

냉동냉장창고 외피구조 유형별 경제성 평가

송 승 영[†], 석 호 태^{*}, 황 혜 주^{**}, 안 흥 섭^{***}

이화여자대학교 건축학과, ^{*}영남대학교 건축공학과, ^{**}목포대학교 건축조경학부, ^{***}군산대학교 건축공학과

Economical Efficiency Evaluation of the Cold Storage Warehouse with Various Envelope Structures

Seung-Yeong Song[†], Ho-Tae Seok^{*}, Hey-Zoo Hwang^{**}, Hong-Seob Ahn^{***}

Department of Architecture, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

^{*}Department of Architectural Engineering, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

^{**}Department of Architectural Engineering and Landscape Architecture, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea

^{***}Department of Architectural Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

(Received September 14, 2001; revision received October 10, 2001)

ABSTRACT: This study aims to suggest envelope structure which can improve the insulation performance of cold storage warehouse with cost effectiveness. Envelope structures are classified and economical efficiency of each type is evaluated to the model warehouse. As results, type 3 (PC wall) and 4 (sandwich panel wall) have benefits to the middle/large (lifetime of 25 years) and small (lifetime of 12~13 years) warehouse, respectively.

Key words: Cold storage warehouse(냉동냉장창고), Envelope structure(외피구조), Life cycle cost(생애비용), Economical efficiency(경제성)

기 호 설 명

- C_M : 내구연한간 보수교체비용 현재가 [원]
- C_M' : 보수교체비용 [원]
- ri : 실제 이자율
- n : 내구연한 [년]
- C_E : 내구연한간 냉방 에너지비용 현재가 [원]
- C_E' : 연간 냉방 에너지비용 [원]
- e : 가격상승률
- i : 이자율

1. 서 론

최근 물류유통구조의 선진화 및 저온 물류량 증가, 택배 서비스업의 활성화, 물류센터의 종합화 및 대형화 등으로 냉동냉장창고에 대한 필요성이 급증하고 있다. 이에 정부에서도 냉동냉장창고의 필요성을 인식, 1998년 12월 발표된 국가물류 기본계획 2차 수정계획에서 “자동, 냉동냉장창고 등 고부가가치 창고시설의 건설 유도”, “창고업에 대한 세제, 금융지원 확대”를 주요 추진대책으로 하고 있다.

냉동냉장창고는 내부 온도가 매우 낮아 외피에서의 단열성능이 무엇보다 중요하다. 그러나 국내 냉동냉장창고의 외피구조를 보면, 대부분 철근콘크리트 외벽과 내단열 공법이 적용됨으로써 외피의 각 접합부(외벽-슬라브, 외벽-내벽 접합부 등)에서 단열재가 불연속되어 열교가 발생하

[†] Corresponding author

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

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

고 있으며, 이에 대한 보완으로 층간 바닥 슬라브 단열시공 및 보호 콘크리트, 접합부 벽체의 단열보강이 필요하여 시공비용 및 기간의 증가를 초래하고 있다. 또한 열교발생 및 단열효과 저감으로 에너지비용 증가, 저장물의 품질저하 및 변질, 결로발생으로 부식발생, 단열재 흡습, 열화 등을 초래하고 있는 실정이다(이상 Table 3의 Type 1 참조).

따라서 본 연구에서는 실태조사를 통해 단열성능 개선이 가능한 냉동냉장창고 외피구조의 유형을 분류하고, 모델 냉동냉장창고를 대상으로 유형별 경제성을 종합 평가함으로써 단열성능을 효과적으로 개선할 수 있는 외피구조 유형을 제안하고자 하였다.

2. 외피구조 현황 및 유형분류

2.1 외피구조 현황

국내 각 지역의 여러 냉동냉장창고(Table 1 참조)를 대상으로 설계실태 및 외피구조 현황을 조사하였다. 조사결과 설계업무가 전문화되지 못해 전문적 기술축적이나 개선이 미흡하고, 기존 설계를 답습하는 경우가 대부분인 것으로 나타났다.

Table 1 Envelope structure

Warehouse	A	B	C
Completion year	1999	1986	2001
Location	Seoul	Yongin	Pusan
Structure	RC	RC	RC
Total area	10,554m ²	11,070m ²	24,860m ²
External wall (out->in)	· RC wall · Urethane vapour retarder · T160~170 urethane · T0.7 galbaneum	· RC wall · T2.5 sheet expanded polystyrene · T4.5 bamlite	· RC wall · Urethane vapour retarder · Urethane spray · T0.7 galbaneum
Warehouse	D	E	F
Completion year	1999	1998	1995
Location	Pusan	Yongin	Yongin
Structure	RC	RC	Steel
Total area	65,837m ²	34,161m ²	10,130m ²
External wall (out->in)	· T0.5 galbaneum · Urethane vapour retarder · Urethane spray · RC wall	· T120 spancrete(PC) · Sheet vapour retarder · T300 urethane spray · T150 extruded polystyrene	· T50 urethane sandwich panel · T250 glass wool · #20 T0.9 steel plate

다. 외피구조의 경우 대부분 철근 콘크리트(RC) 조로 시공되었으며, 외벽의 경우 철근 콘크리트 용벽·내단열이 절대 다수이나 철근 콘크리트 용벽·외단열, 스펀크리트(PC), 샌드위치패널 등으로 시공하여 접합부 열교발생을 방지할 수 있는 사례가 조사되었다(Table 1의 D, E, F 참조).

2.2 외피구조 유형분류

현황조사 결과를 바탕으로 단열성능 향상을 위해 적용 가능한 외피구조 유형을 철근 콘크리트 외벽 유무와 단열공법 및 재료에 따라 Fig. 1과 같이 분류하였다. Type 1(철근 콘크리트 외벽·내단열, Table 1의 A, B, C 및 대부분의 기존 냉동냉장창고 참조)의 경우 대부분의 기존안으로서 접합부 열교발생, 접합부 단열보강 및 층간 슬라브 단열시공 필요의 단점이 있는 반면, Type 2(철근 콘크리트 외벽·외단열, Table 1의 D 참조), Type 3(PC 외벽, Table 1의 E 참조), Type 4(샌드위치패널 외벽, Table 1의 F 참조)의 경우 이와 같은 단점이 없다.

한편 Type 2의 경우 냉동냉장실 부분 전체를 외단열해야 하므로, 효과적 단열을 위해서는 냉동냉장실 통과 복도·사무실 등 간의 건물분리가 필요하며, 보관물품의 요구온도에 따른 층간 단열조닝 혹은 층내 단열조닝이 필요할 경우 벽-바닥 접합부에서 열교가 발생할 수도 있다. Type 3의 경우에는 중량 패널을 결속하기 위한 구조용 단열 앵커의 적용이 필요하다. Type 4는 화재안전성을 위한 난연성 단열재 적용이 필수적이며, 중량재료가 없어 시공성이 좋으나 구조안전성, 내구성에서는 불리하다.

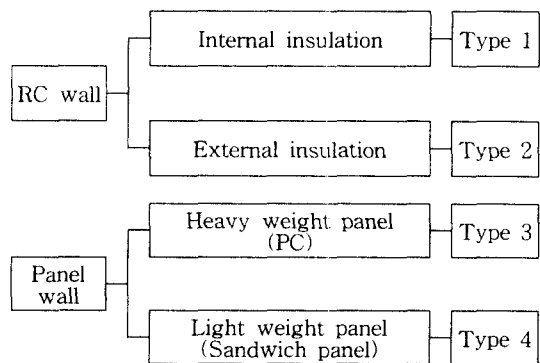
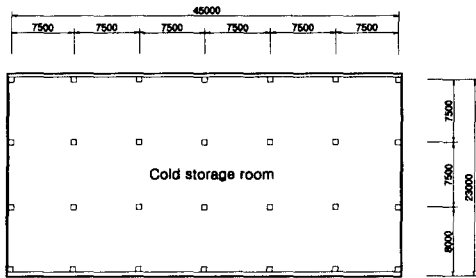


Fig. 1 Classification of envelope structure.

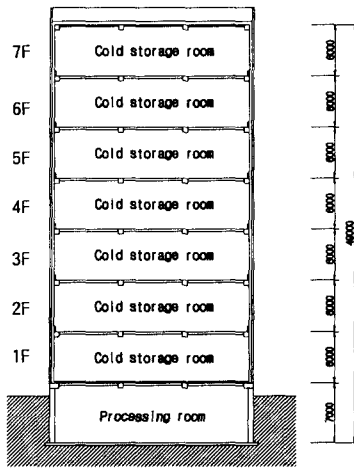
3. 평가 프로세스 및 모델 냉동냉장창고

3.1 경제성 평가 프로세스

외피구조 유형별 경제성 평가를 위해 모델 냉동냉장창고를 작성하였다. 모델 냉동냉장창고는 평, 단면 형태가 냉동냉장창고의 일반적 전형이라고 판단되는 A 냉동냉장창고(Table 1 참조)를 모델로 냉동냉장실 부분^{주1)}에 대해 평, 단면도를



(a) Typical floor plan



(b) Section

Fig. 2 Model cold storage warehouse.

Table 2 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	Volume(m ³)	43,470
	Storage(ton)	10,000
	Temperature(°C)	-23 ~ -17

작성한 후, 유형별 부위별로 상세 외피구조를 작성하였다. 작성된 모델 냉동냉장창고의 재료 및 단면 치수에 근거하여 시공비용과 기간, 보수교체 비용, 에너지비용, 생애비용을 산정, 평가하였다.

3.2 모델 냉동냉장창고

모델 냉동냉장창고의 평, 단면도는 Fig. 2와 같고, 건물 개요는 Table 2와 같다. 유형별 부위별 상세 외피구조는 Table 3에 나타내었다. 유형별 부위별 상세 외피구조에서 단열재 종류 및 나머지 재료의 종류, 두께는 기존 냉동냉장창고 사례를 기준으로 작성하였다. 단열재 두께의 경우 유형별, 부위(냉동냉장실 부분 외벽, 지붕, 바닥)별로 외피 열관류율을 일정하게 해주기 위해 조절하였다.^{주2)} 따라서 경제성 평가의 주안점은 각 유형별 외피구조가 일정한 단열성능을 가질 때 소요되는 시공, 보수 관련 비용이라고 할 수 있다.

4. 경제성 평가

4.1 시공비용

4.1.1 산정 개요

각 유형별로 물량 산출후 단가와 곱하여 시공비용을 산정하였다. 단가 산정에 있어, PC와 샌드위치패널은 G시공사의 시공자료¹⁾를, 우레탄 폼칠 및 폼핑, 퍼라이트 폼칠, 갈바늄은 건설자재연구소의 자료¹⁾를, 이외의 단가는 한국 물가협회의 건설공사 일위대가¹⁾를 기준으로 하였다.

4.1.2 자재별 단가

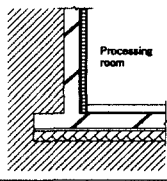
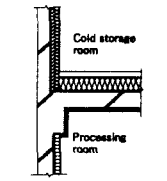
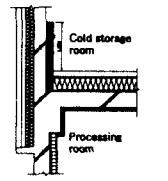
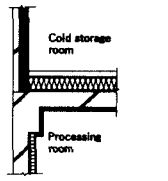
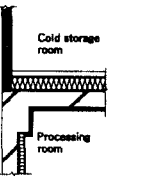
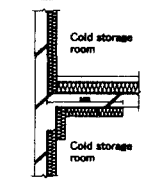
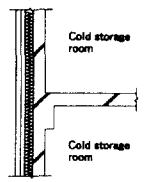
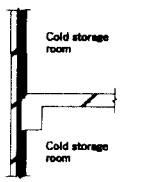
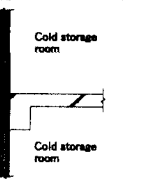
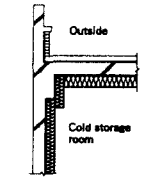
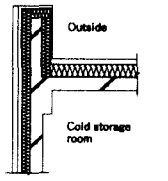
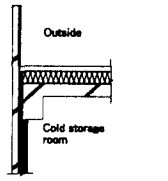
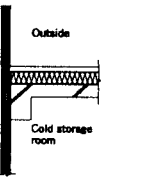
시공비용 산정에 적용된 각 자재별 단가(재료비 및 시공비 포함)는 다음과 같다.

- 철근콘크리트 벽41,555원/m², 슬라브444,290원/m³
- PC 60,700원/m²
- 샌드위치패널 27,300원/m²
- 압출스치로폴 벽7,855원/m², 슬라브8,815원/m²
- 우레탄 폼핑 200,000원/m³

주1) 성능 평가시 냉동냉장실 이외의 부분(복도, 사무실 등)은 의미가 없으므로 제외함.

주2) 보드형 단열재의 경우 기성품 치수 적용으로 유형별 부위별 열관류율이 동일하지는 않음.(유형별 부위별 열관류율은 Table 3 참조)

Table 3 Detailed envelope structure

Floor	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4															
B1		The same as left	The same as left	The same as left															
	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab</th> </tr> <tr> <td>RC(300) Cement water proof(-) Mortar(18) 0.5B brick(90) Mortar(18) Epoxy paint(-)</td> <td>Epoxy paint(-) Concrete(150) Cement water proof(-) RC(300) Concrete(50) Rubble(200)</td> </tr> </table>				Wall	Slab	RC(300) Cement water proof(-) Mortar(18) 0.5B brick(90) Mortar(18) Epoxy paint(-)	Epoxy paint(-) Concrete(150) Cement water proof(-) RC(300) Concrete(50) Rubble(200)											
Wall	Slab																		
RC(300) Cement water proof(-) Mortar(18) 0.5B brick(90) Mortar(18) Epoxy paint(-)	Epoxy paint(-) Concrete(150) Cement water proof(-) RC(300) Concrete(50) Rubble(200)																		
1st floor																			
	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.0848)</th> </tr> <tr> <td>RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.0848)	RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.0848)</th> </tr> <tr> <td>Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230) Sheet(-) Urethane(120) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.0848)	Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230) Sheet(-) Urethane(120) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.0848)</th> </tr> <tr> <td>Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.0848)	Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.0848)</th> </tr> <tr> <td>Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.0848)	Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)
Wall	Slab(0.0848)																		
RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)																		
Wall	Slab(0.0848)																		
Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230) Sheet(-) Urethane(120) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)																		
Wall	Slab(0.0848)																		
Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)																		
Wall	Slab(0.0848)																		
Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(250) Sheet(-) RC(300) Urethane(70) Perlite(5)																		
Typ. floor																			
	<table border="1"> <tr> <th>Wall(0.1494)</th> <th>Slab</th> </tr> <tr> <td>RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(200) Sheet(-) RC(250) Sheet(-) Urethane(170) Galbaneum(0.5)</td> </tr> </table>	Wall(0.1494)	Slab	RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(200) Sheet(-) RC(250) Sheet(-) Urethane(170) Galbaneum(0.5)	<table border="1"> <tr> <th>Wall(0.1500)</th> <th>Slab</th> </tr> <tr> <td>Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230)</td> <td>RC(250)</td> </tr> </table>	Wall(0.1500)	Slab	Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230)	RC(250)	<table border="1"> <tr> <th>Wall(0.1477)</th> <th>Slab</th> </tr> <tr> <td>Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)</td> <td>RC(250)</td> </tr> </table>	Wall(0.1477)	Slab	Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)	RC(250)	<table border="1"> <tr> <th>Wall(0.1491)</th> <th>Slab</th> </tr> <tr> <td>Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)</td> <td>RC(250)</td> </tr> </table>	Wall(0.1491)	Slab	Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)
Wall(0.1494)	Slab																		
RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet(-) Extruded polystyrene(200) Sheet(-) RC(250) Sheet(-) Urethane(170) Galbaneum(0.5)																		
Wall(0.1500)	Slab																		
Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230)	RC(250)																		
Wall(0.1477)	Slab																		
Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)	RC(250)																		
Wall(0.1491)	Slab																		
Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)	RC(250)																		
7th floor																			
	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.1150)</th> </tr> <tr> <td>RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet water proof(-) Urethane(220) Galbaneum(0.5)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.1150)	RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet water proof(-) Urethane(220) Galbaneum(0.5)	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.1101)</th> </tr> <tr> <td>Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230)</td> <td>Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.1101)	Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230)	Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.1101)</th> </tr> <tr> <td>Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.1101)	Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)	<table border="1"> <tr> <th>Wall</th> <th>Slab(0.1101)</th> </tr> <tr> <td>Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)</td> <td>Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)</td> </tr> </table>	Wall	Slab(0.1101)	Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)
Wall	Slab(0.1150)																		
RC(230) DP coat vapour retarder(-) Urethane(170) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet water proof(-) Urethane(220) Galbaneum(0.5)																		
Wall	Slab(0.1101)																		
Galbaneum(0.5) C channel(100) □ bar(75) Urethane(165) RC(230)	Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)																		
Wall	Slab(0.1101)																		
Spancrete PC(120) Sheet(-) Urethane(60) Extruded polystyrene(100) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)																		
Wall	Slab(0.1101)																		
Extruded polystyrene sandwich panel(126) Urethane(60) Galbaneum(0.8)	Concrete(100) Sheet water proof(-) Extruded polystyrene(250) RC(250)																		

<Remark> Material listing order : outside => inside(wall), upper => lower(slab)
 Numeric value in parentheses next to material means thickness.(mm)
 Numeric value in parentheses next to wall, slab means overall heat transfer coefficient.(W/m²°C)

- 우레탄 뿔칠 15,000원/m²
- 펄라이트뿔칠 9,000원/m²
- 밀창콘크리트 8,902원/m³(50~100m³, slump18)
- 누름콘크리트 5,745원/m²
- 무근콘크리트 12,197원/m³
- 잡 석 다 짐 20,616원/m³
- 시멘트 벽돌 207,076원/1000매(표준형 75매/m²)
- 시멘트 몰탈 12,747원/m²
- 액 체 방 수 13,050원/kg(액방 1종, 1m²/kg)
- 에폭시페인트 4,500원/kg(1kg/m²)
- 방 습 층 벽511원/m², 슬라브413원/m²
- 시 트 11,046원/m²
- 갈 바 늬 15,000원/m²
- 채 널, 형 강 27,311원/m²

4.1.3 시공비용

시공비용은 샌드위치패널을 적용한 Type 4가 가장 적게 소요되고, Type 3, 2, 1의 순으로 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 Type 2, 3, 4 모두 대부분의 기존 냉동냉장창고에 적용되고 있는 Type 1에 비해 시공비용이 적게 나타나 시공비용 측면에서 경제적 이점이 있음을 알 수 있다. (이상 Table 9 참조)

4.2 시공기간

4.2.1 산정 개요

시공기간 산정을 위한 기준, 방법 등은 다음과 같다.

- 여유 및 휴가일수를 감안한 작업가능기간 산정
- 냉매배관 공정은 배관용접 13일, 보온 7일, 예냉 7일, 냉매충진/시험 3일의 총 30일로 산정
- 3개층 골조 공정후 후속 공정(냉매배관 공정) 시작하는 것으로 산정
- 배관 공정시 용접 불티 등의 단열재 인화로 인한 화재발생 방지 위해 단열 공정 이후는 용접을 금하는 것으로 하고, 배관 공정은 단열 공정 이전에 완료하는 것으로 산정
- 냉매배관의 기밀시험 이후 배관단열 공정 시작으로 산정
- 기밀시험은 가스안전공사 검사시험으로 전구간 동시에 실시하는 것으로 하고, 준비 1일, 체크 3일, 마무리 1일의 총 5일로 산정
- 지붕 방수 단열 이후 내부 단열 착수로 산정

4.2.2 각부 공정

골조(전체 Type) 및 외단열(Type 2), PC(Type 3), 샌드위치패널(Type 4), 단열(전체 Type), 시운전(전체 Type) 등 각부 공정별 구체적 시공기간 산정 기준, 방법 등은 다음과 같다.

(1) 골조 공정

- 네트워크로 작업일수 기준의 1cycle 공정 수립
- 웅벽있는 골조공사의 순 작업일수 20일/층, 웅벽없는 골조공사의 순 작업일수 13일/층에 여유율 1.5 적용하여 웅벽있는 골조공사는 30일/층, 웅벽없는 골조공사는 20일/층으로 산정

(2) 외단열 공정

- 앵커설치 공정은 골조 공정시 이루어짐
- 외부 우레탄 스프레이는 작업 용이성 및 연속성 반영하여 작업일수 15일/층으로 산정
- 외부 갈바늬 마감 공정은 앵커, 철물설치 공정 제외되므로 작업일수 5일/층으로 산정

(3) PC 공정

- PC 7개/span, 3span/일 설치(20개/일)로 산정
- 층당 18span, 작업일수는 여유 감안하여 7일/층으로 산정
- 총 시공기간 7일/층×7층=50일로 산정

(4) 샌드위치패널 공정

- 1일 설치갯수 40개, 작업일수는 여유 감안하여 4일/층으로 산정
- 총 시공기간 4일/층×7층=30일로 산정

(5) 우레탄 단열공정

- 우레탄 스프레이는 실제 공사현황 조사 결과 반영하여 작업일수 30일/층으로 산정
- 우레탄 펌핑은 준비 1일, 펌핑 7일, 검사 1일, 마무리 및 철수 1일의 총 10일로 산정

(6) 시운전

- 실제 공사현황 조사 결과 반영하여 70일로 산정

4.2.3 시공기간

시공기간은 Type 1, 2가 17개월, Type 3, 4가 15개월로 나타났다. 철근콘크리트 외벽 공정이 없는 Type 3, 4의 경우 Type 1, 2에 비해 2개월의 시공기간 단축이 가능하다. 한편 철근 콘크리트 외벽을 적용할 경우에는 내단열(Type 1) 혹은 외단열(Type 2)의 단열공법 종류에 상관없이 시공기간에 차이가 없으며, PC(Type 3)와 샌드위치패널(Type 4) 간에도 시공기간에서는 차이가 없는 것으로 나타났다.(이상 Table 9 참조)

4.3 보수교체비용

4.3.1 산정 개요

보수교체비용 산정을 위한 기준, 방법 등은 다음과 같다.

- 냉동냉장창고의 내구연한은 법인세법 시행규칙에 의거 25년으로 산정¹⁾
- 단가는 시공비용 산정시와 동일하게 적용
- Type 1, 2, 3의 경우 내구연한동안 구체 보수교체는 없으며, 외부 도장(수성페인트)만을 보수하는 것으로 하고, 도장 보수주기는 5년으로 산정(총 4회의 보수 필요)
- Type 4의 경우 샌드위치패널의 내구연한은 12~13년(정기적 보수 없는 경우)^{2,3)}이므로 냉동냉장창고 내구연한동안 1회의 전면적 보수교체 필요한 것으로 산정(보수교체로 인한 영업손실은 제외)
- 보수교체비용 계산시 실제이자율은 이자율 7.5%(2001년 상반기 3년만기 우량사채 이자율 평균), 가격상승율 5.5%(정부정책 전망)에 근거 2%를 적용하였으며 식(1)로 계산¹⁾

$$C_M = \frac{C_M}{(1 + r)^n} \quad (1)$$

4.3.2 보수교체비용

보수교체비용은 Type 1, 2, 3이 45백만원, Type 4가 1,270백만원으로 나타났다. Type 4의 경우 보수교체시 영업손실까지 발생하므로 이로 인한 비용까지를 고려하면 보수교체 관련 비용은 더 증가할 것으로 판단된다.(이상 Table 9 참조)

4.4 에너지비용

4.4.1 산정 개요

에너지비용 산정을 위해 DOE2.1E 프로그램을 이용, 연간 에너지해석 시뮬레이션을 실시하였다. 이를 통해 각 존(지하 1층 가공처리실, 1~7층 냉동냉장실)별 연간 부하량을 산출한 후, 냉동냉장실 존의 연간 냉방부하량에 대한 연간 냉방 에너지비용 및 내구연한 동안의 냉방 에너지비용을 산출하였다. 시뮬레이션 모델 및 조건, 에너지비

주3) 샌드위치패널 생산업체(K사) 내부 자료 및 실제 건물관리 자료에 의한 것임.

용 산정을 위한 구체적 기준, 방법 등은 다음과 같다.

(1) 시뮬레이션 모델 및 조건

- 층별 존 및 조건은 Table 4와 같이 적용⁴⁾
- 재료 물성치는 Table 5와 같이 적용^{2,6)}
- 내부발열 밀도 및 스케줄은 기존 냉동냉장창고 도면 및 현장조사 결과와 관련 자료를 근거로 Table 6, 7과 같이 적용
- 서울 지역의 기상과일 적용

Table 4 Zone description

Floor	Plan	Use	Temperature (°C)	Air change rate
B1		Processing room	23	0
1~6		Cold storage room	-17.8	0
7		Cold storage room	-17.8	0

Table 5 Material properties

Material	Thermal conductivity (W/m°C)	Density (kg/m³)	Specific heat (J/kg°C)
Reinforced, un-reinforced concrete	1.3103	2242.58	836.77
PC	0.1299	480.55	836.77
Rubble	2.79	2630.00	775.00
Extruded polystyrene	0.0290	56.00	1220.00
Urethane	0.0267	24.03	1589.86
Perlite	0.0485	93.00	1090.00
Brick	0.7207	1922.22	836.77
Mortar	0.7207	1858.14	836.77
Galbaneum	45.30	7830.00	500.00
Air layer	Thermal resistance 0.1619m²°C/W		

주4) 설정온도의 경우 가공처리실은 작업·거주공간으로 간주, 일반적으로 적용되는 냉난방 설정온도(냉방 26°C, 난방 20°C) 평균인 23°C를 적용함. 냉동냉장실은 DOE2.1E의 설정온도 하한인 -17.8°C(0.0°F)를 적용함. 시간당 환기횟수의 경우 냉동냉장실에는 원래 창을 두지 않고, 침기에 의한 영향 배제하고 외피구조만에 의한 유형별 성능평가를 위해 모든 존에서 0으로 함.

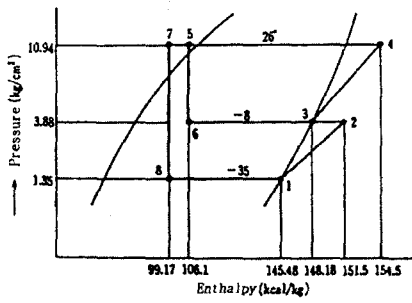


Fig. 3 R-22 refrigerant cycle.

Table 6 Internal load density

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

Table 7 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	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	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	0.05	0.05	0	0	0	0
	Lighting	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	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	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	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
	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	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	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

Table 8 Annual cooling load and cost

Unit price(W/kWh)/Month		Type 1			Type 2			Type 3			Type 4		
		Load (MWH)	Elec. use (kWH)	Elec. cost (₩)	Load (MWH)	Elec. use (kWH)	Elec. cost (₩)	Load (MWH)	Elec. use (kWH)	Elec. cost (₩)	Load (MWH)	Elec. use (kWH)	Elec. cost (₩)
57.1	7	72.222	62099.740	3,545,895	71.615	61577.814	3,516,093	71.374	61370.591	3,504,261	70.129	60300.084	3,443,135
	8	74.443	64009.456	3,654,940	73.741	63405.845	3,620,474	73.526	63220.978	3,609,918	72.206	62085.983	3,545,110
	4	60.274	51826.310	2,238,897	59.834	51447.978	2,222,553	59.680	51315.562	2,216,832	58.843	50595.871	2,185,742
43.2	5	68.330	58753.223	2,538,139	67.344	57905.415	2,501,514	67.448	57994.839	2,505,377	66.409	57101.460	2,466,783
	6	69.733	59959.585	2,590,254	68.992	59322.440	2,562,729	68.951	59287.186	2,561,206	67.813	58308.683	2,518,935
	9	68.133	58583.833	2,530,822	67.545	58078.244	2,508,980	67.222	57800.514	2,496,982	66.035	56779.878	2,452,891
46.3	10	65.445	56272.569	2,605,420	64.700	55631.984	2,575,761	64.534	55489.250	2,569,152	63.487	54588.992	2,527,470
	11	58.191	50035.252	2,316,632	57.778	49680.136	2,300,190	57.531	49467.754	2,290,357	56.722	48772.139	2,258,150
	12	53.085	45644.882	2,113,358	52.872	45461.735	2,104,878	52.730	45339.637	2,099,225	52.186	44871.882	2,077,568
	1	52.621	45245.914	2,094,886	51.851	44583.833	2,064,231	52.074	44775.579	2,073,109	51.547	44322.441	2,052,129
	2	48.822	41979.362	1,943,644	48.408	41623.386	1,927,163	48.395	41612.208	1,926,645	47.895	41182.286	1,906,740
	3	60.127	51699.912	2,393,706	59.387	51063.627	2,364,246	59.507	51166.808	2,369,023	58.757	50521.924	2,339,165
Total		751.421	646105.740	30,566,593	744.069	639784.158	30,268,813	742.973	638841.768	30,222,089	732.067	629464.296	29,773,817
Variation		0.0%			-1.0%			-1.1%			-2.6%		

(2) 에너지비용

- 냉동냉장실 연간 냉방부하량에 대한 냉동장치 전력사용량을 구하고 이를 전력사용량 요금으로 환산하여 연간 냉방 에너지비용 계산
- 기존 연구⁷⁾에 따르면, 냉동냉장창고에서 R-22 냉매를 사용하는 냉동장치가 Fig. 3과 같은 사이클(연간 평균 사이클)로 운전될 경우 부하량 3,320kcal(3.86116E-03MWH)에 대해 3.32kWH의 전력이 사용되는 것으로 나타났으며, 이를 적용하여 냉동냉장실 연간 냉방부하량에 대한 전력사용량 계산^{주5)}
- 전력사용량에 대한 요금은 현재 국내에 적용되고 있는 전력요금 체계중 산업용 전력(갑), 선택요금1, 고압A(7, 8월 57.1원/kWH, 4~6, 9월 43.2원/kWH, 10~3월 46.3원/kWH)를 적용하여 계산^{주6)}(이상 Table 8 참조)

Table 9 Evaluation results

Item	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	
Const- ruction cost	Cost(1000won)	2,202,522	1,877,627	1,849,632	1,611,064
	Variation(%)	0.0	-14.8	-16.0	-26.9
Main- tenance cost	Cost(1000won)	45,136	45,136	45,136	1,270,313
	Variation(%)	0.0	0.0	0.0	+2714.4
Energy cost (lifetime)	Cost(1000won)	604,136	598,251	597,328	588,468
	Variation(%)	0.0	-1.0	1.1	-2.6
Life cycle cost	Cost(1000won)	2,851,794	2,521,014	2,492,096	3,469,845
	Variation(%)	0.0	-11.6	-12.6	+21.7
Const- ruction period	Period(day/ month)	515/17	515/17	453/15	453/15
	Variation(%)	0.0	0.0	-12.0	-12.0
Grade total (Life cycle cost is excluded.)	☆☆☆☆	★★	★★ ☆☆☆☆	★★ ☆☆☆☆	

<Remark> Grade ☆☆☆☆ : 1st, ☆☆☆ : 2nd
☆☆ : 3rd, ☆ : 4th, ★ = ☆☆☆☆☆

· 내구연한 동안의 냉방 에너지비용은 내구연한 25년, 이자율 7.5%(이상 4.3.1 보수교체 비용 산정 개요 참조), 가격상승율 5.5%(1991.6.1~1999.11.1 동안 산업용 전력요금 평균 인상율)를 적용하여 식(2)로 계산¹⁾

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

4.4.2 에너지비용

내구연한동안의 냉방 에너지비용은 샌드위치패널을 적용한 Type 4가 가장 유리하며, Type 3, 2, 1의 순으로 증가하는 것으로 나타났다. Type 4는 Type 1에 비해 외벽의 열관류율 0.2% 감소로 에너지비용이 2.6% 감소되며, Type 2는 Type 1에 비해 외벽의 열관류율 0.4% 크나 에너지비용이 1.0% 감소되어 에너지성능 향상 효율이 우수함을 알 수 있다. Type 3의 경우 Type 1에 비

주5) 여기에 적용된 부하량(space load)에 대한 전력사용량은 특정 조건을 가정한 약산법에 의한 개략적 추정치이며 정확한 계산치가 아님. DOE2.1E 프로그램에서 부하량에 대한 전력사용량 산출 위해서는 system, plant 시뮬레이션 필요하나, 프로그램의 제약으로 인해 system 이하 시뮬레이션이 실시되지 못하였음.

주6) 에너지경제연구원 에너지통계정보시스템, 현행 전기요금표(http://her.keei.re.kr:3081/procom2/e_a8.htm)

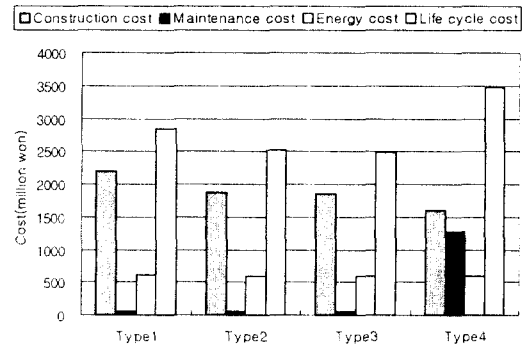


Fig. 4 Cost summary.

해 외벽의 열관류율 1.1% 감소로 에너지비용이 1.1% 감소되어 Type 4, 2에 비해서는 에너지성능 향상 효율이 크지 않음을 알 수 있다.(이상 Table 3, 9 참조)

4.5 생애비용

외피구조 유형별 생애비용은 시공비용, 내구연한동안의 보수교체비용 및 냉방 에너지비용을 합하여 계산하였다. 계산 결과 Type 3이 가장 적고 Type 2, 1, 4의 순으로 증가하는 것으로 나타났다. Type 4의 생애비용이 큰 이유는 보수교체 비용 때문이고, 이를 제외한 여타 측면에서 경제적 이점이 크므로 내구연한이 짧은(12~13년 이내) 소규모 창고에 적용하면 유리할 것으로 판단된다.

아래 Fig. 4는 이상의 평가결과를 그래프로 나타낸 것이다.

5. 결론

단열성능 개선이 가능한 냉동냉장창고 외피구조의 유형을 분류하고, 유형별 경제성을 종합 평가함으로써, 단열성능을 효과적으로 개선할 수 있는 외피구조 유형을 제안하고자 한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 시공비용 측면에서는 Type 4(샌드위치패널 외벽)가, 시공기간 측면에서는 Type 3(PC 외벽), 4(샌드위치패널 외벽)가, 보수교체 비용 측면에서는 Type 4(샌드위치패널 외벽)를 제외한 나머지 Type이 가장 우수한 것으로 나타났다.

(2) 에너지비용 측면에서는 모델 냉동냉장창고 작성시 외피 열관류율을 일정하게 조절하여 유형 간 큰 차이는 없으나 Type 4(샌드위치패널 외벽)가 가장 우수하며, 에너지비용 절감 효율 측면에서는 Type 4(샌드위치패널 외벽), 2(콘크리트외벽·외단열)가 Type 3(PC 외벽)에 비해 우수한 것으로 나타났다.

(3) 최종적인 생애비용 측면에서는 Type 3(PC 외벽)이 가장 우수한 것으로 나타나, 내구연한 25년 내외의 중대규모 냉동냉장창고에 적합한 경제적인 외피구조인 것으로 판단된다. 한편 Type 4(샌드위치패널 외벽)의 경우 보수교체 비용을 제외한 여타 측면에서 경제적 이점이 크므로 내구연한이 짧은(12~13년 이내) 소규모 냉동냉장창고에 적용하면 유리할 것으로 판단된다.

(4) Type 2(콘크리트 외벽·외단열), 3(PC 외벽), 4(샌드위치패널 외벽)의 경우 대부분의 기준안인 Type 1(콘크리트 외벽·내단열)에 비해 여러 가지 이점을 지니고 있으며 추가적인 성능 향상이 가능할 것으로 판단되므로 각 유형 자체에 대한 개선 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

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

참고문헌

1. Ahn, H. S., Lee, Y. W., Song, J. K., Seok, H. T., Hwang, H. J. and Song, S. Y., 2001, The development of the new technology for the refrigerated warehouse envelopment system, KOSEF report.
2. 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, p.182.
3. Song, S. Y., Bak, S. N. and Lee, Y. H., 2000, Energy performance evaluation of the refrigerated warehouse envelope system, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 16, No. 9, p. 185.
4. Lee, J. S., Lee, J. H. and Lee, T. S. translated, 1992, Heat transfer, Heuijoongdang, p. 715.
5. ASHRAE, 1993, ASHRAE handbook 1993 fundamentals, ASHRAE, p. 22.6.
6. Birdsall, B. E., Buhl, W. F., Ellington, K. L., Erdem, A. E. and Winkelmann, F. C., 1994, DOE-2 basics ver. 2.1E, LBL, pp. D.1-D.9.
7. Oh, H. K., Kim, Y. I. and Lee, S. J. translated, 1998, Cold storage warehouse, Korean Association of Air conditioning, Refrigerating and Sanitary Engineers, pp. 173-178.