

단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임 개발(II)

스마트/에코팀
황우진 차장



Abstract

본고에서는 단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임 개발(I) 연구과제 이후 후속 연구 및 2019년 수행중인 단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임 개발(II)에 대한 주요 성과 및 검토에 대한 결과를 보여주고자 하였다. 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 제작된 시료의 실물 실험 열관류율과 시뮬레이션 예측 값은 약 0.7% 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 기밀성능이 확보된 커튼월 Fix 창 열관류율 성능은 시뮬레이션으로 충분히 예측이 가능한 것으로 판단된다.

2) 삼중유리를 적용하여 커튼월 열관류율 1.3 W/m²K 이하를 만족하는 유리사양 및 Cavity 조합은 다양하게 구성될 수 있다. 따라서 설계되는 프레임과 다양한 삼중유리를 조합하여 제작성, 단가, 성능안정성 등을 고려하여 최적의 삼중유리 조합을 찾아야 할 것으로 판단된다.

3) 고사양 싱글로이와 12mm Cavity 구조의 42mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 2.578 W/m²K 로 분석되었지만, 전체 열관류율(U-window)은 1.328 W/m²K 로 기준을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

4) 고사양 싱글로이와 16mm 최적의 아르곤 Cavity의 42mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 2.560 W/m²K 로 분석되었고, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 1.251 W/m²로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

5) Low-e유리 사양을 향상시킨 42mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 2.559 W/m²K 로 분석되었고, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 1.267 W/m²K로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

6) 고사양 싱글로이와 삼중유리 제작효율을 고려한 Cavity 조합의 46mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 2.551 W/m²K 로 분석되었고, 유리의 열관류율(U-glazing)은 1.002 W/m²K, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 1.244 W/m²K로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

1 서론

2016년 1월 1일부로 개정된 건축물의 에너지절약 설계기준은 건축물의 부위별 단열성능을 약 25~30% 상향 조정되었고, 특히 일반건축물(공동주택 외)의 창 및 문의 열관류율은 기존 2.1 W/m²K 이하에서 1.5 W/m²K이하로 강화되었다. 이에 법규 기준을 만족하는 커튼월 시스템을 개발하여 시장변화에서 원가경쟁력을 확보하고 독자적인 프레임 설계 기술을 보유하고자 단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임 개발을 착수하였다.

개발 주요 결과는 다음과 같다.

1) 프레임 열관류율 3.0 W/m²K 이하를 만족하는 디테일을 구현하기 위해서 크게 두 가지 요소 기술이 적용이 되었다. 첫 번째 요소 기술은 열교차단재인 Polyamide 적용 시 발생하는 공간에서의 열전달을 차단하는 기술이다. 두 번째 요소 기술은 Vent창 유리 하부에 유리를 지지하는 부위를 기존 알루미늄 프로파일의 단일재료 구조에서

Polyamide와 결합하여 구성함으로써 외기에 직접 면하는 부위에서의 열전달을 최소화하는 구조로 변경하였다. 본 기술을 적용하였을 경우, Fix기준으로 프레임 열관류율이 약 13%의 성능이 향상되었고, Vent기준으로는 약 24%의 성능이 향상되었다.

2) 개발된 커튼월 시스템의 시뮬레이션 결과를 보면, Fix 타입은 커튼월 시스템 열관류율 1.410~1.472 W/m²·K로 분석되었고, Fix+Vent 타입은 커튼월 시스템 열관류율 1.438~1.482 W/m²·K로 분석되어 상향된 법규 기준 1.5 W/m²·K 이하를 충족하는 것으로 나타났다.

이후, 건축물의 에너지절약 설계기준은 더욱 상향되었으며, 현행(2018.9.1. 시행) 법규는 지역구분도 기존의 중부지역도 중부1지역, 중부2지역으로 세분화 되어 운영되고 있다. 공동주택 외의 창외의 기준(외기에 직접 면하는 경우)은

기존 중부지역 1.5 W/m²·K이하에서 중부1지역이 1.3 W/m²·K이하, 중부2지역이 1.5 W/m²·K이하로 중부1지역은 약 15% 단열성능이 향상되었다. [표 1]과 [표 2]는 건축물의 에너지절약 설계기준에서 창 및 문의 열관류율을 나타낸다.

이에 상향된 법규기준(1.3 W/m²·K이하) 기준을 만족하는 커튼월 구성에 대해 검토하고 구현 가능한 프레임에 대한 개발에 착수하였다. 또한 1차 연구에서 시뮬레이션을 통해 검토된 프레임을 실물 제작하고 열관류율 시험을 통해서 실용화를 추진하였다.

본고에서는 1차 연구과제 이후 후속 연구 및 2019년 수행 중인 단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임 개발(Ⅱ)에 대한 주요 성과 및 검토에 대한 결과를 보여주하고자 한다.

[표 1] 2016.1.1. 시행 건축물의 에너지절약 설계기준 창 및 문 열관류율

구분			중부지역 ¹⁾	남부지역 ²⁾	제주도
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	1.200 이하	1.400 이하	2.000 이하
		공동주택 외	1.500 이하	1.800 이하	2.400 이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	1.600 이하	1.800 이하	2.500 이하
		공동주택 외	1.900 이하	2.200 이하	3.000 이하

1) 중부지역 : 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도(영동군 제외), 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)
 2) 남부지역 : 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 충청북도(영동군), 충청남도(천안시 제외), 전라북도, 전라남도, 경상북도(청송군 제외), 경상남도, 세종특별자치시

[표 2] 2018.9.1. 시행 건축물의 에너지절약 설계기준 창 및 문 열관류율

구분				중부1지역 ¹⁾	중부2지역 ²⁾	남부지역 ³⁾	제주도
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택		0.900 이하	1.000 이하	1.200 이하	1.600 이하
		공동주택 외	창	1.300 이하	1.500 이하	1.800 이하	2.200 이하
			문	1.500 이하			
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택		1.300 이하	1.500 이하	1.700 이하	2.000 이하
		공동주택 외	창	1.600 이하	1.900 이하	2.200 이하	2.800 이하
			문	1.900 이하			

1) 중부1지역 : 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척 제외), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주), 충청북도(제천), 경상북도(봉화, 청송)
 2) 중부2지역 : 서울특별시, 대전광역시, 세종특별자치시, 인천광역시, 강원도(고성, 속초, 양양, 강릉, 동해, 삼척), 경기도(연천, 포천, 가평, 남양주, 의정부, 양주, 동두천, 파주 제외), 충청북도(제천 제외), 충청남도, 경상북도(봉화, 청송, 울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산 제외), 전라북도, 경상남도(거창, 함양)
 3) 남부지역 : 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시, 전라남도, 경상북도(울진, 영덕, 포항, 경주, 청도, 경산), 경상남도(거창, 함양 제외)

2 1차 연구 개발제품 시제품 제작 및 성능평가

2.1 평가 제품

1차 연구를 통해 개발이 완료된 커튼월 시스템은 열교차 단제의 종류에 따라서 Polyamide 타입과 Azon 타입으로 구분하였으며, 프레임의 구성에 따라 Cap 타입, 2-side 타입, 4-side hidden 타입으로 구분하였으며, 각각의 타입에 대해서는 Fix와 Fix+Vent 구분하였다. 또한, 기준 열관류율 $1.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ 를 만족하기 적용된 유리의 사양은 Fix 타입에는 28mm Low-e 복층유리의 열관류율을 $1.207 \text{ W/m}^2\text{K}$ 수준으로 하여 유리사양의 범위를 극대화 하였으며, Fix+Vent 타입에는 28mm Low-e 복층유리의 열관류율을 $1.055 \text{ W/m}^2\text{K}$ 수준으로 하여 유리의 성능을 최대로 하여 성능을 만족하였다.

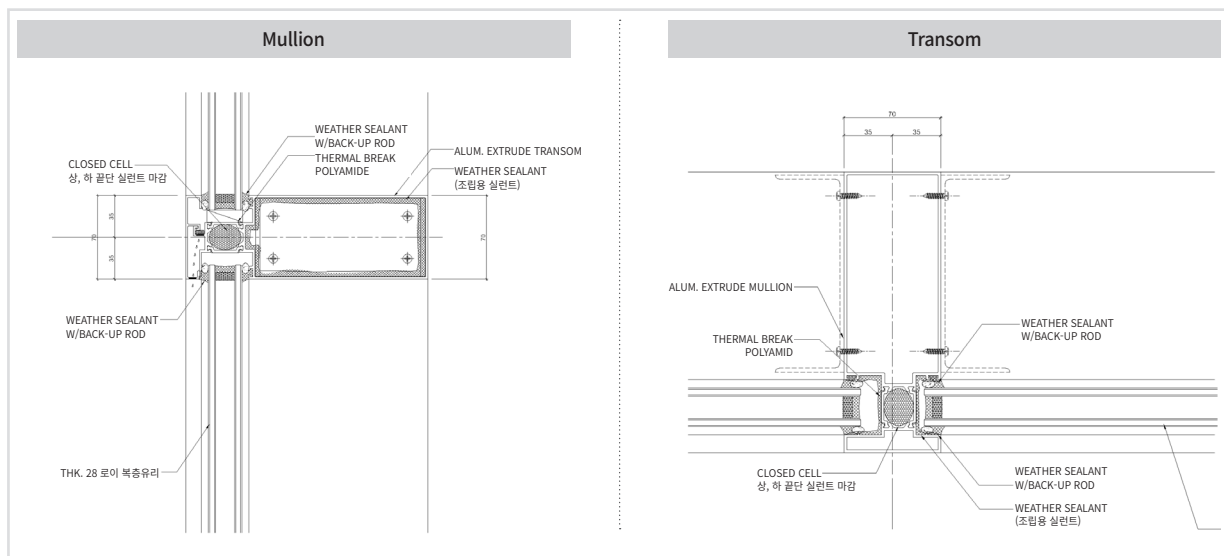
시뮬레이션 결과, Fix 타입은 커튼월 시스템 열관류율 $1.410\sim 1.472 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 분석되었고, Fix+Vent 타입은 커튼월 시스템 열관류율 $1.438\sim 1.482 \text{ W/m}^2\text{K}$ 로 분석되어 상향된 법규 기준 $1.500 \text{ W/m}^2\text{K}$ 이하를 충족하는 것으로 나타났다.

개발된 모델 중에 시료로 제작하여 성능시험을 실시한 타입은 Polyamide를 적용한 4면 Capture 타입이다. Capture 타입은 현재 e편한세상 부대시설 커튼월 창호에 적용되는 사양이며, 당사 특허기술을 적용하기 위하여 커튼월 프레임의 열교차단재로 Polyamide가 적용된 타입으로 선정하였다. [그림 1]은 선정된 Capture Type 커튼월 단면도를 나타낸다.

2.2 시료 제작

시료 제작은 KS F 2278 창호의 단열성 시험방법에 따라 $2,000\text{mm}\times 2,000\text{mm}$ 사이즈로 제작이 되었다. 단열성능을 확보하기 위하여 선정된 부자재 기준을 준수하였으며, 복층 유리사양도 시뮬레이션을 통해 성능확보가 가능한 제품을 적용하였다. 또한 복층유리 가공 후 초기 아르곤 충전률도 95% 이상을 확보하여 아르곤가스 누기에 따른 성능저하를 최소화 하였다. 성능 구현을 위해 적용된 요소기술인 Polyamide 백업도 제작의 효율성을 고려하여 사이즈를 최적화하여 적용하였다. [그림 2]는 성능시험을 위한 시료 제작사진이다.

[그림 1] Capture Type 커튼월 단면도



[그림 2] 시료 제작



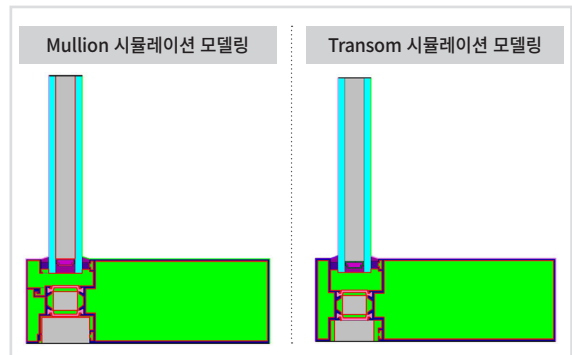
2.3 성능평가 결과

제작된 시료는 공인시험기관에서 열관류율 및 기밀 성능 시험이 실시되었다. 성능 시험 결과 열관류율 $1.491 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 기밀성능 1등급으로 나타났다. 해당 제품에 대한 시뮬레이션 예측값은 $1.482 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 약 0.7% 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 기밀성능 시험시 통기량의 $0.0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 로 기밀에 의한 열량투입이 거의 되지 않았기 때문에 시뮬레이션 예측값과 실제 시험 값이 1%이내의 오차를 나타낸 것으로 판단된다. 따라서 기밀성능이 확보된 커튼월 Fix 창외 열관류율 성능은 시뮬레이션으로 충분히 예측이 가능한 것으로 판단된다. [그림 3]은 열관류율 및 기밀 성능 시험사진을 나타낸 것이고, [그림 4]는 커튼월 프레임의 시뮬레이션 모델링을 나타낸 것이다. [표 3]은 시뮬레이션 결과를 바탕으로 $2,000\text{mm}\times 2,000\text{mm}$ 시료에 대한 열관류율을 계산한 값이다.

[그림 3] 열관류율 및 기밀성능 시험



[그림 4] 틸 프레임 시뮬레이션 모델링



[표 3] 시료 시뮬레이션 결과

부위	U(열관류율) [W/m ² ·K]	A(면적) [m ²]	U*A
Uglazing			
Head (Transom)	Uframe	2.891	0.140
	Uedge	1.549	0.114
Jamb (Mullion)	Uframe	2.880	0.280
	Uedge	1.593	0.228
Sill (Transom)	Uframe	2.890	0.140
	Uedge	1.549	0.114
Σ(U*A)			5.929
커튼월 열관류율 [W/m ² ·K]			1.482

3 2차 연구 소개 및 진행사항

단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임개발의 1차 연구는 현행 중부2지역의 창호기준 $1.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하를 만족하는 유리사양 및 커튼월 프레임의 요소기술에 대해 진행이 되었다. 하지만, 법규가 개정됨에 따라 중부1지역의 창호기준은 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하 상향되어 이에 대한 추가 연구가 진행되고 있다.

일반적인 프레임 기준으로 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하를 만족하기 위해서는 간단한 방법으로 유리의 성능을 향상시키는 것이며, 복층유리를 삼중유리로 변경하는 것이다. 1차 연구를 통해서 KS F 2278의 시험기준에서 복층유리의 최고의 단열성능은 Argon Cavity를 16mm로 구성하였을 때 나타남을 확인하였다. 하지만, 삼중유리의 경우에는 다양한 Cavity 조합과 Low-e 유리의 조합을 할 수 있기 때문에 최적의 삼중유리 조합을 결정하는 것이 중요하다.

또한, 복층유리를 적용하여 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하를 만족하는 프레임의 기술개발도 요구된다. 최고사양 Low-e 유리를 적하였을 때 복층유리가 구현할 수 있는 열관류율은 약 $1.070 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (진공유리 제외)로, 커튼월 전체 열관류율 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하를 만족하기 위해서는 프레임의 열관류율이 $2.500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 수준이 되어야 하는 것으로 분석되었다. 1차 연구를 통해서 개발된 프레임의 성능은 $3.000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 수준으로 추가적인 요소기술을 적용하여 단열성능을 향상시킬 필요성이 있는 것으로 판단된다.

3.1 삼중유리 적용 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하 커튼월 시스템

삼중유리를 적용하여 커튼월 열관류율 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하를 만족하는 유리사양 및 Cavity 조합은 다양하게 구성될 수 있다. 따라서 설계되는 프레임과 다양한 삼중유리를 조합하여 제작성, 단가, 성능안정성 등을 고려하여 최적의 삼중유리 조합을 찾아야 할 것이다. 본 연구에서는 1차 연구를 통해 개발된 Capture Type의 Polyamide 열교차단재가 적용된 커튼월 프레임을 기본 모델로 하여 다양한 삼중유리 조합에 대한 커튼월 열관류율을 분석하였다.

6mm S.Low-e(고사양 싱글로이) + 12 Argon + 6mm Clear + 12 Air + 6mm Clear의 일반적인 42mm 삼중유리를 적용

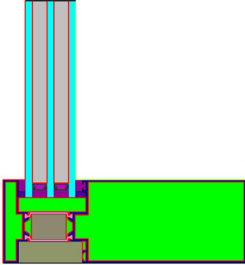
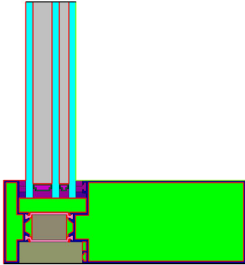
하여 1차 연구에서 개발된 프레임으로 커튼월을 구성하였을 때, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.578 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었지만, 유리의 열관류율(U-glazing)이 $1.093 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 으로 복층유리 최고 사양보다 낮기 때문에 커튼월의 전체 열관류율(U-window)은 $1.328 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 기준을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

6mm S.Low-e(고사양 싱글로이) + 16 Argon + 6mm Clear + 8 Air + 6mm Clear의 최적의 아르곤 Cavity의 42mm 삼중유리를 적용하여 1차 연구에서 개발된 프레임으로 커튼월을 구성하였을 때, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.560 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었고, 유리의 열관류율(U-glazing)은 $1.005 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 $1.251 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다. 다만 Cavity가 16mm 와 8mm 구성이 되어 유리 제작시 공정간섭이 발생되어 유리단가가 일부 상승 될 것으로 판단된다.

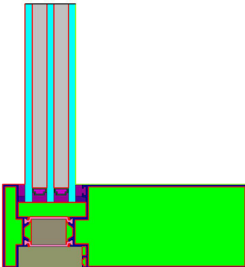
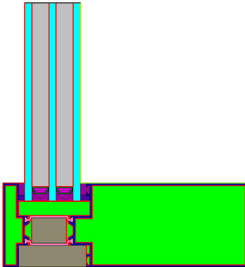
6mm D.Low-e(더블로이) + 12 Argon + 6mm Clear + 12 Air + 6mm Clear의 Low-e유리 사양을 향상시킨 42mm 삼중유리를 적용하여 1차 연구에서 개발된 프레임으로 커튼월을 구성하였을 때, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.559 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었고, 유리의 열관류율(U-glazing)은 $1.022 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 $1.267 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다. 본 유리구성에서 공기층 Cavity에 단열간봉 대신 알루미늄 간봉을 적용하면 기준을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

6mm S.Low-e(고사양 싱글로이) + 14 Argon + 6mm Clear + 14 Air + 6mm Clear의 삼중유리 제작효율을 고려한 Cavity조합의 46mm 삼중유리를 적용하여 1차 연구에서 개발된 프레임으로 커튼월을 구성하였을 때, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.551 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었고, 유리의 열관류율(U-glazing)은 $1.002 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 $1.244 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다. 본 구성은 유리의 두께가 다른 삼중유리 구성보다 4mm 증가되는 단점이 있다. [표 4] 및 [표 5]는 삼중유리 적용 커튼월 성능분석을 나타낸다.

[표 4] 삼중유리 적용 커튼월 성능 분석-1

삼중유리 Alt-1	삼중유리 Alt-2 (Cavity 최적화)
42mm 6S.LE(H/S)+12Ar+6CL(H/S)+12air+6CL	42mm 6S.LE(H/S)+16Ar+6CL(H/S)+8air+6CL
로이유리 1장 / 아르곤 1 cavity 고사양 싱글로이 Polyamide 30mm > 40mm	로이유리 1장 / 아르곤 1 cavity 고사양 싱글로이 Cavity 16-8 조합
	
U window = 1.328 W/m ² ·K U glazing = 1.093 W/m ² ·K U frame = 2.578 W/m ² ·K U edge = 1.397 W/m ² ·K	U window = 1.251 W/m ² ·K U glazing = 1.005 W/m ² ·K U frame = 2.560 W/m ² ·K U edge = 1.317 W/m ² ·K
1.3W 만족 불가	에어포켓 이형시 공정간섭 유리비용 일부 상승

[표 5] 삼중유리 적용 커튼월 성능 분석-2

삼중유리 Alt-3 (유리사양 Upgrade)	삼중유리 Alt-4 (유리두께 Cavity 최적화)
42mm 6D.LE(H/S)+12Ar+6CL(H/S)+12air+6CL	46mm 6D.LE(H/S)+14Ar+6CL(H/S)+14air+6CL
로이유리 1장 / 아르곤 1 cavity 고사양 더블로이(SKN163II)	로이유리 1장 / 아르곤 1 cavity 고사양 더블로이(SKN163II)
	
U window = 1.267 W/m ² ·K U glazing = 1.022 W/m ² ·K U frame = 2.559 W/m ² ·K U edge = 1.335 W/m ² ·K	U window = 1.244 W/m ² ·K U glazing = 1.002 W/m ² ·K U frame = 2.551 W/m ² ·K U edge = 1.290 W/m ² ·K
공기층 AL간봉 적용시 1.3W 초과 유리 사양 상승(고사양 더블로이)	간봉폭 12mm > 14mm

4 결론

본고에서는 단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임 개발 (Ⅰ) 연구과제 이후 후속 연구 및 2019년 수행중인 단열성능을 강화한 AL커튼월 프레임 개발(Ⅱ)에 대한 주요 성과 및 검토에 대한 결과를 보여주고자 하였다. 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 제작된 시료의 실물 실험 열관류율($1.491 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)과 시뮬레이션 예측값($1.482 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)은 약 0.7% 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 기밀성능 시험시 통기량의 $0.0 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 로 기밀에 의한 열량투입이 거의 되지 않았기 때문에 시뮬레이션 예측값과 실제 시험 값이 1%이내의 오차를 나타낸 것으로 판단된다. 따라서 기밀성능이 확보된 커튼월 Fix 창 열관류율 성능은 시뮬레이션으로 충분히 예측이 가능한 것으로 판단된다.

2) 삼중유리를 적용하여 커튼월 열관류율 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하를 만족하는 유리사양 및 Cavity 조합은 다양하게 구성될 수 있다. 따라서 설계되는 프레임과 다양한 삼중유리를 조합하여 제작성, 단가, 성능안정성 등을 고려하여 최적의 삼중유리 조합을 찾아야 할 것으로 판단된다.

3) 6mm S.Low-e(고사양 싱글로이) + 12 Argon + 6mm Clear + 12 Air + 6mm Clear의 일반적인 42mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.578 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었지만, 전체 열관류율(U-window)은 $1.328 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 기준을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

4) 6mm S.Low-e(고사양 싱글로이) + 16 Argon + 6mm Clear + 8 Air + 6mm Clear의 최적의 아르곤 Cavity의 42mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.560 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었고, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 1.251 W/m^2 로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다. 다만 Cavity가 16mm 와 8mm 구성이 되어 유리 제작시 공정간섭이 발생되어 유리단가가 일부 상승 될 것으로 판단된다.

5) 6mm D.Low-e(더블로이) + 12 Argon + 6mm Clear + 12 Air + 6mm Clear의 Low-e유리 사양을 향상시킨 42mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.559 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었고, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 $1.267 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다. 본 유리구성에서 공기층 Cavity에 단열간봉 대신 알루미늄 간봉을 적용하면 기준을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

6) 6mm S.Low-e(고사양 싱글로이) + 14 Argon + 6mm Clear + 14 Air + 6mm Clear의 삼중유리 제작효율을 고려한 Cavity조합의 46mm 삼중유리를 적용하면, 프레임의 열관류율(U-frame)은 $2.551 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 분석되었고, 유리의 열관류율(U-glazing)은 $1.002 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, 커튼월 전체 열관류율(U-window)은 $1.244 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

향후 연구과제에서는 복층유리를 적용하여 커튼월 열관류율 $1.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 이하를 만족하는 프레임 개발을 위한 요소기술 발굴하고 적용하여 실제 제품에 대한 성능검증을 수행할 예정이다. 또한 분석된 삼중유리를 적용한 커튼월의 경우 삼중유리의 공장제작 효율성, 원가 등을 고려하여 최적의 시스템에 대한 검토도 필요한 것으로 판단된다.

