

압력센서를 이용한 디지털 콘크리트 공기량 시험기 개발에 관한 연구

Study of Digital Air Meter Used Pressure Sensor for Air Content of Freshly Mixed Concretes

윤인준*

이경문**

서인호***

Yoon, In Jun Lee, Kyoung Moon Seo, In Ho

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop digital air meter used pressure sensor for measurement of air content in freshly mixed concrete by pressure method.

The digital air meter can enhanced measurement accuracy and uniformity of air content in freshly concretes, according to use of pressure sensor and measuring process automation.

Finally, the digital air meter in this study is improved reproducibility and reliability of measurement compared with analog air meter.

1.서론

일반적으로 콘크리트 내의 공기는 공기연행체에 의해서 연행되는 연행공기와 혼합비빔 시 말려 들어가는 공기로 구분하게 되는데, 이중에 연행공기는 미세 (약 $10\sim 100\mu\text{m}$)하면서도 베어링과 같이 구상으로 독립해 있고, 이 기포의 평균간격을 나타내는 기포간격이 $150\sim 200\mu\text{m}$ 정도이기 때문에, 콘크리트의 동결융해 저항성을 현저하게 증대시킴과 동시에 콘크리트의 작업성도 개선되는 효과를 가진다.

이와 같은 연행 공기량은 AE제의 첨가량에 비례해서 증가하고, 연행 공기량이 많으면 동결융해 저항성은 향상되지만 강도는 낮아진다. 따라서 연행 공기량의 목표치는 동결융해에 대한 저항성을 얻을 수 있고, 또한 강도를 손상시키지 않는 범위가 되어야 하고, 콘크리트 혼합 비빔 시에 발생하는 공기는 기포경이 크고 진동 등을 받으면 쉽게 부서지는 공기로서 콘크리트의 성능개선에는 거의 기여하지 않음에 따라 콘크리트의 공기량을 샘플링으로 채취하여 항시 측정하여야 한다.

콘크리트의 공기량을 측정하는 목적은 동결융해에 대한 저항성 유무와 슬럼프와의 관계에서 예측되는 강도 등을 판단하기 위함으로 콘크리트의 공기량에 영향을 미치는 인자로서는 시멘트량, 시멘트 분말도, 수량, 미립재료량, 잔골재율, 잔골재 입도분포, 콘크리트 온도 등이 있고, 측정방법으로는 중량법(KS F 2409), 용적법(KS F 2449), 압력법(KS F 2421) 등이 있으며, 현재 압력법이 널리 쓰이고 있다.

중래의 압력법을 이용한 아날로그 콘크리트 공기량 측정 장치는 수동조작에 따른 가압과 초기압력

*정회원, 대운계기산업(주) 기술연구소 책임연구원

**정회원, 대운계기산업(주) 기술연구소 선임연구원

***정회원, 대운계기산업(주) 기술연구소 연구소장

조절로 인하여 작업이 번거롭고, 장시간이 소요되며, 작업자의 숙련도에 따른 측정오차가 발생하여 측정값의 정확도와 신뢰성이 저하되는 문제점이 있었다.

또한, 아날로그 콘크리트 공기량 측정 장치는 공기 핸드 펌프 및 작동밸브 등의 계속되는 조작으로 기계적인 고장과 부르동관을 이용한 압력 게이지를 사용하기 때문에 게이지의 지시바늘 및 내부 래크형 기어의 잦은 고장으로 인하여 측정값의 정확도와 신뢰성이 저하되며, 온도의 변화에 따라 공기량의 측정값이 달라질 수 있는 문제점이 있었다.

본 연구에서는 아날로그 공기량 시험기의 문제점을 해결하기 위하여 본 압력센서를 이용하여 콘크리트 내의 공기량 변화에 따라 발생된 변위를 디지털 신호화하고, 전체적인 시스템을 자동제어 할 수 있도록 설계하여 수동조작에 의한 사용자간 오차를 제거하였고, 온도 보상 프로그램을 통하여 온도에 의한 오차를 최소화한 디지털 콘크리트 공기량 시험기를 개발하고자 하였다.

2. 본론

2.1. 디지털 공기량 시험기 제작

2.1.1. 시험기 제작 기술 개발

디지털 공기량 시험기의 내구성을 확보하기 위하여 진동과 방수 설계하였으며, 탈/부착이 용이하도록 디지털 압력계를 커플링으로 연결하였다. 미세 압력밸브를 설치하여 공기 배기의 신속성과 정확성 확보하였고, 기기 조작부 자동화 및 디지털 표시장치를 도입하였다.

2.1.2. 회로 설계 기술 개발

압력센서를 이용하여 콘크리트 내의 공기량 변화에 따라 발생된 변위를 디지털 신호화하고, 전기적으로 제어할 수 있는 솔레노이드 구조의 작동밸브, 급기부로 공기를 공급하는 펌프에 연결되는 구동모터 등을 이용하여 전체적인 시스템을 자동제어 할 수 있도록 설계하여 초기 압력을 정확하게 자동으로 설정할 수가 있어 측정에 있어서 초기 압력에 의한 오차 및 초기 압력 세팅 시간을 단축할 수 있으며, 디지털 표시에 의한 사용자간 오차를 제거하였고, DC 평활 및 전류 제한 회로를 이용하여 과전류 및 과충전에 대한 안정성을 확보하였다.

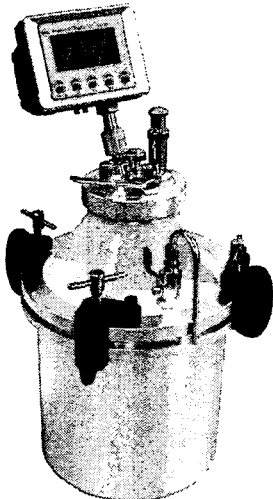


그림 1. 디지털 공기량 시험기.

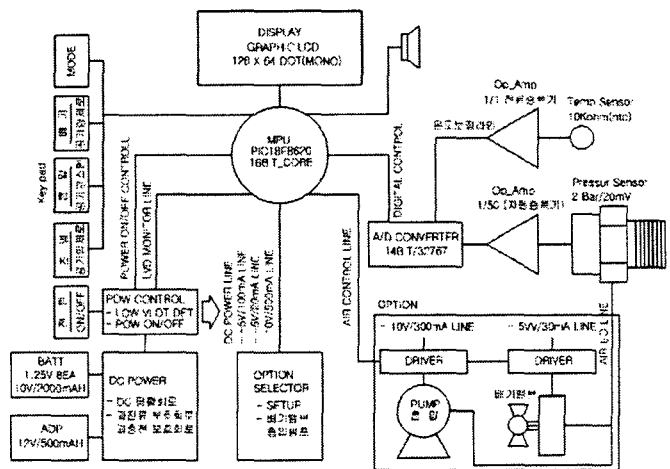


그림 2. 압력센서를 이용한 디지털 공기량 시험기의 block diagram.

2.1.3. 신호처리 algorithm 개발

교정 및 측정 시 압력센서에서 발생하는 전위가 안정화되는 시점을 자동으로 감지할 수 있도록 설계하여 출력신호의 정확성 및 재현성을 확보하였고, 연산프로그램에 온도보정 프로그램을 설계하여 온도에 따른 전위 변화의 보정을 통한 초기 압력을 정확하게 자동으로 설정할 수가 있어 측정에 있어서 초기 압력에 의한 오차 및 초기 압력 세팅 시간을 단축할 수 있으며, 디지털 표시에 의한 사용자간 오차를 제거하였고, 온도 보상 프로그램을 통하여 온도에 의한 오차를 최소화하였다.

2.2. 표준시료 측정을 통한 재현성 및 정확성 평가

개발된 디지털 공기량 시험기의 재현성 및 정확성을 평가하기 위하여 산업기술시험원에 의뢰하여 KS F 2421 “압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법”에 의거 공기량을 임의로 0.0% ~ 10.0%까지 변화시켜 측정한 후 아날로그 공기량 시험기와 비교하였다. 측정 결과 표 1에 나타난 바와 같이 아날로그 공기량 시험기의 경우 측정범위에 따라 -0.9% ~ +0.1%의 측정오차를 나타낸 반면, 디지털 공기량 시험기의 경우 전 측정범위에서 재현성 및 정확성이 우수한 것을 확인하였다.

표 1. 표준시료 측정을 통한 재현성 및 정확성 시험 결과

공기량 (%)	주수법 (%)		무주수법 (%)	
	아날로그식	디지털식	아날로그식	디지털식
2.0	2.1	2.0	2.2	2.0
4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
6.0	5.8	6.0	5.6	6.0
8.0	7.6	8.0	7.4	8.0
9.9	9.5	9.9	9.0	9.9

2.3 디지털 공기량 시험기의 내구성 및 신뢰성 평가

2.3.1. 진동 시험

개발된 디지털 공기량 시험기의 내구성 및 신뢰성을 평가하기 위하여 산업기술시험원에 의뢰하여 가속도 1G, 주파수 55Hz 조건에서 상하, 좌우, 전후방향으로 2시간 진동시킨 후 KS F 2421 “압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법”에 의거 공기량을 임의로 0.0% ~ 10.0%까지 변화시켜 측정하였다. 측정 결과 표 2에 나타난 바와 같이 진동 시험 전과 후의 재현성 및 정확성이 ±0.1% 이내로 우수한 것을 확인하였다.

표 2. 진동시험에 따른 측정치의 재현성 및 정확성 시험 결과

공기량 (%)	주수법 (%)		무주수법 (%)	
	진동시험 전 오차	진동시험 후 오차	진동시험 전 오차	진동시험 후 오차
2.00	-0.1	-0.1	0.0	0.0
4.00	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
6.00	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
8.00	-0.1	0.0	0.0	+0.1
9.99	0.0	0.0	0.0	0.0

2.3.2. 온·습도 시험

개발된 디지털 공기량 시험기의 내구성 및 신뢰성을 평가하기 위하여 산업기술시험원에 의뢰하여 -10℃/70%RH, +40℃/70%RH의 온·습도 조건 하에서 24시간 방치한 후 KS F 2421 “압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법”에 의거 공기량을 임의로 0.0% ~ 10.0%까지 변화시켜 측

정하였다. 측정 결과 표 2에 나타난 바와 같이 온·습도 전과 후의 측정오차가 $\pm 0.1\%$ 이내로 재현성 및 정확성이 우수한 것을 확인하였다.

표 3. 온·습도시험에 따른 측정치의 재현성 및 정확성 시험 결과

공기량 (%)	주수법 (%)		무주수법 (%)	
	온/습도시험 전 오차	온/습도시험 후 오차	온/습도시험 전 오차	온/습도시험 후 오차
2.00	-0.1	-0.1	0.0	0.0
4.00	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
6.00	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
8.00	-0.1	0.0	0.0	+0.1
9.99	0.0	0.0	0.0	0.0

2.3.3. 반복시험 (자체 시험)

개발된 디지털 공기량 시험기의 내구성 및 신뢰성을 평가하기 위하여 산업기술시험원에 의뢰하여 공기량을 4.5%로 고정한 상태에서 300회 연속 반복 측정하였다. 측정 결과 표 4에 나타난 바와 같이 반복시험 전과 후의 측정오차가 $\pm 0.1\%$ 이내로 재현성 및 정확성이 우수한 것을 확인하였다.

표 4. 반복시험에 따른 측정치의 재현성 및 정확성 시험 결과

공기량 (%)	주수법 (%)		무주수법 (%)	
	온/습도시험 전 오차	온/습도시험 후 오차	온/습도시험 전 오차	온/습도시험 후 오차
2.00	0.0	0.0	0.0	0.0
4.00	0.0	0.0	0.0	0.0
6.00	0.0	0.0	0.0	0.0
8.00	0.0	0.0	0.0	0.0
9.99	0.0	0.0	0.0	0.0

3. 결론

본 디지털 자동제어 콘크리트 공기량 측정 시스템은 압력센서를 이용하여 콘크리트 내의 공기량 변화에 따라 발생된 변위를 디지털 신호화하고, 전기적으로 제어할 수 있는 솔레노이드 구조의 작동밸브, 급기부로 공기를 공급하는 펌프에 연결되는 구동모터 등을 이용하여 전체적인 시스템을 자동제어 할 수 있도록 설계하였으며, 초기 압력이나 평형 압력을 측정하는 압력센서, 측정되는 초기 압력이나 평형 압력 및 공기량을 연산하는 연산 프로그램, 측정된 압력이나 연산된 공기량을 표시하는 LCD로 구성되어 각 부품의 보수 및 자동화가 용이하며, 초기 압력을 정확하게 자동으로 설정할 수가 있어 측정에 있어서 초기 압력에 의한 오차 및 초기 압력 세팅 시간을 단축할 수 있으며, 디지털 표시에 의한 사용시간 오차를 제거하였고, 온도 보상 프로그램을 통하여 온도에 의한 오차를 최소화하였다. 또한, 공기량 변화에 따른 압력변화의 재현성, 지속성, 안정성을 확보하였으며, 상용화된 아날로그 공기량 시험기와 비교하여 재현성 및 정확성을 재고하였고, 다양한 내구성 및 신뢰성 시험을 통하여 측정치의 신뢰성을 확보하였다.

참고문헌

1. KS F 2421, "압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법"
2. ISO 4848, "Concrete- Determination of air content of freshly mixed concrete. Pressure method"
3. ASTM C 231, "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method"