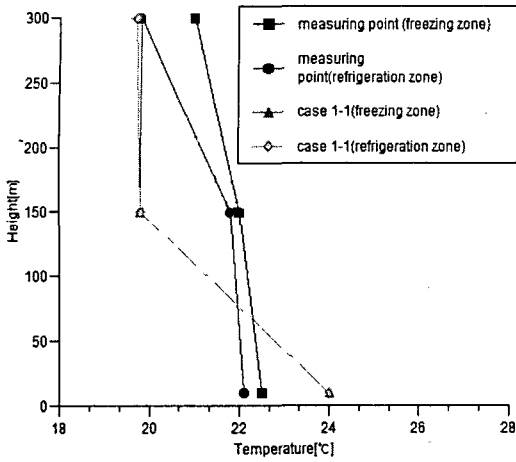


Fig. 4 Comparison with the CFD result and the measuring result.

Case 1-1(냉장)의 CFD 결과에 대한 수직온도분포는 Fig. 4와 같다. 측정점 1(냉동)과 Case1-1(냉동)에서의 높이별 온도차를 살펴보면, 높이 10 cm에서 1.5℃, 높이 150 cm에서 2℃, 높이 300 cm의 경우 1℃로 나타났다.

측정점 2(냉장)와 Case 1-1(냉장)의 경우 온도차는 높이에 따라 1.3℃, 2.9℃, 1℃로 나타났다.

냉동 쇼케이스 주변의 평균 온도차는 0.4℃이고 냉장 쇼케이스 주변에서는 0.1℃로 나타났다.

높이 150 cm일 때 측정치와 CFD 결과값의 오

차는 냉동과 냉장 쇼케이스의 경우 2℃ 정도이고 그외의 부분은 1℃ 내외의 범위에 속하므로, CFD를 이용하여 냉열원 주변의 공기유동의 예측이 타당하다고 판단된다.

4. 취출구와 배기구 위치에 따른 각 모델별 CFD 결과

4.1 모델별 CFD 해석 조건

모델별에 따른 각 Case의 조건은 기본모델 조건인 취출속도 1.7 m/s를 고정으로 두고 취출구의 온도를 17℃와 19℃로 변화시켜 해석하였다.

기본모델(Case 1-1)을 토대로 취출구와 배기구의 위치 및 취출온도를 변화시켜 총 5개의 Case에 대하여 CFD를 실시하였다. Table 3은 취출구와 배기구 및 인체모델의 위치를 나타내고 있으며, 인체모델과 배기구의 거리는 0.7m로 하였다. 각 모델에 있어서 취출구와 배기구는 왼쪽을 기준으로 하여 모델 1의 경우는 취출구-배기구-취출구로써 기본모델이며, 모델 2는 취출구와 배기구의 간격은 3m이고, 형태는 취출구-배기구, 모델 3은 4개의 취출구에 1개의 배기구가 가운데에 배치되는 방식이며, 취출구와 취출구의 거리는 3m, 취출구와 배기구의 거리는 1.5m로 하였다. 각 Case별 경계조건은 Table 3과 같이 설정하였다.

Table 3 The summary of models

Plane	Model 1			Model 2			Model 3		
	Case	Diffuser temperature	Velocity	Case	Diffuser temperature	Velocity	Case	Diffuser temperature	Velocity
	1-1	17℃	1.7 m/s	2-1	17℃	1.7 m/s	3-1	17℃	1.7 m/s
	1-2	19℃	1.7 m/s	2-2	19℃	1.7 m/s	3-2	19℃	1.7 m/s
Note	The surface of wall temperature : 26℃, Human heat flux : 35.6 W/m ² , Freezing zone temperature : 1℃, Refrigeration zone temperature : 5℃								

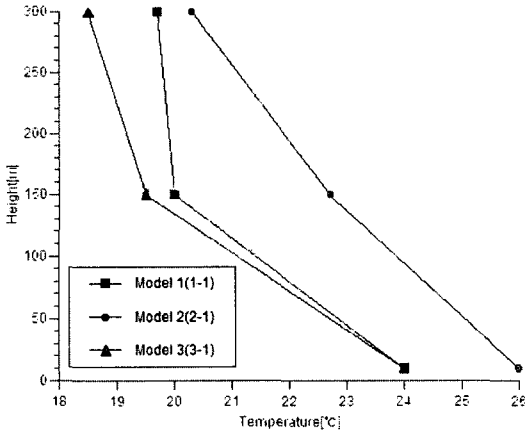


Fig. 5 Temperature distribution in each case with diffuser temperature 17°C.

4.2 취출온도 17°C일 때 CFD 결과

취출속도 1.7 m/s일 때 각 모델의 Case별 결과는 Fig. 5와 같다.

모델 1(Case 1-1)의 경우 높이 150 cm에서 실의 평균 온도분포는 19.8°C, 냉동 쇼케이스에서 인체 정면과 배면의 차는 2°C, 냉장 쇼케이스에서는 4.2°C로 나타났다.

동일한 높이의 모델 2(Case 2-1)에서는 평균 공기온도가 22.6°C의 높은 분포를 나타내고 있으며, 냉동, 냉장 쇼케이스의 경우 인체 정면과 배면의 차는 모두 6.8°C의 차를 나타냈다.

모델 3(Case 3-1)의 경우 높이 150 cm에서 평균 공기온도분포는 19.5°C, 인체 정면과 배면의 차는 냉동과 냉장에서 3.9°C의 차를 나타냈다.

특히, 취출구와 배기구와의 거리가 먼 모델 2(Case 2-1)의 경우, 실 전체의 온도분포가 높은 관계로 인체 정면과 배면의 온도차도 가장 높게 나타났다. 적절한 취출구와 배기구와의 위치선정은 인체의 정면과 배면의 큰 온도차뿐만 아니라 쇼케이스 내의 차가운 공기가 매장 내로 흘러나오는 것을 막기 위해서도 필요하다고 판단된다.

4.3 취출온도 19°C일 때 CFD 결과

취출속도 1.7 m/s, 취출구의 온도 19°C일 때, 각 모델에 대한 Case별 결과는 Fig. 6과 같다. 모델 1(Case 1-2)의 경우 높이 150 cm에서 실의 평균 온도는 20.3°C로 나타났으며, 냉동 쇼케이스에

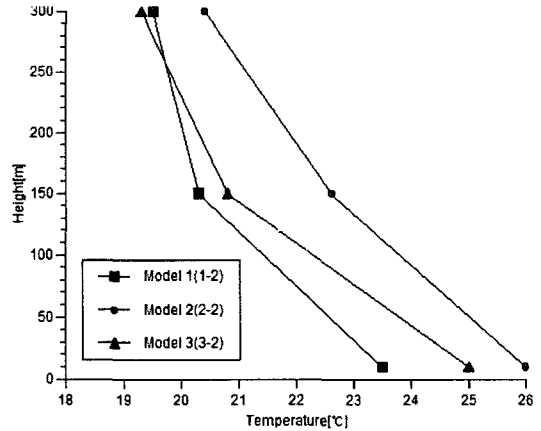


Fig. 6 Temperature distribution in each case with diffuser temperature 19°C.

서 인체 정면과 배면의 차는 4.3°C, 냉장 쇼케이스에서는 6.5°C로 나타났다.

모델 1(Case 1-2)의 경우, 높이 150 cm에서 실의 평균 온도는 20.3°C로 나타났으며 냉동 쇼케이스에서 인체 정면과 배면의 차는 4.3°C, 냉장 쇼케이스에서는 6.5°C로 나타났다.

모델 2(Case 2-2)의 경우, 높이 150 cm에서 평균 공기온도분포는 22.6°C의 분포로 나타났으며, 인체 정면과 배면의 차는 냉동, 냉장 쇼케이스의 경우 모두 6.8°C의 차를 나타냈다.

모델 3(Case 3-2)의 경우, 높이 150 cm에서 평균 공기온도분포는 20.8°C로 나타났으며 인체 정면과 배면의 차는 냉동과 냉장에서 4°C의 차를 나타냈다. 온도장의 해석결과, 냉복사에 의한 열교환이 일어나는 냉동 쇼케이스보다는 공기의 유동에 따른 대류에 의한 열교환이 발생하는 냉장 쇼케이스 부근에서 인체의 정면과 배면의 온도차는 크게 나타난 것을 알 수 있다.

5. 각 모델별에 따른 평균 PMV의 결과

실측치의 PMV값의 경우 전체적으로 “-” 값을 가지는 범위로 나타났으며, 특히 냉동 쇼케이스의 경우 -0.9의 범위로 나타났으며 매장 내의 평균 PMV 값은 -0.7로 “약간 시원하다(slightly cool)”의 범위로 나타났다. 또한 취출온도 17°C, 취출속도 1.7 m/s일 때의 기본모델(Case 1-1)의 CFD 결과값도 실측치와 동일한 PMV의 평균값인 -0.7로 “약간 시원하다(slightly cool)”의 범위

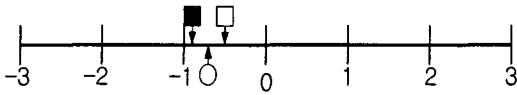


Fig. 7 PMV on each case with diffuser temperature as 17°C.

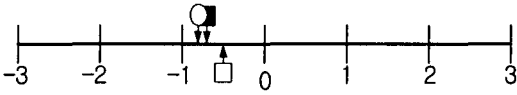


Fig. 8 PMV on each case with diffuser temperature as 19°C.

로 나타났다. Case 2-1의 PMV 평균값은 -0.5 로 “쾌적범위(comfort)”에 속하는 것으로 나타났으나, Case 3-1은 -0.9 로 “약간 시원하다(slightly cool)”의 범위로 나타났다.

취출 온도 19°C, 취출 속도 1.7 m/s일 때 Case별 PMV 평균 결과값은 Case 1-2, Case 3-2는 각각 -0.8 과 -0.7 로 쾌적범위에서 벗어났으나, Case 2-2는 -0.5 로 “쾌적범위(comfort)”에 속하는 것으로 나타났다.

전체 모델에 대한 Case별 PMV 평균 결과값에 의하면, 동일한 유속에서 취출온도가 17°C와 19°C인 모델 2에 속하는 모든 Case의 경우 -0.5 로 “쾌적범위(comfort)”에 속하는 것으로 나타났으므로, 이는 실 전체의 온도가 영향을 많이 미치며 온도가 높은 경우에는 PMV의 평균값이 쾌적범위에 근접하는 알 수 있다.

6. 결 론

대형할인매장의 실측 결과를 바탕으로 취출구와 배기구 위치 및 취출온도에 따른 모델의 Case별 CFD 결과는 다음과 같다.

(1) 냉방장치의 용량계산을 위한 실내기준온도인 26°C보다 전체 매장이 2~4°C 낮게 나타났고, 측정점 4, 5(제과제빵)가 측정점 1, 2(냉동 및 냉장 쇼케이스)보다 최대 4°C 정도 높게 나타났다. 이는 기존 취출구와 배기구의 배치형태에 좌우되는 것이라고 판단할 수 있다.

(2) 실측값과 기존 공조방식인 Case 1-1(취출 온도 및 유속이 17°C, 1.7 m/s)의 CFD 결과, 온도 오차범위는 2% 이내로 실측치와 아주 잘 일치하는 것으로 나타났으므로, CFD를 이용한 대형할

인매장에서의 공기유동 및 수직온도분포 예측이 가능하다고 판단된다.

(3) 모델 1의 경우 인체 정면과 배면의 차는 평균 3.1°C, 모델 2는 6.8°C, 모델 3의 경우 3.95°C로 나타났으며, 이는 복사형태와 대류형태에 따른 방열특징과 취출구와 배기구의 위치에 따른 배치간격에 좌우되는 것으로 판단된다.

(4) 취출구 및 배기구 위치에 따른 모델 2의 PMV 평균값은 -0.5 로 “쾌적범위(comfort)”에 속하므로, 실 전체의 온도에 크게 영향을 받는 것으로 판단되므로, 설정온도 26°C보다 너무 낮은 실내온도를 가진 매장의 경우 과도한 냉방에너지의 소비와 더불어 고객들에게 과냉으로 인한 열적 불쾌감을 유발시킬 수 있다고 판단된다.

(5) 대형매장의 있어서 냉열원 주변의 공조배관 계획시, 취출구와 배기구의 위치는 매장 내 전체적인 공기온도분포를 고려하여 배치함으로써 쾌적범위에 가까운 온열감을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구에 많은 도움을 준 부경대학교 대학원의 김태영 군에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Lee, S. W., 2001, The evaluation of thermal environment and indoor air quality measurement in supermarkets, SAREK Proceeding, pp. 430-433.
2. Kwon, H. D., 2003, The field measurement and improvement plan of indoor environment in discount store, Architectural Institute of Korea Proceeding, Vol. 23, No. 2, pp. 961-964.
3. Kim, T. Y., 2003, The comparison of the temperature distribution between field measurement and CFD near heat source in the mass merchandising store, Architectural Institute of Korea Proceeding, Vol. 23, No. 2, pp. 805-808.
4. Kimura, K. I., 1992, Fundamental Theories of Building Services, Kakugensya, pp. 133-138.