

# 창원 자전거 경기장 VE 사례

VE활동의 일례로 현대건설에서 최근 준공하고 사용중인 창원 자전거 경기장에 대한 VE활동을 소개하고자 한다.

박 일 규

### 머리말

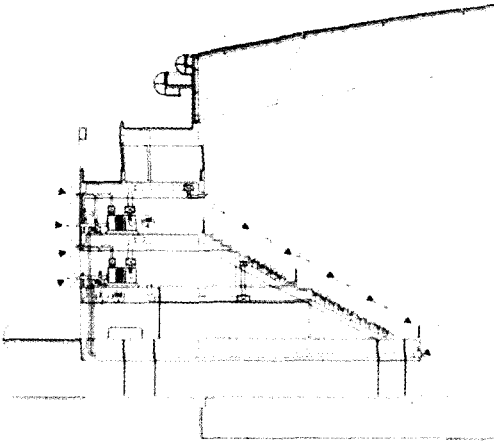
건축물의 가치에 영향을 주는 요소에는 여러 가지가 있을 수 있으며 그 구성요소들은 건축물의 종류에 따라 달라질 것이다. 그러나 모든 건축물의 가치에 공통적으로 영향을 주는 기본적인 요소는 건축물 자체의 성능과 건설에 투입된 비용일 것이다. 그리고 이러한 요소들은 설계 및 시공 단계에서 결정되며 저비용의 성능이 우수한 건축물은 이

미 높은 가치를 내재하고 있는 것이다. 이렇게 건축물의 가치를 극대화하기 위해서는 사업초기 단계에서부터 철저한 기술 및 비용분석이 이루어져야 하며 이는 VE(value engineering)활동을 통하여 구체화 된다. 즉, 설계도서 검토과정에서 성능개선 및 원가절감 요소를 찾아내어 건축물의 가치상승을 실현해야 한다. 이러한 활동은 건설분야에서 필수적인 사항으로 현대건설 및 많은 건설사에서 이미 채용하고 있는 공정상의 일부분이다. 본고에서는 VE활

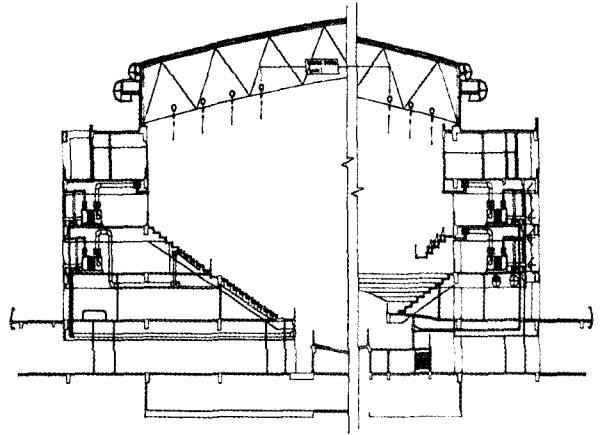


[그림 1] 창원 자전거 경기장 조감도

박 일 규 | 현대건설(주) 건축사업본부 (490611@hdec.co.kr)



[그림 2] 난방설비시공 단면도



[그림 3] 디리벤트 팬 배치 단면도

동의 일례로 현대건설에서 최근 준공하고 사용중인 창원 자전거 경기장에 대한 VE활동을 소개하고자 한다.

## 공조계획

자전거 경기장과 같이 대공간을 갖는 건축물에서는 동절기에 난방을 하여도 따뜻한 공기가 상승하여 상층부에 정체되므로 거주공간에서의 난방이 원활하지 못하며 많은 에너지가 낭비된다. 또한 하절기에는 태양열에 의해 가열된 천장부위로부터의 복사열로 인해 냉방부하를 한층 증가시킨다. 이러한 자전거 경기장 특성을 고려하여 냉난방설비외에 실내공간에서의 고른 온도분포 조성을 위해 원형덕트와 고속노즐을 이용한 하향식 공기순환 시스템을 적용키로 하였다.

## 공사개요

- 일반사항
- 공사명 : 창원 자전거 경기장 신축공사
- 주소 : 경남 창원시 두대동 145번지
- 규모 : 6,000석
- 공사기간 : 1996. 12 ~ 2000. 9 (3년 10개월)
- 공사금액 : 751억원 (대지 및 경륜장비 제외)

## 난방설비 계획

난방설비 시공은 그림 2와 같이 계획되었다.

- 관중석 상층부 벽면에 설치된 사각노즐로부터 하향 13°로 급기된다.
- 주요 관중석에는 바닥 취출구 (floor master)로부터도 급기된다.
- 환기구는 관중석 하층부 벽면에 설치된다.
- 실내온도가 20°C로 유지되도록 장비선정 및 운전제어 된다.

노즐로부터 하향 취출된 공기는 일정거리 도달 후 밀도차에 의한 부력으로 인하여 천정부위로 상승하여 정체되므로 난방효과가 미약할 수 있다. 따라서 이러한 난방효과 저감을 방지하기 위하여 환기설비 계획에서와 같은 공기순환 시스템의 도입이 요구되었다.

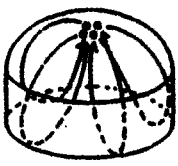
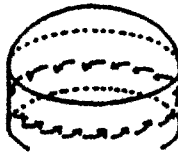
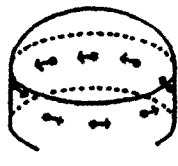
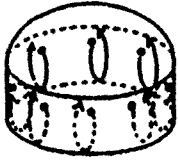
## 환기설비 계획

대공간에서의 냉·난방 효과를 유지하기 위해서는 보조 환기 설비가 요구되며 당 현장에서는 디리벤트방식의 고속치환 시스템을 도입키로 하였다.

본 시스템의 배치는 그림 3과 같다.

본시스템은 관중석 벽면 및 바닥 취출구로부터 급기된 후 천정부로 상승된 따뜻한 공기를 하부로 보내어 거주영역에서의 난방효과를 지속시키며 대공간내 높이에 따른 실내온

<표 1> 공기순환방식 비교

	천장 취출 순환형	벽면 순환형		
		공조 취출 방식	유인 팬 방식	유인 팬 방식
공간 활용	작 다	크 다	크 다	크 다
불균형	불균형	균 일	균 일	균 일
공기 속도	작 다	작 다	크 다	크 다
소음	낮 다	보 통	높 다	높 다
에너지 효율	낮 다	높 다	높 다	높 다
				

도 분포를 고르게 유지시켜 주는 역할을 하게 된다.

## VE 활동

### 활동개요

성능개선 및 공사비 절감을 목표로 각 분야 (건축, 설비, 전기, 토목 등)별로 설계사양에 대한 심층분석을 거쳐 설계 변경 검토 대상을 선정하였다. 그 결과 설비분야에서 공기순환방식 변경을 통한 냉난방 성능 개선 및 공사비 절감을 추진키로 하였다.

### 공기순환 방식 재선정

#### • 공기순환방식 비교

크게 두가지 방식(천장취출 순환형, 벽면 순회형)으로 분류되며 그 중 벽면 순회형은 공조취출방식과 유인팬 방식으로 세분화 된다. 각 방식별 특징은 표 1에서와 같다.

#### • 기존 공기순환 방식(디리벤트 방식) 분석

천장취출 순환형에 해당하는 기존 공기순환방식은 표 1에서 살펴본 바와 같이 벽면 순회형에 비하여 성능, 경제성, 시공성면에서 떨어지는 것으로 나타났다. 그 외 구체적인 단점사항으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- 팬 본체 중량이 크다.
- 소음 및 진동 우려가 크다.
- 닥트 및 노즐 유지보수가 어렵다.
- 내부 비계공사비가 크고 공기가 상대적으로 길다.
- 천장부 미관 파손 우려

#### • 공기순환 방식 선정

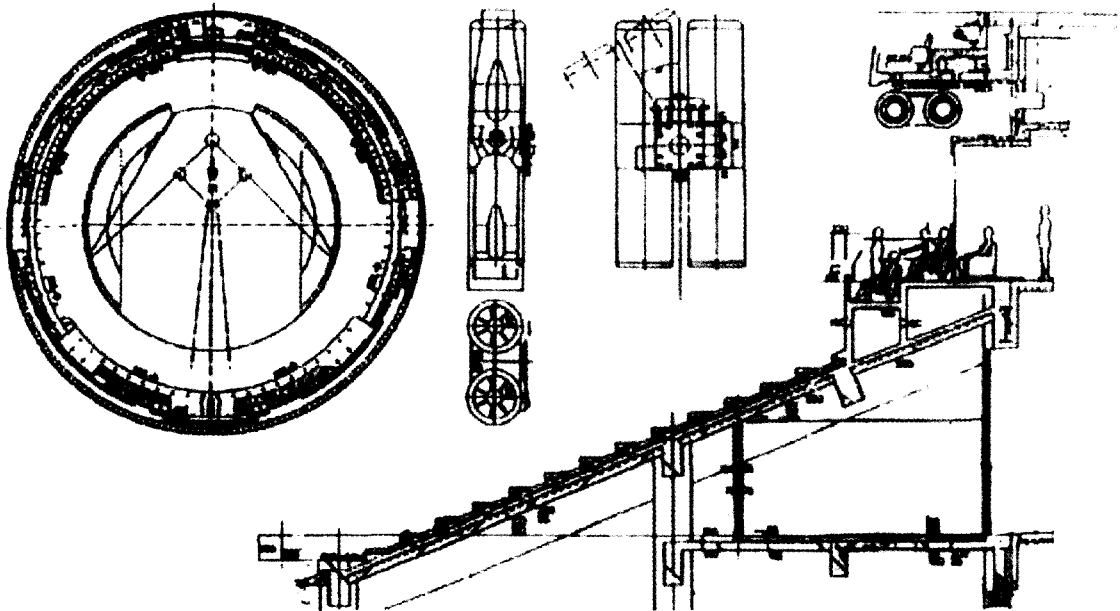
앞에서 살펴본 바와 같이 기존공기순환 방식에 대한 개선 필요성을 알 수 있으며 천장 취출 순환형 방식에 비하여 벽면 순회형 방식이 성능, 경제성, 시공성 면에서 우수한 것을 알 수 있다. 또한 벽면 순회형 방식 중에서도 공조 취출 방식보다 유인팬 방식이 보다 높은 경제성을 보이고 있다. 따라서, 벽면 순회형 유인팬 방식을 기존시스템(천정취출 순환형 디리벤트 방식)의 대체시스템으로 선정하되 외관, 팬용량, 소음문제 등을 감안하여 천정하부에 유인팬(멀티팬)을 설치키로 하였다.

아울러 유인팬 방식 시공사례 조사 및 현대기술 연구소, 대학 및 관련 팬 업체에 타당성 조사를 의뢰하여 성능검증을 병행키로 하였다.

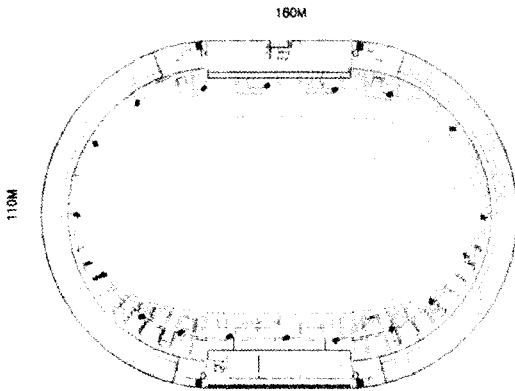
표 2에서 기존시스템과 대체 시스템간의 특징을 비교해 보았다.

<표 2> 기존시스템과 대체시스템의 특징 비교

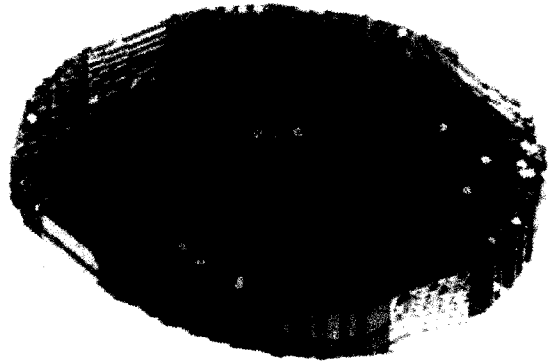
구 분		기존시스템 (천장 취출 순환형 디리벤트팬 방식)	대체시스템 (벽면 선회형 멀티팬 방식)
시 스 템	개 요	덕트 말단 노즐로 수직분사한 하향 순환기류로 공기 회석	실내공기 전체를 도넛형태의 선회류 발생시켜 정체공기 회석
	구 성	터보팬 15대 + 스파이럴 덕트 + 노즐 532개	멀티팬 26대
	장 점	국내적용실적 많다	· 도달거리 길다 · 운전소음 낮다
	단 점	· 운전소음 높다 · 도달거리 짧다	개발초기성능비교 어려움
시 공 성	개 요	터보팬은 종방향 트러스에 덕트는 하단 트러스에 전체 시공	천정부 트러스 상단 조명용 점검통로(CAT-WALK) 위에 설치
	장 점	· 시공기술인력 확보 용이 · 대고객 설득 불필요	· 중량작다 · 비계공사 없음 · 공기단축
	단 점	비계공사로 추가비용 발생 및 공기단축	점검통로(CAT-WALK) 등하중 증대로 안전진단 필요



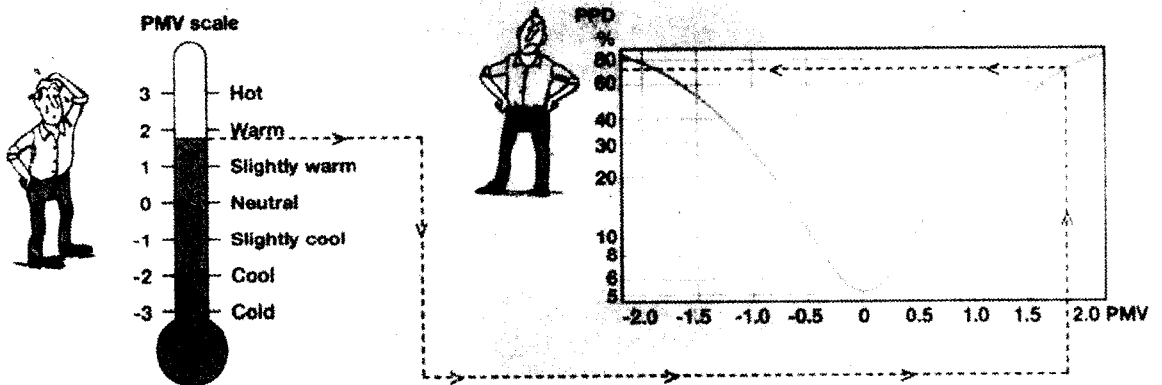
[그림 4] 일본 후쿠오카돔 제트팬 배치도



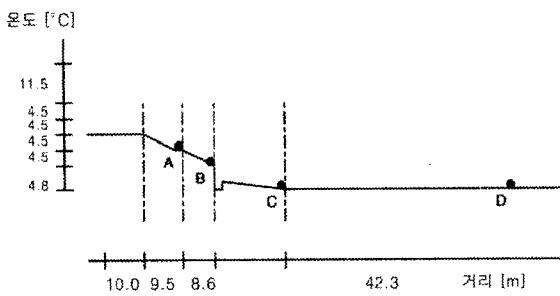
[그림 5] 멀티팬 배치도



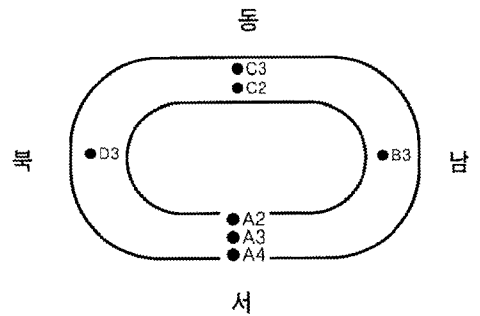
[그림 6] 멀티팬 가동에 따른 형성기류



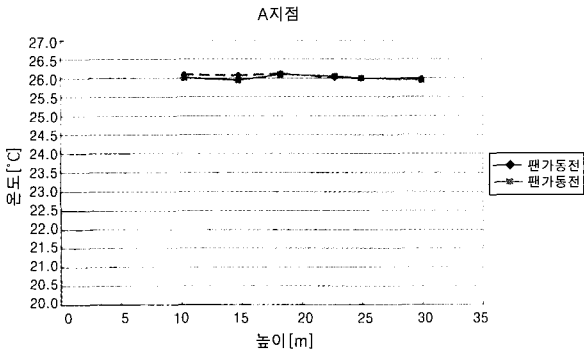
[그림 7] PMV 및 PPD사이 관계



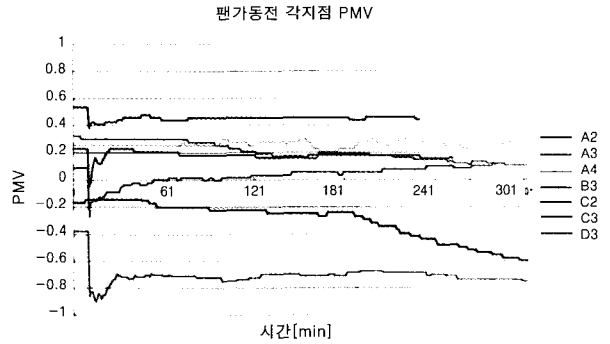
[그림 8] 온도측정 위치도



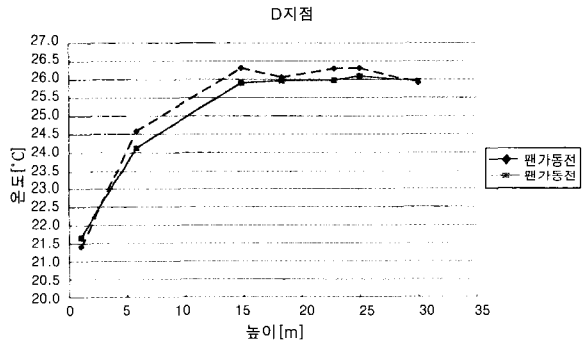
[그림 9] PMV - PPD 측정 위치도



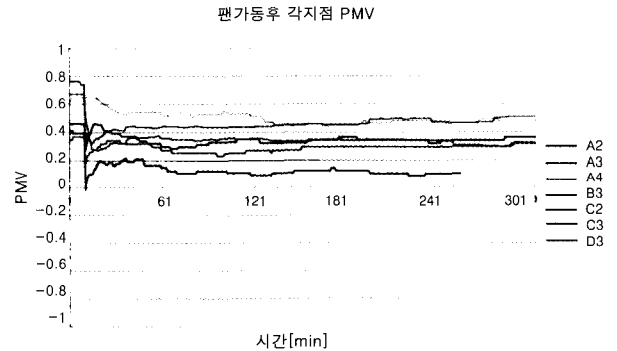
[그림 10] A지점에서의 평균온도값 비교



[그림 12] 멀티팬 가동전 PMV분포



[그림 11] D지점에서의 평균온도값 비교



[그림 13] 멀티팬 가동후 PMV분포

**대체 시스템 (벽면 선회형 멀티팬 방식) 성능 검증**

• 적용사례 조사

감성기류 조성을 목적으로 순환류 팬을 설치하여 소기의 효과를 보고 있는 일본 후쿠오카돔과 마이마시 경륜 경기장을 견학하면서 성능에 대한 확인 및 대체 시스템 구현방안을 조사하였다.

그림 4에 일본 후쿠오카돔내 제트팬 배치를 나타내었다.

• 대체시스템 (벽면 선회형 멀티팬 방식) 적용에 따른 환기기류 특성을 파악하기 위해 수치해석을 수행하였다.

수치해석시 적용된 멀티팬 배치는 그림 5와 같다.

해석결과 그림 6과 같이 멀티팬을 가동함에 따라 상층부에 정체된 따뜻한 공기가 도넛코어를 형성하면서 하향 방향으로 순환하는 양상을 보이고 있다. 즉, 멀티팬으로부터 분사되는 완전발달된 제트의 공간 관통력을 이용하여 실내

공기 전체에 도넛형태의 선회류를 발생시켜 상하공간의 정체된 공기를 희석시킴을 알 수 있다.

• 현장시험을 통한 검증

대체공기순환 방식성능에 대한 최종검증을 위해 시스템 설치 후 운전에 따른 실내 온열환경변화를 측정하였다. 측정은 실내온도, 예상온냉감신고(PMV), 예상불만족도(PPD)에 대해 수행되었다. 한편 그림 7에 PMV와 PPD 사이의 관계를 표시하였으며 ISO 7730의 쾌적도 표준에 준하면 추천되는 PMV 및 PPD는 다음과 같다.

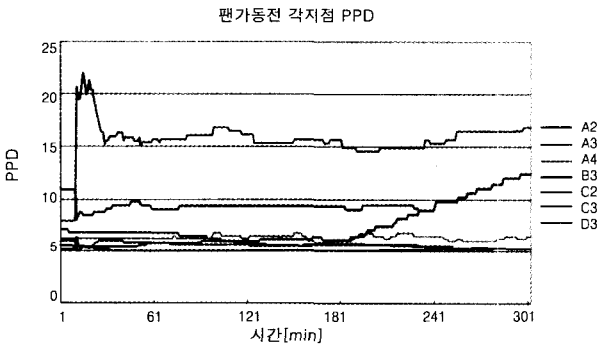
$$-0.5 < PMV < +0.5$$

$$PPD < 10\%$$

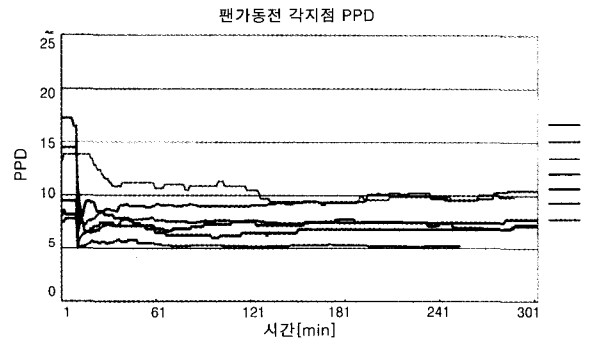
온도 및 PMV, PPD 측정은 각각 그림 8, 그림 9에서 명

〈표 3〉 기존 및 신규 시스템간 비용 비교

항 목		기존시스템 (다리벨트팬 방식)	대체시스템 (멀티팬 방식)	절감액 (기존시스템-대체시스템)
설 치 비	시스템	432,067,000	214,140,000	
	가설공사	327,300,000	0	
	계	759,367,000	214,140,000	545,227,000
운 전 비	연간운전비	37,120,000	6,064,000	
	20년운전비	742,400,000	121,280,000	621,120,000
합 계 (20년운전 기준)		1,502,267,000	335,420,000	1,166,847,000



[그림 14] 멀티팬 가동전 PPD값



[그림 15] 멀티팬 가동후 PPD값

시된 위치에서 이루어졌다.

그림 10에 온도측정점 A(스탠드 상부와 하부사이의 복도)에서 각 높이에 따른 멀티팬 가동전후의 온도비교 결과를 나타내었다. 팬 가동후 관중석으로부터 수직방향으로 약 7m위치까지 온도가 0.1°C 정도 낮아졌다.

관중석 상부근처에서 온도가 약간 떨어지는 것은 멀티팬으로 인해 경기장내에 회전원심력이 발생하여 기류 움직임이 증가되므로 기류에 의한 대류 열전달이 증가되어 온도가 하강한 것으로 판단된다.

한편 그림 11에서는 D지점(안전지대 중앙부)에서 팬 가동 전후 온도비교 결과를 보이고 있다. 가동전보다 가동후에 경기장 지면부근에서는 온도가 상승하였으나 그 이외의 영역에서는 온도가 낮아짐을 알 수 있다.

이상으로부터 멀티팬 가동으로 경기장 지면에서 수직방향으로 나타나는 온도 성층화가 줄어들고 균일한 온도분포가 형성되어감을 알 수 있다.

그림 12 및 13에서 각각 멀티팬 가동전후 각 측정점에서의 시간에 따른 PMV값을 나타내고 있다. 팬 가동전 PMV값은 +0.6과 -0.8에 걸쳐 넓은 분포를 보이고 있다. 한편 팬 가동후의 결과를 나타내는 그림 13에서 알 수 있듯이 C에서 0.6 이내로 PMV분포가 좁혀져 양호한 상태를 보이고 있다.

팬 가동후 PMV분포가 개선됨에 따라 PPD 역시 설계목표치(10%미만)를 만족할 것으로 예상되며 이는 팬 가동전후 각 측정점에서의 시간에 따른 PPD값을 나타낸 그림 14 및 15에서 확인할 수 있다.

**경제성 분석**

표 3과 같이 기존시스템과 대체시스템간 공사비 및 운전비를 비교해 보았으며 20년간 운영을 전제로 대체 시스템 적용에 따라 약 11억 7천만원의 비용 절감효과가 있음을 알 수 있다.

**맺음말**

적은 비용으로 우수한 성능의 건축물을 만드는 것은 고객을 만족시킴과 동시에 건설업체에도 원가절감을 통한 수익 증대를 가져다 준다. 더 나아가 그 결과는 곧 업체의 경쟁력으로 이어질 것이며, 여기에 VE활동의 중요성이 있다 할 것이다. 즉, VE과정은 점차 대부분의 공사에 확대 적용되어 공사의 질을 결정하는 중요한 변수로 작용하게 될 것이다.

현대건설에서는 이미 많은 공사에서 VE를 수행하고 있으며 그 중 한 예로 창원 자전거 경기장에 대한 VE를 소개

하였다. 본 공사에서는 경기장 공기 순환 시스템을 VE항목으로 선정하고 99년 2월부터 약 2년간에 걸쳐 자료조사를 시작으로 수치해석 및 현장실측을 통한 성능 검증까지 긴 과정을 마쳤다. 이러한 활동 경험은 앞으로 수행될 VE활동의 기초가 될 것이며 점차 개선, 발전되어 건축물의 가치를 높여주기 위한 필수과정으로 자리매김 될 것이다.

끝으로 창원 자전거 경기장 VE에 참여하여 많은 역할을 담당했던 대학, 연구소, 팬 생산업체 및 현장소장 이하 직원 여러분께 진심으로 감사드리며 본 사례를 본사 창립 53주년 기념 개선연구사례공모에 제출한 바있고 더군다나 대한설비공학회지에 기고하게 되어 무한한 기쁨으로 생각합니다. 