

생애비용 분석을 통한 외벽 및 단열재료 종류별 냉동냉장창고 외피의 적정 단열두께 산정

강 승 희, 구 보 경, 황 혜 주*, 석 호 태**, 안 흥 섭***, 송 승 영****
이화여대 대학원 건축학과, *목포대 건축조경학부, **영남대 건축공학과, ***군산대 건축공학과, ****이화여대 건축학과

Optimized Insulation Thickness of the Refrigerated Warehouse with Different Envelope Structures and Insulation Materials by L.C.C. Analysis

Seung-Hee Kang, Bo-Kyoung Koo, Hey-Zoo Hwang*,
Ho-Tae Seok**, Hong-Seob Ahn***, Seung-Yeong Song****

Department of Architecture, EIST, Ewha Womans Univ., Seoul 120-750, Korea

*Department of Architectural Engineering & Landscape Architecture, Mokpo National Univ., Muan 534-729, Korea

**Department of Architectural Engineering, Yeungnam Univ., Kyongsan 712-749, Korea

***Department of Architectural Engineering, Kunsan National Univ., Kunsan 573-701, Korea

****Department of Architecture, Ewha Womans Univ., Seoul 120-750, Korea

(Received December 30, 2002; revision received March 27, 2003)

ABSTRACT: This study aims to find out the optimized insulation thickness of refrigerated warehouse with different envelope structures (RC and PC wall) and insulation materials (urethane and icynene). Each of them is compared according to the thickness of insulation (100, 150, 200 mm/50 or 250 mm) and the temperature of cold storage room (0, -6, -15°C). As results, it is proved to have the best economical efficiency in life cycle cost when PC wall with thickness of 100 mm (0 and -6°C) and 150 mm (-15°C) urethane, respectively, are applied.

Key words: Refrigerated warehouse(냉동냉장창고), Envelope structure(외피구조), Insulation material(단열재료), Insulation thickness(단열재 두께), LCC(생애비용)

기 호 설 명

C_E : 생애기간 동안의 냉방 에너지비용 [년]
 C_{E1} : 연간 냉방 에너지비용 [원]
 C_M : n 년 후 보수교체비용 현재가 [원]
 C_{M1} : n 년 후 보수교체비용 [원]
 e : 가격상승률
 i : 이자율

n : 생애기간 [년]
 PW : 현재가계수
 ri : 실질 이자율

1. 서 론

최근 생활수준 향상 및 식생활 패턴의 서구화로 농축수산 가공물에 대한 수요가 큰 폭으로 증가하여 왔다. 그리고 한일어업협정 및 축산물 수입 자유화 이후 국내 농축수산물의 장기 보관 및 상품의 경쟁력 확보를 위해 보관시 고품질을 유지하는 것이 중요한 사안이 되어 저온 보관시설에 대한 관심이 집중되고 있다. 이로 인해 특히

† Corresponding author

Tel.: +82-2-3277-3913; fax: +82-2-3277-2396

E-mail address: archssy@ewha.ac.kr

고부가가치 창출이 가능한 냉동냉장창고에 대한 필요성이 크게 부각되고 있는 상황이다.

냉동냉장창고는 냉동냉장실 내외의 온도차가 하계의 경우 약 40~50℃ 정도로 매우 커 단열성능이 우수한 외피가 필수적이다. 그러나 냉동냉장창고 외피 단열과 관련된 건축법규는 마련되어 있지 않으며, 단열설계 자체도 관행적으로 수행되고 있어 적정 단열에 대한 고려가 거의 이루어지지 않고 있다.

국내 대부분의 냉동냉장창고 외피를 보면, 철근콘크리트 외벽 내단열 공법이 적용됨으로써 외피 각 접합부(벽-슬라브 접합부)에서 단열재가 불연속되어 열교가 발생하므로 에너지 손실 및 결로 등과 같은 많은 문제가 나타나고 있다(Table 5의 RC wall with internal insulation, Typ. floor 도면 참조). 이와 같은 문제점은 RC조에 의해 외부 응력을 제외한 구조체 시공 후 외벽을 구조체와 이격하여 PC판으로 형성하고, 방습·단열 시공함으로써 단열재가 연속되게 하는 외피구조로 해결할 수 있을 것이다(Table 5의 PC wall with internal insulation, Typ. floor 도면 참조). 그리고 기존 냉동냉장실 외피 단열재의 경우 주로 우레탄이 사용되고 있지만, 우레탄보다 환경친화성능과 시공성능 측면에서 더 우수한 것으로 평가되는 아이센을 우레탄의 대체 재료로 검토해 볼 수 있을 것이다. 또한 냉동냉장창고의 경우 저장물의 종류에 따라 냉동냉장실내 설정온도가 달라지므로 동일한 외피구조라 하더라도 적정 단열두께가 달라진다. 그러므로 적정 단열계획 수립을 위해서는 냉동냉장실내 설정온도에 대한 고려도 함께 필요하다.

이에 본 연구에서는 기존 콘크리트 외벽 내단열 공법을 적용한 경우와 외피 접합부에서의 열교 발생을 방지할 수 있는 PC 외벽 내단열 공법

을 적용한 경우 각각에 대해, 단열재료 종류와 온도조건에 따른 단열재 두께별 경제성 평가를 실시하여 적정 단열두께를 도출하고 상호간을 비교 평가함으로써, 냉동냉장창고 외피의 단열성능을 향상시킬 수 있게 하고자 하였다.

2. 외피구조 및 온도조건 설정

2.1 외피구조 설정

기존의 여러 사례(Table 1 참조)를 바탕으로 콘크리트 외벽 내단열 공법을 적용한 외피구조와 PC 외벽 내단열 공법을 적용한 외피구조의 특징을 파악하였다. 콘크리트 외벽 내단열은 벽-바닥 접합부에 열교가 발생하여 접합부 단열보강이 필요하며, 층간 슬라브 역시 단열시공이 필요하다. 반면 PC 외벽 내단열은 벽-바닥접합부의 열교가 방지되므로 접합부 단열보강 및 층간 슬라브 단열시공이 불필요하다는 장점이 있다(이상 Table 5의 Typ. floor 도면 참조).

사례조사 결과 단열재료는 열전도율이 낮고 경제성이 좋은 우레탄이 주로 적용되고 있었다. 우레탄의 경우 타 단열재와 비교했을 때 단열성능, 자기접착성 등이 우수하여 광범위하게 사용되고 있지만, 우기와 영하 시공에 난점이 있고 양생시간이 약 3~4분으로 긴 편에 속한다. 이에 비해 아이센은 전천후 시공이 가능하고 100배 발포로 틈새 충전이 용이하며 5초 정도의 순간양생이 이루어진다. 그리고 발포촉매제가 chemical base가 아닌 water base로 독성이 없어 화재시 맹독가스 분출이 없다. 또한 인체에 유해하지 않은 환경친화적이며 위생적인 재료로 기밀, 밀착성능도 양호하다(Table 2 참조).

본 연구에서는 평가대상 단열재료로 기존의 우

Table 1 The present condition of each envelope structure

Envelope structure	Example	Wall composition
RC wall with internal insulation	<ul style="list-style-type: none"> · S Refrigerated warehouse of the fish market · A Refrigerated warehouse · S Refrigerated warehouse · Most of the existing refrigerated warehouses 	<ul style="list-style-type: none"> · RC wall · Insulation · Interior finish
PC wall with internal insulation	<ul style="list-style-type: none"> · K Refrigerated warehouse 	<ul style="list-style-type: none"> · PC wall with anchor · Insulation · Interior finish

Table 2 Characteristics of urethane/icynene

	Urethane	Icynene
Construction method	Spray	Spray, Injection
Adhesion method	Self-adhesion	Self-adhesion
Construction performance	Foaming of 25 times	Foaming of 100 times
Cure time	3~4 minutes	5 seconds
Number of constructors	1 team of 3 persons	1 team of 2 persons
Moisture	Hard to construct at rainy season	Possible to construct at rainy season
Temperature	Hard to construct at sub-zero	Possible to construct at sub-zero
Thermal insulation performance	Good	Good
Dehumidification effect	Poor	Good

Table 3 Temperature of cold storage room

Grade	C3	C2	C1	F	SF
Temperature (°C)	0	-6	-15	-25	-55 ~ -65

레단과 함께 아이씬을 선정하여 상호간을 비교 평가하였다. 단열재 시공방법은 뽀칠 공법을 적용하는 것으로 하였고 단열재 두께는 사례조사 결과를 바탕으로 100, 150, 200 mm로 하였다.^{주1)}

2.2 냉동냉장실내 온도조건 설정

냉동냉장창고는 설정온도에 따라 크게 C, F, SF급으로 구분할 수 있다. 냉동냉장실 설정온도 별 상세 구분은 Table 3⁽¹⁾과 같다. 본 연구에서는 적용범위가 넓은 것으로 판단되는 C급(C1, C2, C3)의 경우를 대상으로 설정하였다.

3. 모델 냉동냉장창고 작성

외피구조별 냉동냉장창고 외피의 경제성 평가를 위해 모델 냉동냉장창고를 작성하였다. 모델 냉동냉장창고는 99년 3월에 완공된 서울의 S사 냉동냉장창고를 기준으로 설정하였다. 경제성 평가시 냉동냉장실 이외의 부분(복도, 전실 등)은 의미가 없으므로 모델 냉동냉장창고는 냉동냉장실 부분만 작성하였으며, 지하 1층의 용도는 가

주1) 평가대상 단열재 두께의 경우, 1차 경제성 평가를 통해 단열재 두께별 생애비용 추이를 분석한 후, 단열재 두께 변화에 따른 생애비용 변화가 계속 증가 혹은 감소의 경향을 보여 생애비용이 최소가 되는 적정 단열두께를 판단할 수 없는 경우, 즉 타 단열재 두께(50 혹은 200 mm 등)에 대한 추가평가가 필요한 경우를 파악하여 이를 2차 경제성 평가시 적용하였다.

Table 4 Building description

Item	Contents	
No. of floor	B1(Processing room) 7(Cold storage room)	
Floor area (m ²)	1,035	
Total area (m ²)	8,280	
Cold storage room	Floor area (m ²)	1,035
	Volume (m ³)	43,470
	Storage (ton)	10,000

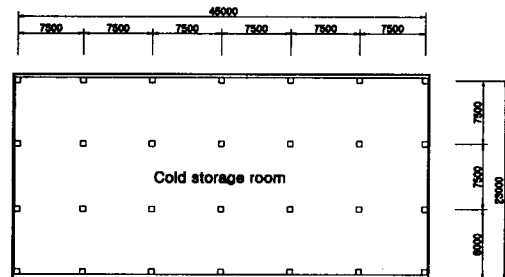


Fig. 1 Typical floor plan.

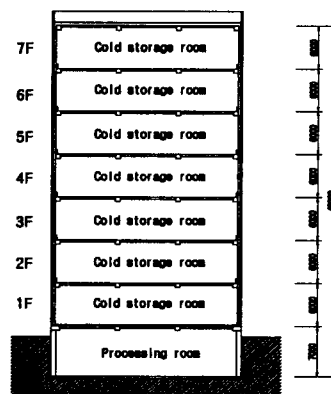


Fig. 2 Section.

공처리실로 하였다. 모델 냉동냉장창고의 건물개요는 Table 4와 같으며 기준층 평면도와 단면도는 Figs. 1, 2와 같다.

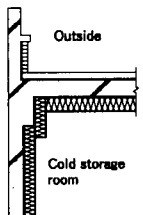
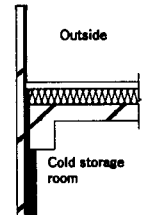
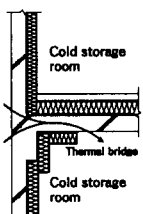
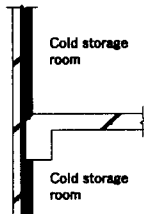
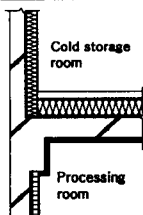
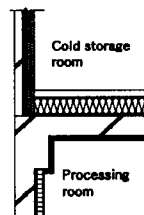
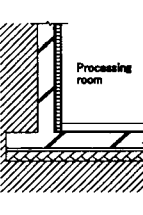
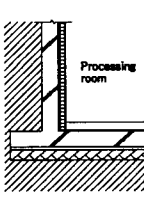
모델 냉동냉장창고를 대상으로 지하 1층, 1층, 기준층의 벽-바닥 접합부 및 최상층의 벽-지붕 접합부에 대한 상세 외피구조를 작성하였으며, 여기에서 단열재를 제외한 나머지 재료의 종류 및 두께는 기존 냉동냉장창고 사례를 기준으로 작성하였다. 그 내용은 Table 5와 같다.

4. 경제성 평가

4.1 경제성 평가 개요

모델 냉동냉장창고를 대상으로 외벽구조, 단열재료 및 온도조건별로 1차 경제성 평가를 실시하여 단열재 두께(100, 150, 200 mm)별 시공비용 및 기간, 보수교체비용, 에너지비용 및 생애비용을 산출하고, 생애비용 추이를 분석하였다. 그리

Table 5 Detailed envelope structure

Floor	RC wall with internal insulation					PC wall with internal insulation				
	Section	Wall		Slab		Section	Wall		Slab	
		Material	Thick-ness (mm)	Material	Thick-ness (mm)		Material	Thick-ness (mm)	Material	Thick-ness (mm)
Top floor		Outside		Upper			Outside		Upper	
		Concrete DP-Coat vapour retarder Insulation Galvaneum	230 - 50~250 0.8	Concrete Sheet Concrete Urethane Galvaneum	100 - 250 220 0.5		Spancrete PC Sheet Insulation Galvaneum	120 - 50~250 0.8	Concrete Sheet Extruded polystyrene Concrete	100 - 250 250
	Inside		Lower		Inside		Lower			
	Outside		Upper		Outside		Upper			
Typ. floor		Outside		Upper			Outside		Upper	
		Concrete DP-Coat vapour retarder Insulation Galvaneum	230 - 50~250 0.8	Concrete Sheet Extruded polystyrene Sheet Concrete Urethane Galvaneum	100 - 200 - 250 - 170 0.5		Spancrete PC Sheet Insulation Galvaneum	120 - 50~250 0.8	Concrete	250
	Inside		Lower		Inside		Lower			
	Outside		Upper		Outside		Upper			
1st floor		Outside		Upper			Outside		Upper	
		Concrete DP-Coat vapour retarder Insulation Galvaneum	230 - 50~250 0.8	Concrete Sheet Extruded polystyrene Sheet Concrete Urethane Perlite	100 - 250 - 300 70 5		Spancrete PC Sheet Insulation Galvaneum	120 - 50~250 0.8	Concrete Sheet Extruded polystyrene Sheet Concrete Urethane Perlite	100 - 250 - 300 70 5
	Inside		Lower		Inside		Lower			
	Outside		Upper		Outside		Upper			
B1		Outside		Upper			Outside		Upper	
		Concrete Cement water proof Mortar 0.5B brick Mortar Epoxy paint	300 - 18 90 18 -	Epoxy paint Concrete Cement water proof Concrete Concrete Rubble	- 150 - 300 50 200		Concrete Cement water proof 0.5B brick Mortar Epoxy paint	300 - 18 90 18 -	Epoxy paint Concrete Cement water proof Concrete Concrete Rubble	- 150 - 300 50 200
	Inside		Lower		Inside		Lower			
	Outside		Upper		Outside		Upper			

<Remarks> Wall insulation material : Urethane, Icynene
 Wall insulation thickness : First evaluation 100, 150, 200 mm, Second evaluation 50 or 250 mm

고 단열재 두께 변화에 따른 생애비용 변화가 계속 증가 혹은 감소의 경향을 보여 생애비용이 최소가 되는 적정 단열두께를 판단할 수 없는 경우를 파악하였다. 그 결과 계속 증가의 경향을 보이는 경우(50 mm 단열재 두께에 대한 추가 평가가 필요한 경우)가 나타났으며, 계속 감소의 경향을 보이는 경우(250 mm 단열재 두께에 대한 추가 평가가 필요한 경우)는 나타나지 않았다. 50 mm 단열재 두께에 대한 추가 경제성 평가가 필요했던 경우는 철근 콘크리트 외벽 내단열, PC 외벽 내단열 외피구조에서 아이썬, 우레탄을 적용한 경우 모두 온도조건 0, -6°C에서 나타났다. 이 경우를 추가하여 2차 경제성 평가를 실시하였다.

4.2 시공비용 및 기간, 보수교체비용

4.2.1 시공비용

시공비용은 모델 냉동냉장창고를 기준으로 각 자재별 물량 및 단가산정 후 단열재 두께별 공사비를 산출하였다. 단가 산정에 있어 PC는 G시공사의 시공자료⁽²⁾를, 우레탄 뽀칠, 퍼라이트 뽀칠, 갈바늄은 건설자재연구소의 자료⁽²⁾를, 아이썬 뽀칠은 제조업체의 견적자료를, 이외의 단가는 한국 물가협회의 건설공사 일위대가⁽²⁾를 기준으로 하였다. 시공비용 산정에 적용된 각 자재별 단가(재료 및 시공비 포함)는 다음과 같다.

- 철근콘크리트 벽 41,555 원/m²,
슬라브 444,290 원/m³
- P C 60,700 원/m²
- 누름콘크리트 5,745 원/m²
- 밀창콘크리트 8,902 원/m³
(50-100 m³, 슬럼프18)
- 무근콘크리트 12,197 원/m³
- 잡 석 다 집 20,616 원/m³
- 압출스티로폴 벽 7,855 원/m²
슬라브 8,815 원/m²
- 우레탄 뽀칠 15,000 원/m²
- 아이썬 뽀칠 18,000 원/m²
- 퍼라이트뽀칠 9,000 원/m²
- 시멘트 벽돌 207,076 원/1,000매
(표준형 75 매/m²)
- 시멘트 몰탈 12,747 원/m²
- 갈 바 늬 15,000 원/m²
- 액 체 방 수 13,050 원/kg(액방 1종, 1 kg/m²)

- 에폭시페인트 4,500 원/kg(1kg/m²)
- 방 습 층 벽 511 원/m²
슬라브 413 원/m²
- 시 트 11,046 원/m²

시공비용 산정 결과, 단열재 두께가 동일한 경우 단열재료에 상관없이 PC 외벽 내단열이 콘크리트 외벽 내단열보다 380,622천원(약 16%) 절감되는 것으로 나타났다. PC 외벽 내단열의 경우, PC의 단가가 철근 콘크리트보다 비싸 벽체에 소요되는 비용이 많지만, 콘크리트 외벽 내단열의 경우 슬라브 단열에 소요되는 비용이 많아 전체 시공비용에서는 PC 외벽 내단열이 더 경제적이다.

단열재료 측면에서 시공비용을 분석한 결과, 아이썬이 우레탄에 비해 시공단가가 1.2배 비싸 동일 외피구조, 동일 단열재 두께에서 아이썬을 적용한 경우가 우레탄을 적용한 경우에 비해 전체 시공비용이 약 1~3% 내외 증가하는 것으로 나타났다(Table 10, 11 참조).

4.2.2 시공기간

시공기간은 모델 냉동냉장창고를 기준으로, 골조와 단열공사를 중심으로 한 전체 공정표를 작성하여 산정하였다(Figs. 3, 4 참조). 그 결과 콘크리트 외벽 내단열 공법을 적용한 외피구조의 경우 17개월인데 비해, 조립식 외벽인 PC 외벽 내단열 공법을 적용한 외피구조의 경우 15개월로 나타나 전자에 비해 2개월 정도의 공기를 단축할 수 있는 것으로 나타났다.

4.2.3 보수교체비용

보수교체비용은 냉동냉장창고 내구연한 25년(법인세법 시행규칙, 4회(5년마다 1회) 외부 수성페인트 재도장을 기준으로 산출하였다. 1회 보수교체비용은 수성페인트 단가⁽²⁾(2회 도장, 2,631원/m²)에 공사면적(5,460 m²)을 곱한 14,365,260원이며, 실질 이자율 2%^(주2)를 적용하여 식(1)로 생애기간 동안의 보수교체비용을 계산하였다. 계산결과를 Table 10, 11과 같으며 모든 경우에서 동일하다.

$$C_M = \frac{C_{M1}}{(1+ri)^n} \quad (1)$$

주2) 실질이자율=이자율 7.5%(2001년 상반기 3년 만기 우량사채 이자율 평균)-가격상승률 5.5%(정부정책 전망)=2%

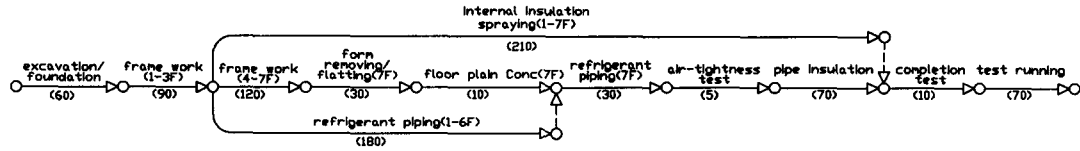


Fig. 3 Construction schedule (RC wall with internal insulation).

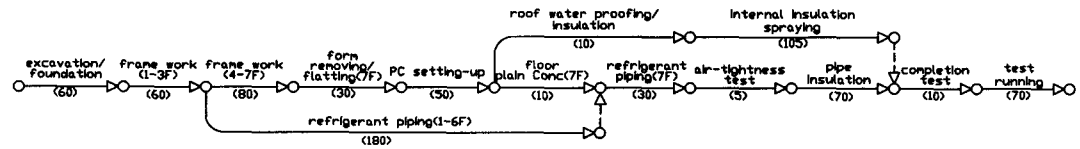


Fig. 4 Construction schedule (PC wall with internal insulation).

4.3 에너지비용

4.3.1 평가순서 및 방법

에너지비용을 산출하기 위해 모델 냉동냉장창고를 대상으로 외피구조별 단열재 두께에 따른 연간 에너지 해석 시뮬레이션을 실시하였다. 먼저 외피구조별 단열재 두께에 따른 시뮬레이션을 실시하고 각 존(지하 1층 가공처리실, 1~7층 냉동냉장실) 및 건물전체의 연간 부하량을 산출한 다음, 냉동냉장실 존의 연간 냉방부하량에 대한 연간 냉방 에너지비용을 계산하였다.

해석 프로그램으로는 DOE-2.1E를 사용하였으며, 시뮬레이션은 DOE-2.1E의 모듈 중 LOAD 부분에 대해서 실시하였다.

4.3.2 시뮬레이션 모델 및 조건

시뮬레이션 대상 기간은 1년으로 하였으며, 서울지역의 기상자료⁽³⁾를 사용하였다. 구체적인 시

뮬레이션 모델 및 조건들은 다음과 같다.

- (1) 존 및 조건 설정
 - 모델 냉동냉장창고를 기준으로, Table 6과 같이 층별 존과 조건을 설정
- (2) 구조체 재료 물성치
 - 시뮬레이션에 적용된 각 재료 물성치는 Table 7과 같이 설정
- (3) 내부 발열스케줄 및 밀도
 - 사례조사 결과 바탕으로 각 존별 인체, 조명, 기기발열스케줄, 밀도를 Table 8,9와 같이 설정

4.3.3 연간 냉방 에너지비용

냉동냉장실 연간 냉방부하량에 대한 냉동장치 전력사용량을 구하고 이를 전력사용량 요금으로 환산하여, 연간 소요냉방 에너지비용을 계산하였다(Table 10,11 참조). 기존 연구^(1,4)에 따르면, 냉동냉장창고에서 R-22 냉매를 사용하는 냉동장치가 Fig.5와 같은 사이클(연간 평균 사이클)로 운

Table 6 Zone description

Floor	Plan	Zone	Usage	Temperature (°C)
B1		ZONE -B1	Processing room	23
1~6		ZONE -TYP	Cold storage room	0, -6, -15
7		ZONE -TOP	Cold storage room	0, -6, -15

Table 7 Material properties

Material	Thermal conductivity (W/m°C)	Density (kg/m ³)	Specific heat (J/kg°C)
Reinforced, plain concrete	1.3103	2242.58	836.77
PC	1.0932	1741.67	836.77
Rubble	2.79	2630.00	775.00
Extruded polystyrene	0.0290	56.00	1220.00
Urethane	0.0267	24.03	1589.86
Icynene	0.0396	7.00	1589.86
Perlite	0.0485	93.00	1090.00
Brick	0.7207	1922.22	836.77
Mortar	0.7207	1858.14	836.77
Galvaneum	45.30	7830.00	500.00

Table 8 Internal load schedule

Room	Item	Day	1~5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Processing room	Occupancy	Weekday	0	0	0.1	0.2	0.95	0.95	0.95	0.95	0.5	0.95	0.95	0.95	0.95	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05
		Saturday	0	0	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0	0	0	0	0
		Holiday	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0	0	0	0	0	0
	Lighting Equipment	Weekday	0.05	0.1	0.1	0.3	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.05
		Saturday	0.05	0.05	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
		Holiday	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Cold storage room	Occupancy	Weekday	0	0	0	0.15	0.7	0.9	0.9	0.9	0.5	0.85	0.85	0.85	0.2	0	0	0	0	0	0	
		Saturday	0	0	0	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0	0	
		Holiday	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Lighting	Weekday	0.05	0.05	0.05	0.4	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
		Saturday	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
		Holiday	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
Equipment	Weekday	0.05	0.05	0.05	0.4	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		
	Saturday	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.25	0.25	0.25	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		
	Holiday	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05		

Table 9 Internal load density

Room	Item	Value
Processing room	Occupancy	23.20 m ² /person
	Lighting	16.10 W/m ²
	Equipment	10.80 W/m ²
Cold storage room	Occupancy	46.50 m ² /person
	Lighting	12.92 W/m ²
	Equipment	2.15 W/m ²

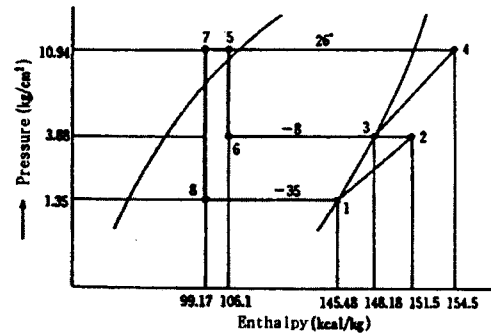


Fig. 5 Refrigeration cycle.

전될 경우 부하량 3,320 kcal에 대해 3.32 kWh의 전력이 사용되는 것으로 조사되었다. 여기에서는 이를 적용하여 냉방부하량에 대한 전력사용량을 계산하였다. 전력사용량에 대한 요금은 국내 전력요금체계 중 산업용전력(갑), 선택요금1, 고압A (7, 8월 57.1원/kWh, 4~6, 9월 43.2원/kWh, 10~3월 46.3원/kWh)를 적용하여 계산하였다.

4.3.4 생애기간 동안의 냉방 에너지비용

식(2)를 이용, 생애기간 동안의 냉방 에너지비용을 계산하였다.^{주3)} 여기에서 가격상승률은 5.5% (1991. 6. 1~1999. 11. 1 동안의 산업용 전력요금 평균 인상률), 이차율은 7.5%(2001년 상반기 3년 만

기 우량사채 이차율의 평균), 생애기간은 25년(법인세법시행규칙에 의한 냉장창고용 건축물의 내용연한)을 적용하였다.

$$C_E = PW \times C_{E1}$$

$$PW = \frac{1+e}{1+i} \left\{ \left(\frac{1+e}{1+i} \right)^n - 1 \right\} \quad (2)$$

$$\frac{1+e}{1+i} - 1$$

생애기간 동안의 냉방 에너지비용을 분석하면 아이센을 적용한 경우 50, 100 mm에서는 철근 콘크리트 외벽 내단열이, 150, 200 mm에서는 주로 PC 외벽 내단열을 외피구조로 적용한 경우가 생애기간 동안 냉방 에너지비용이 적게 소요되는 것으로 나타났다. 그리고 우레탄을 적용한 경우 50 mm에서는 철근 콘크리트 외벽 내단열이, 100, 150, 200 mm에서는 PC 외벽 내단열이 주로 생애기간 동안의 냉방 에너지비용 측면에서 경제적이었다.

단열재료에 따른 생애기간 동안의 냉방 에너지비용은 동일 외피구조, 동일 온도, 동일 단열재

주3) DOE-2.1E 프로그램에서 부하량(space load)에 대한 전력사용량 산출을 위해서는 system, plant 시뮬레이션이 필요하나, 저온 형성을 위한 냉동냉장 system 옵션의 미비라는 프로그램의 제약으로 인해 system 이하 시뮬레이션이 실시되지 못하였음. 여기에 적용된 부하량에 대한 전력사용량은, 특정 조건을 가정한 약산법에 의한 개략적 추정치이며 정확한 계산치는 아니나, 본 연구에서 의도한 유형간 우열비교는 가능할 것으로 판단되어 이를 적용하였음.

Table 10 Life cycle cost (RC wall with internal insulation)

	Icynene				Urethane			
	0℃							
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Construction cost (1,000 won)	2,219,658	2,322,474	2,425,290	2,528,106	2,202,522	2,288,202	2,373,882	2,459,562
Maintenance cost (1,000 won)	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136
Annual cooling load (MWH)	883.988	680.289	598.226	553.926	758.166	600.344	540.160	508.396
Annual cooling energy cost (1,000 won)	36,275	27,831	24,429	22,592	31,059	24,516	22,022	20,706
Life time cooling energy cost (1,000 won)	716,964	550,076	482,848	446,528	613,874	484,561	435,271	409,260
Life cycle cost (1,000 won)	2,981,759	2,917,686	2,953,274	3,019,771	2,861,533	2,817,900	2,854,289	2,913,958
	-6℃							
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Construction cost (1,000 won)	2,219,658	2,322,474	2,425,290	2,528,106	2,202,522	2,288,202	2,373,882	2,459,562
Maintenance cost (1,000 won)	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136
Annual cooling load (MWH)	1,089.656	812.456	700.761	640.435	918.433	703.639	621.701	578.493
Annual cooling energy cost (1,000 won)	44,606	33,184	28,582	26,096	37,551	28,700	25,326	23,544
Life time cooling energy cost (1,000 won)	881,623	655,871	564,916	515,795	742,180	567,257	500,561	465,353
Life cycle cost (1,000 won)	3,146,418	3,023,481	3,035,342	3,089,038	2,989,838	2,900,595	2,919,595	2,970,052
	-15℃							
	-	100 mm	150 mm	200 mm	-	100 mm	150 mm	200 mm
Construction cost (1,000 won)	-	2,322,474	2,425,290	2,528,106	-	2,288,202	2,373,882	2,459,562
Maintenance cost (1,000 won)	-	45,136	45,136	45,136	-	45,136	45,136	45,136
Annual cooling load (MWH)	-	1,010.767	854.577	770.233	-	858.601	744.059	683.609
Annual cooling energy cost (1,000 won)	-	41,216	34,812	31,353	-	34,977	30,281	27,803
Life time cooling energy cost (1,000 won)	-	814,633	688,064	619,697	-	691,311	598,503	549,516
Life cycle cost (1,000 won)	-	3,182,243	3,158,490	3,192,939	-	3,024,649	3,017,521	3,054,215

두께에서 아이썬을 적용한 경우가 우레탄을 적용한 경우에 비해 약 7~17% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 아이썬의 열전도율이 우레탄에 비해 약 1.5배 정도 높기 때문인 것으로 판단된다. 우레탄에 대한 아이썬의 냉방 에너지비용 증가율은 단열재 두께가 두꺼워질수록 점점 감소하는 것으로 나타났다(Table 10, 11 참조).

4.4 생애비용

생애비용은 시공비용 및 생애기간 동안의 보수 교체비용, 냉방 에너지비용의 합으로 계산하였으며, 그 결과는 Table 10, 11과 같다.

4.4.1 외피구조별 생애비용 평가

철근 콘크리트 외벽 내단열에서는 아이썬, 우레탄 모두 냉동냉장실 온도가 0, -6℃인 경우 두께 100 mm(아이썬의 경우 0℃일 때 생애비용 2,917,686천원, -6℃일 때 3,023,481천원, 우레탄의 경우 0℃일 때 생애비용 2,817,900천원, -6℃

일 때 생애비용 2,900,595천원)에서 생애비용이 가장 적으며, -15℃인 경우 아이썬, 우레탄 모두 두께 150 mm(아이썬의 경우 생애비용 3,158,490천원, 우레탄의 경우 생애비용 3,017,521천원)에서 생애비용이 가장 적은 것으로 나타났다.

PC 외벽 내단열에서는 아이썬, 우레탄 모두 냉동냉장실 온도가 0, -6℃인 경우 두께 100 mm(아이썬의 경우 0℃일 때 생애비용 2,538,143천원, -6℃일 때 2,645,239천원, 우레탄의 경우 0℃일 때 생애비용 2,436,584천원, -6℃일 때 생애비용 2,519,761천원)에서 생애비용이 가장 적으며, -15℃인 경우 아이썬, 우레탄 모두 두께 150 mm(아이썬의 경우 생애비용 2,778,146천원, 우레탄의 경우 생애비용 2,635,479천원)에서 생애비용이 가장 적은 것으로 나타났다.

4.4.2 단열재료별 생애비용 평가

아이썬을 적용한 경우 단열재 두께와 냉동냉장실 온도에 관계없이 철근 콘크리트 외벽 내단열보다 PC 외벽 내단열이 생애비용에서 약 11~

Table 11 Life cycle cost (PC wall with internal insulation)

	Icynene				Urethane			
	0℃							
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Construction cost (1,000 won)	1,839,036	1,941,852	2,044,668	2,147,484	1,821,900	1,907,580	1,993,260	2,078,940
Maintenance cost (1,000 won)	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136
Annual cooling load (MWH)	896.070	681.553	597.205	552.127	762.699	599.435	538.263	506.202
Annual cooling energy cost (1,000 won)	36,780	27,885	24,388	22,520	31,250	24,481	21,945	20,616
Life time cooling energy cost (1,000 won)	726,948	551,155	482,037	445,113	617,660	483,867	433,745	407,483
Life cycle cost (1,000 won)	2,611,120	2,538,143	2,571,842	2,637,733	2,484,697	2,436,584	2,472,141	2,531,560
	-6℃							
	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm	50 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Construction cost (1,000 won)	1,839,036	1,941,852	2,044,668	2,147,484	1,821,900	1,907,580	1,993,260	2,078,940
Maintenance cost (1,000 won)	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136	45,136
Annual cooling load (MWH)	1,107.619	815.314	700.293	638.818	925.970	703.315	619.852	576.152
Annual cooling energy cost (1,000 won)	45,350	33,304	28,564	26,031	37,863	28,689	25,251	23,449
Life time cooling energy cost (1,000 won)	896,331	658,251	564,562	514,492	748,363	567,045	499,077	463,466
Life cycle cost (1,000 won)	2,780,503	2,645,239	2,654,367	2,707,112	2,615,400	2,519,761	2,537,473	2,587,543
	-15℃							
	-	100 mm	150 mm	200 mm	-	100 mm	150 mm	200 mm
Construction cost (1,000 won)	-	1,941,852	2,044,668	2,147,484	-	1,907,580	1,993,260	2,078,940
Maintenance cost (1,000 won)	-	45,136	45,136	45,136	-	45,136	45,136	45,136
Annual cooling load (MWH)	-	1,015.992	854.888	768.797	-	859.160	742.291	681.043
Annual cooling energy cost (1,000 won)	-	41,433	34,827	31,296	-	35,001	30,209	27,698
Life time cooling energy cost (1,000 won)	-	818,910	688,341	618,568	-	691,787	597,083	547,449
Life cycle cost (1,000 won)	-	2,805,898	2,778,146	2,811,188	-	2,644,504	2,635,479	2,671,525

13% 정도 더 경제적인 것으로 나타났다. 우레탄을 적용한 경우에도 PC 외벽 내단열이 생애비용에서 약 12.5~13.5% 더 경제적이었다. 그리고 냉동냉장실 온도가 낮아질수록, 단열재 두께가 두꺼워질수록 우레탄에 대한 아이센의 생애비용 증가율이 감소하는 것으로 나타났다.

외피구조, 냉동냉장실 온도, 단열재 두께가 모두 동일한 경우, 아이센과 우레탄간 생애비용 편차는 약 3.5~5%로 단열재료에 따른 생애비용은 우레탄을 적용하였을 때 더 경제적인 것으로 나타났다. 하지만 아이센의 경우는 앞의 2.1에서 기술한 것과 같이 우레탄보다 시공성이 우수하고 환경친화적이며 안전상의 장점이 있으므로 이에 대한 고려도 필요할 것이다.

5. 결 론

기존의 콘크리트 외벽 내단열 공법을 적용한 외피구조와 단열성능 개선이 가능한 PC 외벽 내단열 공법을 적용한 외피구조를 대상으로 단열재

료와 온도조건에 따른 적정 단열두께를 도출하고, 경제성을 종합 평가하고자 한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 시공비용의 경우 단열재 두께가 동일한 경우, 단열재료에 상관없이 PC 외벽 내단열이 철근 콘크리트 외벽 내단열에 비해 경제적인 것으로 나타났다. 단열재료의 경우에는 아이센이 우레탄을 적용한 경우에 비해 전체 시공비용에서 약 1~3% 정도 더 소요되는 것으로 나타났다.

(2) 시공기간의 측면에서는, PC 외벽구조가 콘크리트 외벽구조에 비해 2개월 정도의 공기를 단축할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 보수교체비용의 경우 상호간에 동일한 것으로 나타났다.

(4) 생애기간 동안의 냉방 에너지비용 측면에서는, 단열재료별 단열두께에 따라 외피구조간 우열이 달라지는 것으로 나타났다. 그리고 단열재료에 따른 생애기간 동안의 냉방 에너지비용은 동일 온도, 외피구조, 단열재 두께에서 아이센을 적용한 경우가 우레탄을 적용한 경우에 비해 약

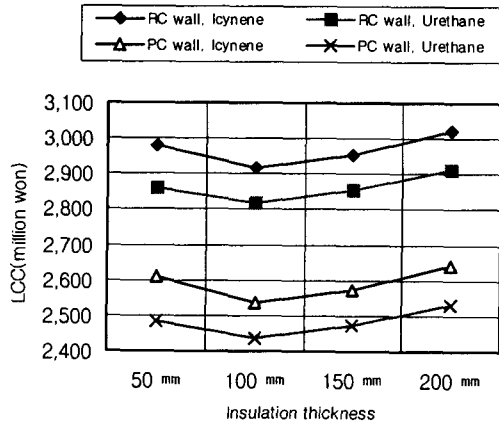


Fig. 6 Life cycle cost (0°C).

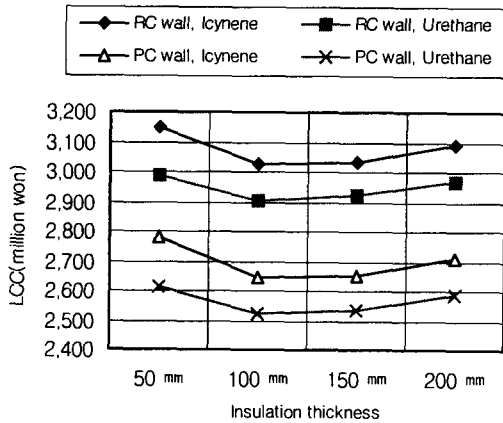


Fig. 7 Life cycle cost (-6°C).

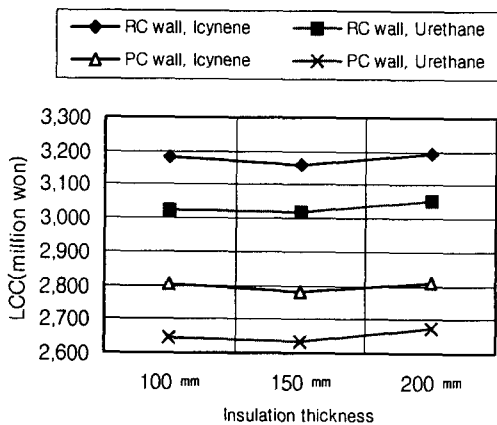


Fig. 8 Life cycle cost (-15°C).

7~17% 정도 비용이 증가하는 것으로 나타났다.
 (5) 생애비용 측면에서는, 냉동냉장실 온도조건

과 상관없이 외피구조로 PC 외벽 내단열을 적용하고 단열재료로 우레탄을 적용하는 것이 더 경제적이다. 그리고 적정 단열두께는, 외피구조 및 단열재료와 상관없이 냉동냉장실 온도조건이 0°C (C3급), -6°C (C2급)인 경우에는 100 mm, -15°C (C1급)인 경우에는 150 mm인 것으로 나타났다 (Figs. 6, 7, 8 참조). 이를 통해 모델 냉동냉장창고의 경우 외피구조로 PC 외벽 내단열을 적용하고 냉동냉장실 온도조건이 0°C (C3급), -6°C (C2급)인 경우에는 우레탄 두께 100 mm, -15°C (C1급)인 경우에는 우레탄 두께 150 mm를 적용하는 것이 가장 경제적임을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2000-000-00352-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Oh, H. K., Kim, Y. I. and Lee, S. J. translated, 1998, Cold storage warehouse, Korean Association of Air conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers.
2. Kunsan National University, 2002, The development of the new technology for the refrigerated warehouse envelope system, KOSEF mid-term report.
3. SAREK, 1996, Development of the standard computer software and weather data for cooling and heating load calculation, Ministry of Commerce, Industry and Energy.
4. Song, S. Y., Seok, H. T., Hwang, H. J. and Ahn, H. S., 2001, Economical efficiency evaluation of the cold storage warehouse with various envelope structures, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Eng., Vol. 13, No. 11, pp. 1156-1164.
5. Song, S. Y., 1998, A Study on the method for determining the optimal insulation details of thermal bridge at the joints of apartment building envelope, Ph.D thesis, Seoul National University.
6. ASHRAE, 1995, ASHRAE Handbook 1995 HVAC Applications, ASHRAE.