

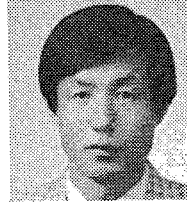
공조시스템의 열원운송동력 절감에 관한 고찰

Energy Conservation of Heat Source Transportation in HVAC System

태 춘 섭

C. S. Tae

한국에너지기술연구소

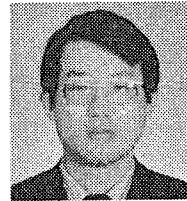


- 1956년생
- 건물의 에너지 절약과 관련된 공조 운송동력절감에 관심을 가지고 있다.

조 성 환

S. H. Cho

한국에너지기술연구소



- 1958년생
- 건물의 에너지 절약과 관련된 냉동 및 공기조화 기술, 건물 자동화 기술 및 에너지해석기술 등에 관심을 가지고 있다.

1. 서 론

우리나라에서 1980년대 이후에 신축된 10층 이상의 약 80여개 사무소건물에 대하여 에너지 소비실태를 조사한 결과, 송풍기와 냉온수펌프 등 공조시스템의 열원운송에 소요되는 에너지량은 전 공조용에너지의 50% 이상을 차지할 만큼의 큰 규모로 나타났다.

따라서 본 고에서는 공조시스템의 열원운송동력에 영향을 미치는 송풍기, 펌프 등과 덕트 및 배관시스템의 특성을 운송동력 절감방안과의 관계를 중심으로 기술하였다. 그리고 기존건물의 공조시스템을 변경시키거나 신축건물에 공조시스템을 시공할 경우에 열원 운송동력의 절감방안과 관련하여 유의할 점들을 고찰하였다.

2. 건물의 설비별 에너지 소비실태

지금까지 국내에서 조사된 건물의 에너지사용실태에 대한 자료들은 건물의 단위면적당 연간 에너지사용량 등 출판적인 내용들이 대부분이었다. 따라서 본 고에서는 우리나라의 건물에 대한 에너지 사용실태를 설비별로 구분하여 1980년대 이후에 신축된 10층 이상의 중대형 사무소건물 80여개를 대상으로 연간 전기사용량 및 난방에너지 사용량을 조사하였다.

건물의 에너지 사용량 조사시, 조사된 건물의 사용주들은 대부분이 건물전체의 연간 전기사용량이나 난방에너지 사용량에 대해서는 정확한 자료를 확보하고 있었지만 건물의 설비별 에너지사용량에 대한 정확한 자료는 확보하고 있지

않아서 이에 대한 자료는 제출하지 않는 경우가 많았다. 따라서 건물의 단위면적당 연간 전기사용량이나 난방에너지 사용량은 80여개 건물을 대상으로 분석한 결과이지만 설비별 에너지사용량은 80여개 대상 건물중에서 상세한 자료를 제출한 138개 건물만을 대상으로 분석한 결과이다.

그림 1은 조사된 건물의 단위면적당 연간 전기사용량의 분포도를 나타낸 것이며 그림 2는 조사된 건물의 단위면적당 연간 난방에너지 사용량을 나타낸 것이다. 그리고 그림 3은 조사된 건물의 연간 전기사용량에 대한 설비별 비율을 나타낸 것이다.

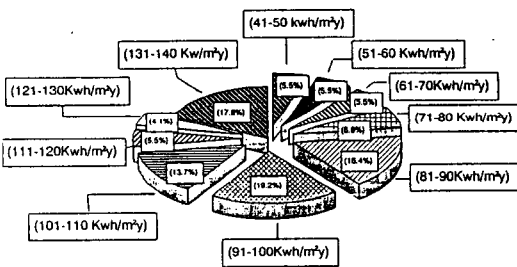


그림 1 건물의 단위면적당 연간 전기사용량의 분포도

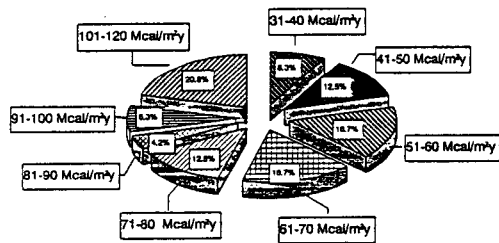


그림 2 건물의 단위면적당 연간 난방에너지 사용량의 분포도

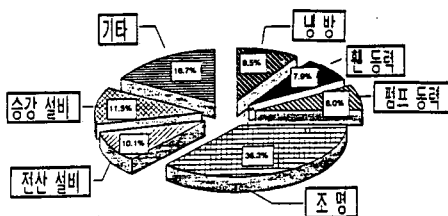


그림 3 설비별 연간 전기사용량의 비율

그림 1에 나타낸 건물의 단위면적당 연간 전기사용량은 2차에너지로 표시한 것인데 91~100 kWh/m²가 19.2%로서 가장 많았고 131kWh/m²y가 넘는 에너지 과소비형 건물도 17.8%나 되었다. 그리고 연간 전기 사용량이 50kWh/m²y 미만의 에너지 절약형 건물도 5%가 있었지만 전체적으로 50% 이상이 81~110kWh/m²y 범위를 나타내고 있다. 이때 전체건물에 대한 연간 평균 전기사용량은 95kWh/m²y인데 이것을 2차 에너지로 변환하면 280Mcal/m²y 정도이다.

건물의 단위면적당 연간 난방에너지를 나타내는 그림 2를 보면 51~60Mcal/m²y et 61~70 Mcal/m²y에 각각 16.7%로서 가장 많았고 이들의 평균값은 60Mcal/m²y이다.

즉, 우리나라의 건물에서 소요되는 연간 총에너지사용량(전기에너지+난방에너지)은 평균값이 340Mcal/m²y로서 선진국(일본 등)에서 건물의 단위면적당 연간 에너지사용량이 250 Mcal/m²y 이하인 것에 비하면 상당히 많은 에너지를 소비하고 있다는 것을 알 수 있다.

건물의 연간 전기사용량에 대한 설비별 비율을 나타내는 그림 3을 보면 조명이 차지하는 비율이 37.2%로서 가장 크게 나타났으며 전산 설비에서도 7.7%를 점유하여 큰 값을 나타내고 있다.

열원운송에 소요되는 동력을 나타내는 펌 및 펌프에 소비된 에너지는 건물전체에 대한 전기 사용량의 14.5%를 나타내고 있는데 이같은 건물의 공조를 위하여 소비되는 전체 소비전력(냉동기+팬동력+펌프동력)의 50% 이상을 차지할 정도로 큰 량이다. 따라서 일반 사무소건물의 전체 에너지사용량중에서 열원운송을 위하여 소비되는 동력비가 미치는 영향이 지대한바, 공조시스템의 열원운송동력과 관련된 요소들을 대별한 후 이들의 특성을 열원운송동력 절감방안과 관련하여 고찰하면 아래와 같다.

3. 열원운송동력에 영향을 미치는 요소

공조시스템의 열원운송동력에 영향을 미치는 요소들을 정리하면 아래와 같다.

- 열원운송을 위한 열매체
- 풍량 및 유량
- 덕트의 압력손실
- 공조기기의 효율
- 풍량제어 방식
- 기기의 발열

이들 요소들의 특성과 이들이 열원운송동력에 미치는 영향을 고찰하면 아래와 같다.

3.1 열원운송을 위한 열매체

공기조화설비에서 일반적으로 열을 이동 또는 운송하기 위하여 사용되는 열매체로는 공기, 물, 증기, 냉매 및 브라인 등이 있다.

이들 중에서 특수한 경우를 제외하고 보편적으로 이용되고 있는 것이 물과 공기인데 어떠한 열매체를 선택하느냐 하는 것은 열원운송동력에 막대한 영향을 미치게 된다. 따라서 동일한 열량을 운송할 때에 열매체에 따른 소요동력을 비교하기 위하여, 열매체로서 공기를 사용할 경우 즉, 송풍기에 소요되는 동력 W_F 와 열매체로서 물을 사용할 경우 즉, 펌프에 소요되는 W_P 를 계산하는 식은 아래와 같다.

송풍기에 소요되는 동력 W_F (kW) ;

$$W_F = \frac{\tau \times q_T \times P_T}{60 \times 6,120 \times C_p \times \Delta t_A \times SHF \times \eta_T} \dots (1)$$

펌프에 소요되는 동력 W_P (kW) ;

$$W_P = \frac{q_T \times H}{60 \times 6,120 \times \Delta t_w \times \eta_p} \dots (2)$$

위의 식들에서 τ 는 공기의 비용적(m^3/kg), P_T 는 송풍기의 전압(mmAq), q_T 는 실내의 전열부하(kcal/h), C_p 는 공기의 비열(kcal/kg), Δt_A 는 실온과 송풍공기의 온도차($^{\circ}C$), SHF는 실내 현열비, η_T 는 송풍기의 효율을 나타내며 H 는 펌프의 양정(mAq), Δt_w 는 급배수의 온도차($^{\circ}C$), η_p 는 펌프의 효율을 나타낸다.

열매체를 공기 및 물로 사용할 경우에 대한

운송동력을 수치로서 비교하기 위하여 송풍기 및 펌프의 효율이 0.6으로서 같다는 전제하에 동일한 열부하(q_T)를 100,000kcal/h를 운송할 때에 대한 W_F 및 W_P 를 계산하면 W_F 는 12.2kW, W_P 는 2.7kW로서 물을 열매체로 이용할 경우가 공기를 이용할 경우에 비하여 1/4~1/5정도의 동력만 소요된다는 것을 알 수 있다. 이러한 측면에서 건물에 소요되는 열량을 운송하기 위해서는 열용량이 큰 물을 매체로 이용하는 것이 유리함을 나타내고 있다.

위와 같은 관점에서 최근 미국의 아르곤연구소에서는 지역냉방시스템에 물보다도 열용량을 높이기 위하여 물에다 아이스슬러리를 포함시킨 경우에 대한 새로운 지역냉방시스템의 가능성을 발표한 바 있다.

그림 4는 건물군들의 냉방을 위하여 지역냉

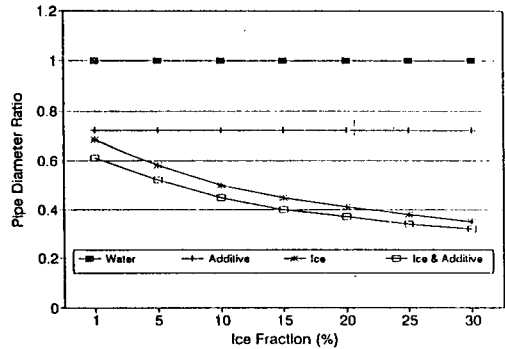


그림 4 지역냉방시스템에서 열매체에 따른 덕트사이즈의 감소율

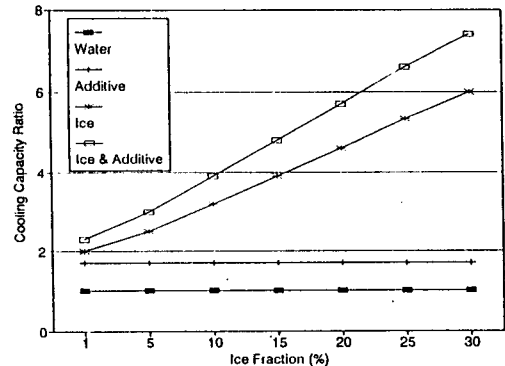


그림 5 지역냉방시스템에서 열매체에 따른 냉방용량

방을 하는 경우에 동일 용량의 펌프에 의하여 동일 용량의 냉열을 운송할 때의 열매체로서 물, 아이스, 화학적 물질, 물과 아이스슬러리를 사용한 경우에 대한 배관의 소요직경을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 물속에서 아이스슬러리를 증가시킬 경우, 물만을 열매체로 이용한 경우보다 배관의 소요직경을 40% 이상 감소시킬 수 있음을 나타내고 있다.

그림 5는 동일한 유량(500ton)을 운송시킬 경우에 여러가지 열매체에 따라 운송가능한 냉열량을 비교한 것이다. 그림에서 보면 물에다 아이스슬러리를 첨가시키게 되면 물만을 이용한 경우보다 7배까지도 많은 냉열량을 운송시킬 수 있음을 나타내고 있다. 이와 같은 결과들은 열매체의 적당한 선택에 의하여 열원 운송동력을 크게 감소시킬 수 있음을 나타내는 것이다.

3.2 풍량 및 유량

실내에서의 급기량 $Q(m^3/min)$ 는 일반적으로 냉방시를 기준으로 하는데 아래식에 의하여 구해진 급기량에 10% 정도의 여유율을 주어서 결정한다.

$$Q(m^3/min) = \frac{G_s}{17.5(T_r - T_a)} \dots\dots\dots (3)$$

여기서는 G_s 는 실의 현열부하(kcal/h), T_r 는 실의 공기온도(°C), T_a 는 급기의 온도(°C)를 나타낸다. 따라서 실내에 급기되는 송풍량은 실의 최대 현열부하, 실내공기와 급기와의 온도차에 의하여 결정된다. 즉, 급기량을 감소시키기 위해서는 실의 최대 현열부하를 감소시키는 것이 필수적이다. 그러나, 외주부 존의 경우에는 창면적의 축소, 단열강화, 기밀성능 향상 및 차양 설치 등 건물외피의 성능을 개선시킴으로써 열부하를 감소시킬 수가 있지만 내주부 존의 실내 최대현열부하는 주로 조명발열과 인체발열에 의하여 결정되기 때문에 건축적인 측면에서 최대현열부하를 감소시킬 수 있는 방법은 없다. 단, 내주부 존에서 송풍량을 감소시켜서 운송동력을 절감할 수 있는 방법은 조명기구를 통하여 실

내공기를 환기시키는 방법이 있다.

이 방법은 조명기구를 통과하는 공기에 의하여 조명기구에서 발생하는 열량의 일부를 흡수하게 한 후 환기시키는 방법인데 이 방법을 채택하게 되면 코일에 부가되는 부하는 변화되지 않으나 송풍량을 결정할 경우에 조명기구에서 발생하는 열량중에서 환기되는 공기에 의하여 제거되는 열량만큼 송풍량을 감소시킬 수 있는 효과가 있다.

한편 환코일유니트와 공조기로 보내지는 냉온수량 $G(kg/min)$ 은 아래식에 의하여 결정된다.

$$G = \frac{G_r}{60\Delta t} \dots\dots\dots (4)$$

여기서는 G_r 는 시간별 최대운송열량(실의 최대 열부하+외기부하), Δt 는 코일출입구의 온도차이다.

냉온수량을 줄일 수 있는 방법은 실의 최대 열부하를 줄이거나 출입구 온도차를 크게하는 방법이 있는데 최대현열부하를 줄이기 위해서는 건물의 열성능향상과 전열교환기 채용 등에 의하여 열부하를 감소시킬 수 있다. 그리고 코일 출입구의 온도차를 확대시키는 방법이 있는데 이 방법은 경우에 따라서 코일의 열수를 증가시켜야 하고 냉동기의 성적계수를 저하시킬 수가 있으므로 종합적인 검토가 필요한 사항이다. 그러나, 배관사이즈를 축소하고 초기 투자비를 절감시키기 위해서는 매력있는 방법중의 하나이므로 최근 열원 운송동력 절감을 위한 연구대상중의 하나이다.

유량을 줄일 수 있는 다른 한가지 방법은 존을 통합하는 방법이다. 그러나 이 방법은 존별로 발생하는 최대부하가 다를 수 있기 때문에 여러개의 존을 하나의 존으로 묶는 것은 운송동력 절감측면에서는 유리하지만 존별로 온습도를 제어하는데는 문제가 있다.

따라서 최근에는 실내 환경개선의 요구, 부분 부하제어의 새로운 인식과 함께 인텔리전트 빌딩의 출현으로 공조기기의 유효이용측면에서 에너지소비가 과다한 중앙집중식에서 탈피하여

개별분산 공조방식 등 세분화 공조시스템이 새롭게 부각되고 있다. 그러나, 이를 위해서는 초기투자비의 과다, 소형공조기의 개발 등 기술적 및 행정적으로 해결해야 할 문제점은 남아있다.

3.3 덕트의 압력저항

공조용 송풍기의 용량산출에서, 소요되는 정압은 필터 코일 등 공조기내에서의 압력손실치와 덕트시스템, 프레넘 챔버, 배출구, 흡입구, 댐퍼 등 공조기외에서의 압력손실치를 합하여서 결정한다.

위에서의 여러가지 인자들 중에서 덕트시스템에서의 압력손실은 송풍기의 용량을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 따라서 덕트계의 압력손실을 감소시키기 위해서는 덕트길이의 축소, 덕트의 마찰저항 감소, 덕트내부를 흐르는 공기의 풍속을 줄이는 방법이 있다.

덕트시스템의 압력손실은 내부를 흐르는 풍속의 2승에 비례하는 것으로서 압력손실에 가장 큰 영향을 미치는 것이 덕트내부의 풍속이다. 물론 덕트내부의 풍속을 줄이기 위해서는 덕트의 직경을 늘려야 하는 부담이 있지만 운송동력 절감측면에서는 풍속을 낮추는 것도 하나의 방법이 될 수 있다.

표 2는 동일한 풍량(90,000m³/h)에 대하여 덕트의 직경을 변경시킴에 의하여 변환된 풍속에 따른 환정압과 소요동력을 비교한 결과이다. 표에서 보면 동일한 풍량을 송풍하기 위하여 소요되는 환동력은 고속으로 한 경우보다 저속으로 한 경우에 배이상 더 소요되는 것을 알 수 있다.

일반적으로 저속 덕트 시스템의 경우 덕트 시스템 각부의 압력손실은 공조기내외에서의 손실비가 1:1정도 되는 것으로 알려져 있다.

따라서 저속덕트시스템의 압력손실을 감소시키기 위해서는 공조기내에서의 코일, 필터 등의 압력손실을 줄여야 하고 다음으로 통과풍속을 가능한 한 줄여야 한다. 그러나, 풍속은 설비측면으로는 결정될 사항이 아니고 기계실의 넓이, 층고, 천정면의 넓이 등과 같은 건축적인 요소들을 고려하여야 한다. 이런 의미에서 덕트시스

템의 압력손실을 감소시키는 것에 의한 운송동력절감은 건축설계와 조화된 설계계획이 요구된다.

표 3 저속덕트와 고속덕트의 비교

	주덕트풍속 (m/s)	덕트정압 (mmAq)	환 동 력 (kW)
저속덕트	8~15	50~75	30~37
고속덕트	20~30	150~250	75~100

3.4 공조기기의 효율

일반적으로 건물의 공조에 사용되는 공조기기류는 최고 효율점 부근에서 운전되는 경우가 거의 없다. 예를 들어서 송풍기의 경우에는 필터의 막힘, 펌프의 경우에는 배관계의 부속에 의한 압력손실 때문에 여유율을 주어서 기기의 효율점을 결정하고 있다.

따라서 실제 공조기기의 용량을 결정 할 경우에 과용량의 기기류를 선택하여 밸브와 댐퍼에 의하여 송풍량을 조절하여서 운전하는 경우가 많다. 건물의 완성후에는 기기의 여유율을 분명하게 알 수 있으므로 플리를 교환하던가 임펠러를 교환하여 기기의 용량을 최대한으로 이용하는 것도 열원운송동력 절감의 한 방법이 될 수 있다.

3.5 풍량의 제어방식

가변풍량방식을 채용하면 부하에 적합하게 송풍량을 수시로 제어할 수 있으므로 풍량을 크게 감소시킬 수 있다. 그러나, 필요외기량을 항상 공급하여야 한다는 점에서 부하가 없는 경우에도 송풍량을 0으로 하여서는 안된다. 따라서 실내 부유분진량을 건축법의 규정량 이하로 하기 위해서는 아래의 식에 의하여 분진통과율을 낮출 수 있는 필터를 설치할 필요가 있다.

$$P = \frac{C(Q_r + Q'_r) - M}{Q_o C_o + r Q_r} \dots\dots\dots (5)$$

여기서는 P는 분진통과율 Q_o는 외기취입량, Q_r는 환기량, Q'_r는 배기량, r은 환기재순환율,

C_o 는 외기 부유분진량, C_i 는 실내 부유분진량, M 은 실내에서의 분진발생량을 나타낸다.

그러나, 외주부에 팬코일유니트를 채용하고 있는 경우에는 공조기로 외주부에서의 발진량도 포함하여 처리하여야 하므로 더욱 많은 환기횟수를 필요로 한다.

4. 운송동력 절감방안

공조시스템의 열원운송동력에 영향을 미치는 요소들은 앞에서와 같이 여러가지가 있다. 따라서 기존건물의 공조시스템을 변경시키거나 건물을 신축할 경우에 운송동력을 절감하기 위해서 추구하여야 할 방향을 정리하면 아래와 같다.

- 1) 공조시스템의 존을 결정할 경우에는 사용시간대, 사용상황 등을 종합적으로 판단하여 존을 통합할 수 있는 것은 통합하고 회의실, 홀, 식당 등과 같이 간헐운전이 가능한 곳은 단독시스템으로 하는 것이 유리하다.
- 2) 중앙공조시스템의 경우에는 물을 열매체로 사용하는 것에 비하여 공기를 열매체로 사용하는 것이 동력소요가 많으므로 분산공조, 팬코일 병용방식 등에 의하여 물-공기방식으로 하는 것이 운송동력 측면에서는 유리하다.
- 3) 정풍량방식의 공조시스템은 건물의 냉난방 부하율과는 무관하게 항상 전부하로 운전되고 있기 때문에 불필요한 운송에너지를 소비하게 되므로 가변풍량방식의 공조시스템을 채택하는 것이 유리하다. 단, 부하변동에 대한 효율성을 향상시키기 위해서는 정교한 제어시스템이 요구된다.
- 4) 공조용 송풍기의 필요정전압은 공조기내의 정압에 의하여 결정되므로 필요이상으로 압력손실을 요하는 기구 및 덕트 시스템은 배제한다.
- 5) 필터는 필요이상의 고효율제품을 사용할 경우 압력손실을 확대시키므로 신중한 선택을 하여야 한다.
- 6) 송풍 토출부의 덕트시공을 할 경우, 토출

챔버나 엘보가 접속되면 압력손실이 예상 이상으로 상당히 크게 되므로 이에 대한 영향을 충분히 고려하여야 한다.

- 7) 공조시스템과 마찬가지로 냉온수 배관시스템도 정유량방식보다는 변유량방식의 채택이 운송동력 절감측면에서 유리하다. 단, 펌프가 부하에 의해 변화되는 수량이나 양정으로 운전하는 경우에 펌프토출부측의 밸브 등으로 조정하는 것은 동력의 손실을 가져오므로 펌프의 제어방식은 부분부하시, 펌프의 입력비도 비례하여 내리도록 부분부하 특성이 좋은 방식을 채택할 필요가 있다.
- 8) 배관시스템에서 배관의 구경이 너무 작거나 불필요한 곡관부가 많으면 배관 마찰저항이 크게 되어 펌프동력을 증가시키는 요인이 되므로 이에 대한 충분한 검토가 요구된다.
- 9) 펌프를 선정할 경우에 용량의 여유율과 배관 마찰저항, 코일의 저항 등을 최소한으로 계획, 선정하는 것이 요구된다.

5. 결 론

국내에서 80년대 이후에 건축된 10층이상의 중대형 사무소건물 80여개에 대하여 에너지 사용실태를 조사한 결과, 공조기용 송풍기나 냉온수펌프 등을 열원운송동력에 소요되는 에너지량이 전공조용 에너지의 50% 이상을 차지할 정도로 큰 비율이었지만 이에 대한 중요성을 간과하는 일면도 있었다.

따라서 본 고에서 제시된 열원운송과 관련된 공조기기들의 특성과 운송동력 절감방법은 공조관련 전문가들에게는 특이한 내용들이라고 생각되지는 않으므로 신축건물의 설계시나 기존건물에 대한 공조시스템의 변경시에 이들의 중요성을 다시한번 인지하여 반영함으로써 건물의 에너지절약에 도움이 될 수 있기를 기대하여 본다.

참 고 문 헌

1. U.S.Choi, D.M.France, and B.D.Knodel, 1992, "Impact of Advanced Fluid on Costs of District Cooling Systems", 83rd Annual Conference of the International District Heating and Cooling Association, Boston, MA.
2. 윤여송 외, 1991, 인텔리전트빌딩 설계·계획 가이드북, 기다리출판사, pp.350-357.
3. 矢作 和久, 吉井 功, 外島 毅, 1982, "搬送系の省エネルギー", 空気が調和・衛生工学, Vol. 56, No.9, pp.23-33.
4. 村林 和昭, 1982, "搬送系変更による既設建物の省エネルギー", 空気が調和と冷凍, Vol.22, No. 9, pp.50-56.
5. 岡本 章, 長谷川 俊雄, 1988, "インテリジェントビル用空調システムについて", 空気が調和と冷凍, Vol.28, No.3, pp.53-62.