

# 초고층 건물의 열원 및 공조설비 계획

■ 권 용 일 / 신홍대학 건축설비설계과, yikwon77@empas.com

■ 김 선 하 / 목원엔지니어링, ksk9548@hanmail.net

## 개 요

국내에서도 초고층 건축물의 건설을 위해 기계설비분야에 종사하는 엔지니어들이 열원 및 공조설비와 더불어 안전을 위해서 필수적으로 고려해야 될 소방설비 및 자동제어설비분야에 대한 다양한 대비책을 준비하고 있다. 에너지 관점에서 초고층 건물은 건물의 수직적 높이가 증가함에 따라 변화되는 외기조건과 더불어 초고층 건물의 하이테크적 특성으로 인해 실내 요구수준이 높아져 에너지 소비량이 증대되기 때문이다. 이러한 에너지 소비량의 증가를 최소화 하기위해 기계설비에서는 특수한 건축적 요소를 고려한 부하계산, 공용면적 및 층고절감을 고려한 설계, 효율적인 관리 등 쾌적한 실내환경을 조성함과 동시에 안전하고 안정적인 인프라를 구축할 수 있도록 설계하여야 한다.

초고층 건축물이 갖게 되는 건축적 요소의 변화

를 대응하기 위해, 필수적으로 고려해야 될 기계설비의 고려사항을 요약하면 표 1과 같으며 이러한 사항을 종합적으로 고려하여 열원 및 공조설비 계획단계에서 숙지해야 될 내용을 살펴보고자 한다.

## 초고층건물에 적용되는 열원설비계획

### 초고층 건물의 부하 특성

초고층 건물에서는 각기 독특한 열부하 특성이 건물의 입지조건, 기상조건 등과 복합되어 실내환경에 영향을 미친다. 구조체의 경량화, 외피, 특히 유리 면적이 큰 초고층 건물은 단열성능 및 축열성능 저하 등의 부하 특성으로 인해 외부조건 변화가 실내에 직접적인 영향을 미치게 되고, 주변 건물보다 높게 솟아있는 건축적 특성 때문에 다량의 일사유입과 야간복사냉각이 발생하며, 외

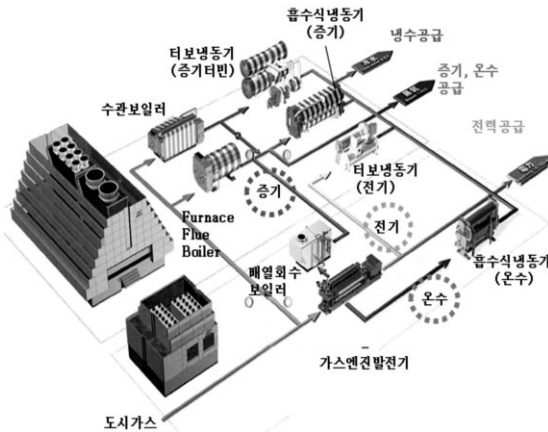
〈표 1〉 건축적 요소에 따른 기계설비 고려사항

구 분	건축적 요소	외기조건 변화	기계설비 스페이스 증가	재해 대비 안전성 확보
건물 특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물의 수직적 높이 증가</li> <li>• 파사드를 디자인 요소로 활용</li> <li>• 외부 창면적 증가</li> <li>• 구조적 하중 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 건물 높이에 따른 풍속 증가</li> <li>• 외피 일사량 증가</li> <li>• 주변 건물로부터 재복사 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 덕트 및 배관 사이즈 증가</li> <li>• 샤프트 면적 증가</li> <li>• 임대 면적의 감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지진의 영향이 큼</li> <li>• 배관 twist현상 등 발생</li> <li>• 재해시 피해가 큼</li> </ul>
요구 사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외피 경량화</li> <li>• 커튼월 적용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상층부 외기조건 변화</li> <li>• 초고층 건물 성을 고려한 부하계산법</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 층고절감 시스템</li> <li>• 샤프트 면적 최소화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전성 확보</li> <li>• 예비 백업시스템 요구</li> </ul>
기계설비 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외주부 부하처리 시스템</li> <li>• 커튼월 재질 고려, 결로방지 대책</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 상층부 풍압 · 풍속 증가</li> <li>• 일사 · 복사로 인한 부하증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 층고 절감을 고려한 공조 방식 선정</li> <li>• 공조실, 샤프트스페이스 등 최소화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 변위차에 의한 배관 twist방지</li> <li>• 초고층 건물의 유지관리 기법고려</li> </ul>

부 기상변동에 의한 영향에 비해 온도완충작용이 작아 심한 일간 부하변동과 방위별 부하의 차이도 커지게 된다. 또한 사무실, 공동주택, 호텔, 상업 시설 등 복합용도의 혼재로 인한 부하발생특성이 다양하며, 중간기의 냉난방 부하가 동시 발생하여 중간기 냉방을 비롯한 연간 공조가 필요하다.

초고층 건물의 열원 시스템

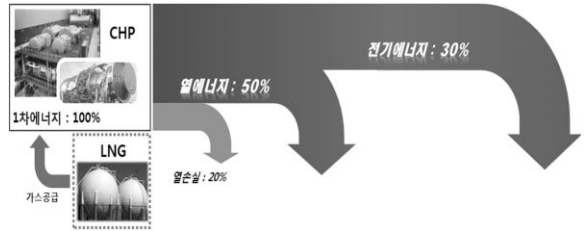
집단에너지 방식



[그림 1] CES 및 열병합 운전 계통도

시스템 구성

집단에너지 시스템은 그림 1, 2와 같이 열병합 발전기와 폐열보일러, 가스보일러, 흡수식냉동기, 터보냉동기 등으로 구성되어, 도시가스로 열병합 발전기를 가동하여 전력을 발생시켜 터보냉동기에 공급하여 냉수를 생산하고, 발전기에서 발생한 열로 폐열보일러를 가동하여 생산된 증기를 흡수식냉동기 및 증기터빈 터보냉동기를 구동하여 냉수를 생산하고, 가스보일러와 폐열보일러로 증기 및 온수를 생산하여 난방, 급탕용 열원으로 공급



[그림 2] CHP 가동에 따른 열 및 전기 발생

구 분	신주쿠 신도심 지역냉난방	시오도메 지역냉난방	미나토미라이 지역냉난방	롯본기 힐스	페트로나스 타워	
방 식						
공급일시	2001	2002.12.	2003~	2003.5	1998	
공급구역	332,000 m <sup>2</sup>	94,000 m <sup>2</sup>	900,000 m <sup>2</sup>	84,800m <sup>2</sup>	213,750 m <sup>2</sup>	
공급연면적	2,205,000 m <sup>2</sup> (22개 빌딩)	720,000 m <sup>2</sup>	1,827,703 m <sup>2</sup>	728,595m <sup>2</sup>	395,000m <sup>2</sup>	
주요설비	발전기	가스터빈 : 8.5 MW	발전 없음	발전 없음	가스터빈 : 39 MW	가스터빈 : 25.8 MW
	보일러	보일러 : 210 Ton/h	보일러 : 64.4 Ton/h	590.63 Ton/h	79.6 Ton/h	152.4 Ton/h
	냉동기	냉방설비 : 59,000 RT	냉방설비 : 14,210 RT	155,510 RT	냉방설비 : 19,000 RT	30,000 RT
특 징	소형 열병합 발전		플랜트실 단계별 개발 1, 2, 3 단계	특정 전기 사업 최초로 도입	생산전력은 냉동기 구동에 사용	

[그림 3] 집단에너지 시설 해외 사례

구분	상암동 DMC	송도국제도시	인천공항에너지	경기 CES (양주지구)	고양 관광 문화 CES	
						
사업주	한국지역난방공사	인천종합에너지 (한남 외 2개사)	인천공항에너지 (인천공항공사 외 2개사)	가스기술공사 (포스콘 외 4개사)	서울 도시 가스	
공급일시	2006년	2009.11. 예정	2000년	2009년	-	
플랜트 시설면적	18,745 m <sup>2</sup>	-	18,859 m <sup>2</sup>	3,500평	5,000평	
공급연면적	3,304,380 m <sup>2</sup> (1,562,635 m <sup>2</sup> : 냉방면적)	53,000 세대, 110개 건물	-	1,480,500 m <sup>2</sup> (공동주택)	-	
주요 설비	전력 시설	전력 시설 없음	206 MW	127 MW	21 MW	40 MW
	난방 시설	159 Gcal/h	273Gcal/h	306 Gcal/h	84 Gcal/h	91 Gcal/h
	냉방 설비	51,600 RT	-	-	-	38,600 RT
특징	"열"만 생산 판매하는 CES 방식			전기 생산 단가 140원/Kwh로서 가동할수록 적자로 중단공사비 830억		

[그림 4] 집단에너지 시설 국내 사례

하게 된다.

집단에너지 적용 사례

그림 3, 4는 집단에너지 시설의 국내의 사례이고 표 2는 초고층 건물에 구역집단에너지 및 소형열병합을 적용한 사례이다.

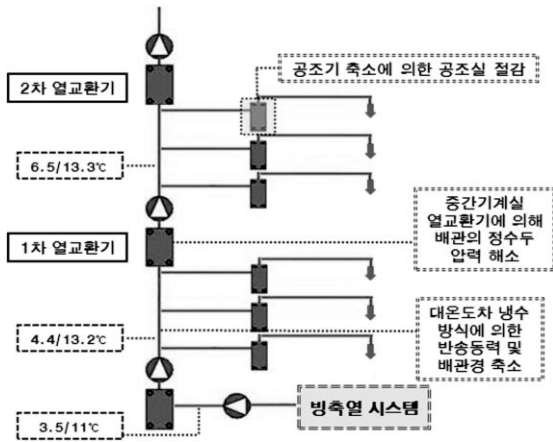
빙축열 시스템 + 대온도차 냉수방식

1) 시스템 개요

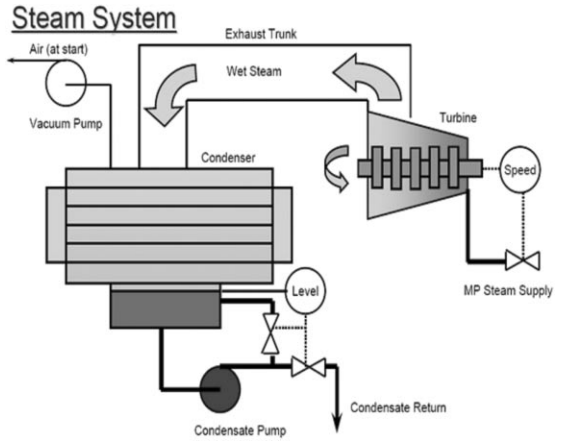
빙축열 시스템 + 대온도차 냉수방식은 배관 시스템계의 내압을 고려 일정한 압력이하를 유지하기 위해 그림 5와 같이 중간기계실에서 1단 또는 2단 열교환하여 냉수를 공급해야 하는 초고층 건물의 특성에 적합한 시스템으로 대온도차 냉수시스템 적용에 의해 샤프트 면적 및 반송동력을 절감하고 저온 냉수에 의한 저온급기 공조시스템으로 덕트 축소, 층고 저감, 샤프트 축소, 반송 동력 절감시키는 에너지 절약적 시스템으로서 최근 계

<표 2> 초고층 설계사례 - 소형 열병합 방식

구분	Project	규모 (m <sup>2</sup> /층)	용도		
CES 방식	해 외	룩본기힐즈	380,000 B4 / 38F	상업, 숙박업무	
	국 내	시오도메타워	79,785 B1 / 30F	상업, 숙박업무	
		버즈 두바이	458,700 B2 / 160F	상업, 숙박업무	
		동남권유통단지	450,000	상업	
	소형 열병합 방식	해 외	상암 DMC	702,726 B6 / 133F	상업, 숙박업무
		국 내	용산 역세권	3,500,000 150F	상업, 숙박업무
광명 역세권			-	주거, 상업	
해 외	페트로나스타워(말레이시아)		395,500 B2 / 101F	상업, 숙박업무	
Bank of America	195,000 B3 / 52F		상업		
소형 열병합 방식	국 내	SIRC(인천 송도)	480,000 B7 / 55F	상업, 숙박	
	용산 4구역 신축	382,800 B5 / 45F	주거, 상업		



[그림 5] 빙축열 + 대온도차 시스템 계통도



[그림 6] Steam Turbine 방식

획 중인 대부분의 초고층 건물에 적용되고 있으며 적용사례를 요약하면 표 3과 같다.

2) 시스템 구성

심야전력을 이용한 저온 터보 냉동기에 의해 심야 제빙운전, 주간해빙 운전하여 냉수를 공급하고, 저온의 열교환기에 의해 고압의 시스템 압력을 해소시킴으로 문제없이 열원을 공급할 수 있도록 하였다. 또한, 송, 환수 온도차( $\Delta T$ )를 크게하여 배관경 및 반송 동력을 저감하는 대온도차 냉수 시스템 적용으로 에너지 절약적 열원 설비를 구성할 수 있다.

3) 초고층 적용 사례(표 3)

<표 3> 초고층 설계 사례

Project	규모	열원 시스템
63빌딩	63F	빙축열 + 흡수식
타워팰리스Ⅲ	69F	빙축열 + 흡수식
상암 DMC	133F	빙축열 + 흡수식
인천 타워	151F	빙축열 + 흡수식
버즈두바이	160F	지역수축열시스템
두바이몰	-	빙축열 + 흡수식

Steam Turbin 방식

1) 시스템 개요

냉수출구온도가 비교적 저온으로 (3 ~ 5°C) 초고층 건물의 열원방식으로 적합하며, 흡수식 냉동기보다 높은 성적계수(COP)로 인해 운전비 절감 된다. 그러나, 대부분 미국식 방식이라 외산 장비 도입으로 인해 초기 투자비가 증가하는 단점이 있다.

2) 시스템 구성

고압 증기 (6.2 ~ 13.8 kg/cm<sup>2</sup>)로 스팀터빈에 의해 그림 6과 같이 압축기를 구동하여 흡수식 냉동기에 비해 부분부하 운전성이 우수하고, 성적계수(COP)가 높다. 본 시스템을 적용한 사례는 표 4에 정리하였다.

<표 4> 초고층 설계 사례 - Steam Turbine 방식

구분	Project	규모 (㎡/층)	용도
국 내	삼성전자 강남사옥	197,425 B8 / 43F	업무 시설
	스타타워	212,000 B5 / 45F	업무 시설
	건대 스타시티	158,727 B5 / 50F	상업 시설
해 외	엠펙이어 스테이트 빌딩	102층	업무 시설 개보수 공사

<표 5> 초고층 설계 사례 - 개별 열원 방식

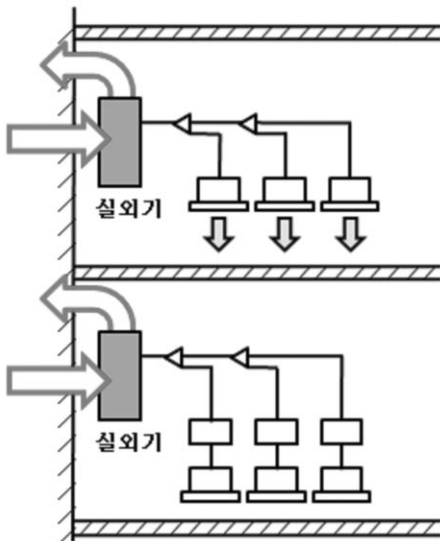
Project		규모 (m <sup>2</sup> /층)	용도
공기 열원	타워 팰리스-III	250,000 B5 / 69F	주거시설
	삼성전자 R-4	214,000 B4 / 38F	사무, 연구시설
	삼성서초 사옥	280,000 B6 / 42F	업무시설
수열원	송도 신도시 주상복합	530,000 B4 / 65F	주거, 상업시설
	LG 연구시설	84,300 B5 / 20F	업무, 연구시설
	日本 OAK Tower	104,283 B3 / 37F	업무시설

3) 초고층 적용 사례(표 4)

개별 열원 방식

1) 공기열원 멀티 히트 펌프 방식

초고층 주상복합 건물의 일반적인 냉방방식으로 업무시설 등의 외부부용 개별 열원 방식으로도 사용하며, 실내기별 개별제어 방식으로 에너지 효율이 우수하다. 그림 7과 같이 공랭식 실외기에 다수의 실내기를 냉매배관으로 연결하여 열원을 공급하고, 난방기능향상을 위해 실외기에 전기보조 열원을 설치하여 사용한다.



[그림 7] 공기열원 멀티히트펌프방식

2) 수열원 멀티 히트 펌프 방식

수열원 멀티 히트 펌프 방식은 그림 8과 같이 외부 루버가 불필요하여 실외기 실의 위치 설정이 자유롭고 설치면적이 적은 장점이 있어, 미관이 중요시 되는 초고층의 개별열원 방식에 적합하다. 외부의 냉각탑 및 열원수 보일러를 설치하여 실내의 수냉식 응축기와외 열교환에 의한 냉난방을 하여 실외기 소음도 대폭 축소됨과 더불어 외기온도가 낮은 경우, 발생하는 난방불량현상을 개선할 수 있다.

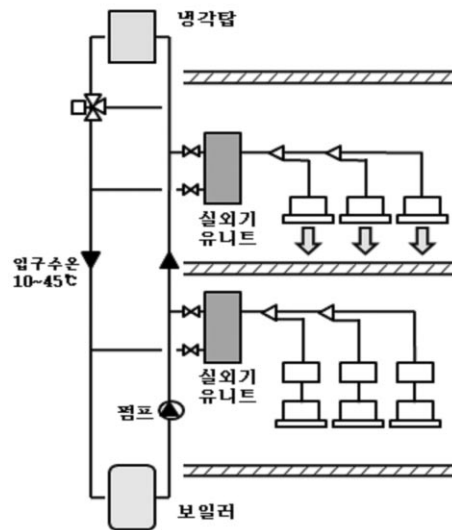
3) 초고층 적용 사례(표 5)

초고층건물에 적용되는 공기분배시스템계획

공조설비에서 공기분배시스템(2차측)의 에너지 절약을 도모하기 위해, 지금까지 고안되어 적용되고 있는 공기분배시스템은 변풍량시스템과 저온급기시스템이며 이들 시스템의 대표적인 특징을 요약하면 다음과 같다.

변풍량(VAV) 공기분배시스템

초고층건축물의 경우, 실내의 각종 전산관련 장비들이 증가함에 따라 OA부하 및 조명부하가 많



[그림 8] 수열원 멀티히트 펌프방식

〈표 6〉 대표적 저온공조방식의 설계용 온습도 조건

구분	실내 조건		
	건구온도(℃)	상대습도(%)	노점온도(℃)
일반 공조	26	50	14.8
저온 공조	27	40	12.3

은 비중을 차지하게 되어, 건물의 내부에서는 연중 냉방부하가 발생하여 에너지 다(多)소비적인 근무환경이 조성됨에 따라, 실내 공간의 최적환경 유지 및 에너지를 최대한 절감할 필요성이 있으며, 향후 이러한 추세는 더욱 가속화될 전망이다. 이러한 고도의 쾌적성 요구와 에너지 절감에 대응할 수 있는 공조방식은 변풍량시스템이다. 본래 변풍량시스템은 냉방용 공조방식으로 개발되었기 때문에 건물내부에 난방부하가 발생하게 되면 공조풍량이 감소하여 환기량이 부족해지고 실내의 공기분포가 나빠지게 되므로 설계시 많은 주의를 기울여야 한다. 변풍량시스템의 설계에서 가장 중요한 점은 실내에 공급하는 공기의 온도를 연중 일정하게 16℃에서 18℃ 정도로 실내에 취출하는 공기분배방식이다. 특히 변풍량 공조방식은 정풍량 공조방식에 비해 초기투자비가 매우 높고, 설계기법도 복잡할 뿐 아니라 자동제어 기술이 대단히 중요한 요소가 된다. 또한 송풍기 선정이나 덕트의 구성, 변풍량유닛 형식, 덕트기구, FMS형식, 주덕트, 분기덕트 설치, 정압 센서 설치 위치, 온도 감지기 위치, 건축의 실내 내부 칸막이 설치 여부, 변풍량 존의 구성 등 검토하여야 할 내용이 많으므로 효율적이고 에너지 절약적인 변풍량 시스템이 되기 위해서는 사전에 충분한 검토가 이루어져야만 한다.

**저온급기 공기분배시스템**

저온공조 시스템은 일반공조 시스템 보다 보통 낮은 상대습도와 낮은 노점 온도로 조절된 공기를 분배하는 시스템이다. 이를 위해서는 대온도차 즉, 공급수 온도차를 8℃ ~ 10℃, 냉풍의 경우에는 12℃ ~ 14℃(환기26℃-급기14 ~ 12℃) 정도로서 반송량을 축소하는 시스템이다. 이와 같이 급기온도가 낮아지면 공기로부터 많은 수분이 냉각코일

에 응축되어 표 6과 같이 낮은 상대습도를 실내로 공급하게 된다. 따라서 저온 공조방식은 일반 공조방식에 비해 실내 설정온도를 1℃ 높임으로써 에너지 절약의 효과와 외부 공기의 온도차에 의한 열충격(heat shock) 방지에도 도움이 주도록 실내온습도 조건을 설정하게 된다. 그러나 아직은 저온공조에 따른 습도와 온도에 대한 쾌적 조건의 연구가 부족하기 때문에 일반 공조와 동일한 온도 조건으로 하여 쾌적성을 향상 시키는 것이 좋으며, 특정 설계사례에 대한 온습도 조건의 결정은 실의 용도에 따라 신중히 결정해야 한다.

대온도차로 송수, 송풍량을 감소시킴으로써 건축적인 측면에서도 큰 장점을 갖고 있는 저온급기 시스템을 최적상태로 유지하기 위해서는 계획 및 설계단계에서 아래와 같은 제어사항을 충분히 고려하여야 한다.

1) 최소 환기량 유지

최소 환기량은 각 존의 특성에 맞추어 결정된다. 낮은 냉방부하 조건 하에서의 실내 냉방공기의 유동 조건보다 실내 환기조건이 더 높게 요구될 때 재열이 필요하다. 급기의 재열은 에너지 손실을 갖기 때문에 급기 설정점을 재열할 필요성이 없는 온도로 수정되어야 한다.

2) 급기 온도 리세팅

저온공조 시스템 효율의 극대화를 위해, 급기온도의 재설정을 수행한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 1차측 저온공기풍량 변화에 관계없이 취출구가 넓은 범위의 급기량을 만족하는 성능을 갖추어야 한다.

3) 결로 제어

저온공조방식은 일반 공조보다도 3 ~ 4℃ 낮은 노점온도를 갖는다. 그러므로 급기 및 환기되는 덕트는 부가적인 단열처리가 요구되어진다. 플레넘 측의 결로 방지를 위해 필요한 취출구의 단열 처리는 덕트 계통에도 똑같이 필요하다.

4) 외기냉방 시 제어

외기냉방은 외기가 실내의 환기보다 더 낮은 엔탈피를 가지고 있을 때 기계적 냉방에너지를 감소



시킴을 위해, 공조기의 환기 대신에 외기로서 공조하는 것을 말한다. 엔탈피제어보다 절환 온도 (switch-over temperature)제어가 보다 경제적이고 신뢰성이 있어 효과적으로 작동한다. 이 제어 장치는 외부의 건구온도계가 절환 온도 이하로 떨어질 때 외기냉방을 행한다. 건구계의 절환 온도는 외부 엔탈피가 환기 엔탈피 이하인 상태에서 평균적으로 선택되어진다.

## 결론

지금까지 초고층건물에 적용되어야 하는 열원

및 공조설비의 계획 및 설계단계에서 필수적으로 고려 할 사항을 정리하여 보았다. 건물이 초고층화 됨에 따라 건축관점에서는 내풍, 내진, 소음 설계를 추가적으로 고려해야 되듯이 열원 및 공조설비설계분야도 설계 및 시공관점에서 일반건축물과 차이나는 기술을 확보하기 위해, 준비해야 된다고 생각한다. 이는 초고층 건축물의 건축에 대한 타당성과 합리성을 확보하기 위해서는 다량의 에너지를 소비하는 문제점을 근본적으로 해결해야 되기 때문이다. ④