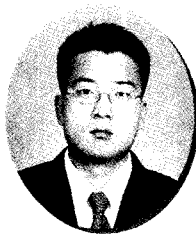


굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구



김형택
한국토지공사
시험연구센터 차장



채성진
한국토지공사
시험연구센터 대리
(donkeyhote@
iklc.co.kr)



이보성
한국토지공사
시험연구센터 주임



김외학
한국토지공사
시험연구센터 주임

1. 서론

도로는 노체, 노상, 보조기층, 아스콘등의 재료를 이용하여 일반적으로 시공된다. 각 공종을 보면, 노체·노상의 품질확보를 위해 “모래치환법에 의한 흙의 밀도시험(현장밀도시험)”으로 다짐도를 각각 A다짐 90%, D다짐 95%이상 되도록 시공하고, 보조기층은 평판재하시험에 의거 K_{30} 값이 30이상이 확보되도록 각종 시방서에 명시한대로 시공하고 있다. 각 목적물의 품질을 확보하기 위한 현장 다짐은 실내다짐시험 OMC의 $\pm 2\%$ 내에서 다짐관리하기 위해, 재료의 포설후 다짐전에 반드시 함수비시험을 실시하도록 명시하고 있다. 이 함수비시험은 국내 KS F 2306과 급속함수비시험(건설기술관리법에서 명시)으로 규정하고 있다. KS F 2306에 의한 함수비시험은 노건조로 $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 24시간이상

가열하여 시험함으로 24시간 이상의 시간소요로 원활한 공사진행을 위해 사용하기가 지난하다. 또한 급속함수비시험은 건설공사현장에서 일반적 영국 BS 812에 의거 실시하고 있는데, 이 시험은 시료량이 약20g정도를 사용함으로 굵은골재가 포함될 경우 함수비 측정이 어려움점이 있어 시험값의 신뢰성에 의문을 제기할수 있다. 이러한 두 문제점을 해결할 방안으로 우리공사에서 시행하고 있는 전국현장의 대표시료를 채취하여 실내에서 함수비시험을 각종 조건에 따라 연구시험을 실시하고, 또한 미국 AASHTO T 224-01에서 제시하고 있는 굵은골재의 함수비 2%와 굵은골재 포함율에 따른 함수비 보정공식에 대해 실내시험결과와의 비교분석을 실시하고, 또한 실내시험 결과와 시방서에서 명시하고 있는 입도분포에 따른 수학적 분석을 통해 비교 분석하므로 굵은 골재가 함수비에 미치는 영향을

굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구

연구하였다. 이 결과를 토대로 건설공사현장에서 공학적으로 함수비를 측정할 수 있는 방안을 제시하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 이론적 배경

2.1 각종 시험방법

2.1.1 실내다짐시험(KS F 2312)

건설공사현장 재료인 토사, 보조기층을 실내다짐 시험법 KS F 2312의 규정에 따라 최대건조밀도 및 최적함수비(OMC)를 측정하는 시험이다. 본 시험결과로 그림 1과 같은 다짐곡선을 구할수 있으며, 최대 건조밀도는 식(1)과 같이 산출되고, OMC는 그림 1과 같이 구한다. 산출된 최대건조밀도는 다짐도 판정의 기준값으로 사용되고, 다짐시 최적 환경은 $OMC \pm 2\%$ 내에서이므로, 다짐전에 함수비를 확인하여 OMC값과 비교하여 최적의 상태를 확인한다.

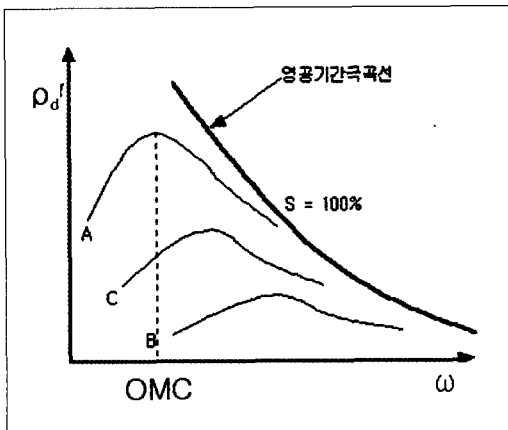


그림 1. 다짐곡선

$$P_d = \frac{P_t}{1+(W/100)} \quad (1)$$

P_d : 최대건조밀도

P_t : 습윤밀도

W: 함수비

2.1.2 AASHTO T 224-01(조립자 보정 및 함수비 보정)

AASHTO T 99, 180에 의해 실시한 최대건조밀도 값을 보정하는 절차와 굵은 골재가 포함된 재료에 대해 함수비를 보정하는 절차를 규정하고 있다. 이 규정은 미국 도로교통협회에서 제시한 방법이다. 그리고 미국 실내다짐시험과 마찬가지로 국내 KS규정의 실내다짐시험 방법도 일정규격 즉 20mm를 통과한 시료만 가지고 실내다짐시험을 시행하도록 규정하고 있다. 하지만 국내 규정에서는 조립자 보정에 대한 기준이 없어 이 규정을 일반적으로 적용하고 있다. 이 방법을 국내 규정에 적용하는 것에 대한 적합성은 별도로 검토하기로 하고 그 결과만 명시하면 KS F 2312의 A, C, D다짐만 적용할 수 있으며, 공사현장에서 현장 밀도시험시 체분석을 통한 20mm체 잔류량이 30% 이하에서만 적용한다. AASHTO T 224-01에서 제시한 공식은 식 (2), (3)와 같이 산출된다.

$$D_d = 100D_f \kappa / (D_f P_c + \kappa P_t) \text{ (조립자 보정방법)} \quad (2)$$

D_d = 보정된 건조밀도(결합한 잔골재와 굵은 골재) $kg/m^3(pcf)$

D_f = 실내다짐시 결정된 최대건조밀도 $kg/m^3(pcf)$

P_t = 무게에 의한, 사용된 체의 잔골재(통과한 골재)의 백분율

P_C = 무게에 의한, 사용된 체의 굵은 골재(남은 골재)의 백분율

κ = 1000x * 굵은 골재의 절건비중 kg/m³

$$MC_T = \frac{(MC_f \times P_f + MC_c \times P_c)}{100} \text{ (함수비 보정공식) (3)}$$

P_f = 무게에 의한, 20mm체의 통과한 골재의 백분율

P_c = 무게에 의한, 20mm체에 남은 골재의 백분율

MC_T = 소수로 표현된, 결합한 잔골재와 굵은 골재의 보정된 함수비

MC_f = 소수로 표현된, 20mm체 통과한 골재의 함수비

MC_c = 소수로 표현된, 20mm체에 남은 골재의 함수비

2.1.3 함수비 측정

국내에서의 함수비측정은 KS F 2306에 의한 함수비 시험법, 급속함수비시험(BS 812)에 의하여 일반적으로 이루어진다. 각 두 시험법은 그 목적과 공종에 따라 각기 달리 사용하고 있다. 한국토지공사에서는 실내다짐시험을 실시할 경우는 KS F 2306에 따라 함수비시험을 실시하고, 재료의 포설후 다

짐전 함수비 측정에서는 급속함수비시험을 실시하도록 규정하고 있다. 그 이유는 KS F 2306에 따라 시험할 경우 최소 24시간의 시간이 소요되므로, 다짐도 판정에 시간이 지연되어 공정 진행이 어렵고, 또한 포설후 다짐전에 함수비를 확인하여 OMC 부근 최적상태에서 다짐을 실시하여야 하는데 시간소요로 인해 함수비 변동이 발생할 수 있어 즉시 확인이 가능한 급속함수비시험을 사용하고 있다. 각 시험법의 함수비 계산은 식 (4), (5)과 같이 산출한다.

$$w = \frac{\text{(시료와 용기의질량-노건조시료와 용기의질량)}}{\text{(노건조시료와 용기의 질량-용기의 질량)}} \text{ KSF 2306함수비시험 (4)}$$

$$w = \frac{\text{함수율}}{100-\text{함수율}} \text{ BS 812급속함수량시험 (5)}$$

2.1.4 시방서 규정

굵은 골재가 주로 사용되는 보조기층에 대한 도로공사표준시방서 및 한국토지공사 전문시방서 품질기준, 건설공사현장에서 시공시 품질시험기준은 표 1과 표 2와 표 3과 같다. 도로에 사용되는 재료는 실

표 1. 도로공사표준시방서 보조기층등에 대한 품질기준

시험종목	구 분	일반도로		
		등상방지층	보조기층(SB-1,2)	입도조정기층
함수비의 허용치		± 2%	± 2%	± 2%
최대치수		100mm이하	80, 50mm이하	50, 40mm이하

표 2. 도로공사표준시방서 및 한국토지공사 보조기층재료의 입도기준

번호	입도	통과중량 백분율(%)								
		100mm	80mm	50mm	40mm	19mm	5mm	2mm	0.4mm	0.08mm
SB-1			100	-	70~100	50~90	30~65	20~55	5~25	2~10
SB-2			-	100	80~100	55~100	30~70	20~55	5~30	2~10

굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구

표 3. 건설기술관리법 및 한국토지공사 보조기층 품질시험 기준

종별	시험종목	시험방법	시험빈도
보조기층	함수비	KS F 2306	골재원마다, 포설후 다짐전 500㎡ 마다 1회
	체가름	KS F 2502	골재원마다, 1,000㎡ 마다 1회

내다짐시험을 실시하여 최대건조밀도, OMC를 구하고, 현장에서 시공할때는 반드시 함수비시험을 실시하여 품질관리하도록 규정하고 있다. 그 외의 노상, 노체에 대한 품질관리 또한 이와 유사하다.

3. 연구시험 목적 및 방법

3.1 함수비 측정 목적

3.1.1 함수비 보정 목적 및 필요성

건설공사현장 실내다짐시험, 액성한계, 소성지수 등을 산출하고자할 때는 KS F 2306에 따라 함수비 시험을 실시한다. 이와 같이 실내에서 이루어지고 시간에 구애받지않거나, 정밀도 높은 시험이 요구될 때 본 시험법을 적용한다. 표 1과 같이 도로 노체, 노상, 보조기층 재료의 시공시 최적의 다짐조건에서 시공하기 위해서는 OMC의 $\pm 2\%$ 내에서 다지도록 규정하고 있다. OMC $\pm 2\%$ 내 함수비를 확인하기 위해서는 표 1, 표 3에서 규정하고 있듯이 재료의 포설후 다짐전에 함수비시험을 실시하여야 하며, KS F 2306에 따라 함수비시험을 실시할 경우는 항온건조로를 사용하여 최소 24시간이 소요된다. 이 시간 동안 기상조건과 현장여건 등이 변화하여 시공시 재료의 함수비와 달라질 수 있다. 또한 현장에서는 함수비시험 결과 도출이 시간지연되어 현장 공정진행 차질이 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해소하기위해 건설기술관리법은 급속함수비시험을 허용하고 있으며, 한

국토지공사의 경우도 영국에서 제정된 BS 812 급속 함수비시험을 사용하여 함수비시험을 실시토록하고 있다.

급속함수비시험의 단점은 약20g의 시료를 사용하여 시험을 실시하므로 굵은 골재가 포함될 경우 그 시험결과에 대한 신뢰할 수 없다는 것이다. 이런 문제점에 대해 현재까지 어떠한 대안도 없어, 본 연구시험을 통해, 굵은 골재가 함수비에 미치는 영향 즉 굵은 골재와 잔골재 함수비를 보정하는 방법을 제시하고자 한다. 이때 어떤체를 기준으로 보정할 것인가가 중요한 문제이다. 보정공식은 AASHTO T 224-01에서 제시하고 있는 식(3)을 적용하고, 또한 일반적인 건설현장에서 '굵은 골재의 함수비는 2% 이다' 라고 명시되어 있는 이 값에 대해서 검증하기로 한다. 또한 굵은 골재가 포함된 재료의 함수비 측정방법으로 급속함수비시험의 실시와 그 공학적인 절차를 제안하고자 한다.

3.1.2 함수비 연구시험 방법

시료채취는 현재 한국토지공사에서 시행중인 각 지역별 대표 시료를 노상재료, 보조기층 재료 각각 50kg정도로 샘플을 채취하였다. 시행중인 공사현장은 수도권, 전남권, 전북권, 경남권, 경북권에 대하여 실제로 시공되고 있고, 지방규정에 적합재료를 채취하였다. 각 지역별로 채취한 이유는 다양한 종류의 흙에 대한 함수비 변화와 각기 다른 밀도값에 대한 함수비 변화, 입도분포가 다른 재료를 사용하고 있는 특성에 대한 함수비 변화등을 여러각도에서 검토

할 수 있도록 하기위해 지역별로 채취하였다. 굵은 골재가 포함된 보조기층 재료를 채취한 것은 건설공사현장에서 보조기층재료가 가장 많이 사용되고 동상방지층도 같은 재료로 사용되는 경우도 많으며, 입도분포 표 2와 같이 굵은 골재 분포형태로 볼때 본 재료로만의 시험결과로도 굵은 골재가 함수비에 미치는 영향을 파악하여 대표적인 값을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

보조기층 재료로 채취된 시료에 대해서 함수비를 3%, 5%, 7%, 9%, 11% 가수를 하여 본 시료를 체분석을 통해 20mm체 통과시료, 잔류시료, 전체 혼합시료로 구분하여 KS F 2306에 의한 함수비시험하였다. 가수후 체분석을 실시한 이유는 현장에서 함수된 상태에서 체분석을 실시할 수 밖에 없으며, 현장의 상태와 일치하기위해서이다. 즉 굵은 골재에 잔분이 붙어있어 함수비에 영향을 미치므로 이 영향을 일치시키기 위해서이다. 그리고 5mm체 통과시료에 대해서는 KS F 2306에 의한 함수비시험(노건조로), 급속함수비시험(급속), 가칭 열을 가하여 태우는 방식(난로)로 구분하여 각 측정방식에 따른 신뢰성을 검증한다. 토사도 위와 같은 방식으로 유사하게 시험을 실시한다.

토사내에서도 굵은 골재가 함수비에 미치는 영향을 연구하기위해서는 AASHTO T 224-01의 적용 조건사항인 20mm체 잔류량이 30%이내이므로 각 임의의 토사에서 굵은 골재 즉 현장에서 포함될 수 있는 40mm이하의 골재를 10%, 20%, 30%를 혼합하여 물을 9%, 11%, 13%가수하여 20mm체 통과분과 잔류분, 전체 시료로 노건조로 시험을 실시하여 식(3)으로 합성한 함수비와 검토하여 적용성을 동시에 연구한다.

3.2 밀도 시험 및 흡수율시험 목적

채취된 시료에 대하여 함수비에 영향을 줄수있는 인자인 밀도와 흡수율을 산출하여 그 분포범위와 영향을 미치는 정도를 파악하기 위해 실시하였다. 밀도는 보조기층재료 굵은 골재에 대한 밀도시험을 실시하였고 토사에 대한 것은 노상재료에 대해 흙의 밀도를 추가하여 토사의 밀도분포를 파악하였다. 또한 각종 문헌조사와 한국토지공사 시험연구센터에서 실시한 자료를 수렴하였다. 이를 통해 구한 시험결과로 AASHTO T 224-01에서 밀도값을 산출하기 어려운 경우에는 일반적인 건설공사현장 굵은 골재의 밀도값을 2.6으로 제시하고 있다. 이 값의 검증과 국내 굵은 골재의 밀도값을 산출하기 어려울 경우 이에 대한 대표값을 적정하게 제시하기 위함이다. 각 재료의 밀도시험 및 흡수율시험은 국내 KS 규정에 따라 실시한다.

4. 수치적 계산 및 연구시험 결과 분석

4.1 수치적 계산 분석

4.1.1 수치적 계산 분석

함수비 변화에 대해서 수치적으로 계산하기위해서 굵은 골재의 입도분포에 따른 다양한 변화는 동상방지층이나, 보조기층, 입도조정기층등 모두가 비슷하기 때문에 일반적으로 많이 사용되는 보조기층 SB-1의 입도분포로 분석하였다. 그리고 각 시방서에 규정하고 있는 굵은 골재 최대 흡수율 3%로부터 0.5%(실험에 의한 최소값)까지를 굵은 골재의 함수비로 가정하였으며, 굵은 골재의 함수비를 각 0.5%

굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구

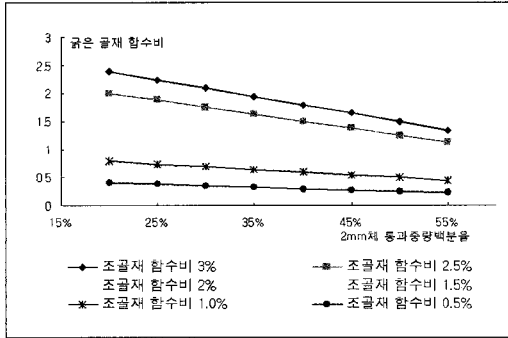


그림 2. 2mm체 기준으로 전체 재료에서 굵은골재 함수비가 차지하는 변화

단위로 구분하여 전체시료에 영향을 미치는 것을 수치적으로 계산하였다. 또한 잔골재 즉 토사 함수비는 5~18.5%까지 자연상태에서 발생할 수 있는 함수비 변화를 가정하여 분석하였으며, 모래와 자갈로 구분되는 2mm체와 5mm체 두가지로 나누어서 산정하였다. 그림 1, 그림 2는 굵은 골재의 함수비 변화에 따른 전체시료에서 굵은 골재 함수비가 차지하는 변화이다. 샘플로 채취된 시료와 한국토지공사에서 실시한 재료의 입도분포를 분석하면 2mm체 잔류율은 30%내외, 5mm체 잔류율은 40%내외로이다.

급속함수비시험기는 시료를 약 20g정도를 사용하여 측정하는 장비이므로 5mm이하에 통과되는 시료로 함수비를 측정할 수 있다. 따라서 이 장비로 측정가능한 2mm체를 기준으로한 2mm통과중량 백분율에 대한 함수비 변화와 굵은 골재 함수비 변화를 알아보기위해, AASHTO T 224-01에 명시된 합성공식을 적용한 함수비 변화를 분석코자 그 분포의 범위를 각 0.5%단위로 함수비 변화 경향을 분석한다. 그러기위해서는 보조기층의 OMC는 현재까지 현장에서 사용한 시료를 가지고 데이터분석하면 일반적으로 5~7% 범위내이다. 합성함수비가 이 범위내에서 2mm체 통과중량 백분율(20~55%변화)

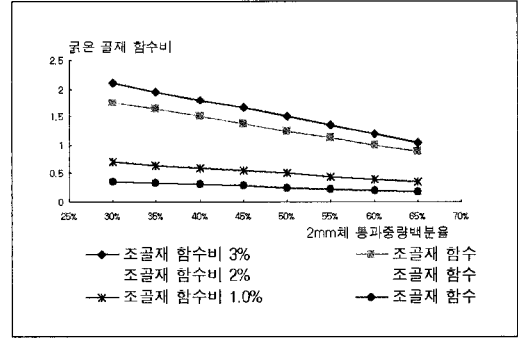


그림 3. 5mm체 기준으로 전체 재료에서 굵은골재 함수비가 차지하는 변화

과 함수비변화, 그리고 각 굵은골재의 함수비변화 (0.5~3%)에 따른 OMC가능 범위에 대하여 분석한 결과가 표 4와 같다. 또한 5mm체 통과중량 백분율 (30~65%)로 분석하는 것도 위와 같으며, 분석결과는 표 5와 같다.

AASHTO T 224-01을 보면, 건설공사현장에서 사용되는 굵은 골재함수비는 2%라고 규정하고 있고, 또한 여러 시험결과를 보면 1.7%이상의 경우도 거의 없습니다. 이러한 여러조건을 고려할 때, 2mm체 통과시료의 함수비 5~18.5%까지 변동시키고, 굵은 골재 함수비를 0.5~3%까지 변화시켰을 때의 수치적 계산결과를 보면, 굵은 골재 함수비가 전체 재료에서 차지하는 함수비는 최대 2.4%이나, 굵은 골재 함수량이 전체 재료에 대한 함수비는 0.98~1.5%내외에서 변동한다는 것을 알수 있다. 2mm체 통과시료의 함수비도 전체 재료의 OMC에 적합하려면 11~17%내외임을 알수있다. 그리고 5mm체 통과시료의 함수비도 5~18.5%까지 변동시키고, 굵은 골재 함수비를 0.5~3%까지 변화시켰을 때의 수치적 계산결과를 보면, 굵은 골재 함수량이 전체 재료에서 차지하는 함수비는 최대 2.1%이나, 굵은 골재 함수량이 전체 재료에 대한 함수비는 0.83~1.3%내외에

표 4. 2mm체 통과 함수비-합성함수비(OMC 5~7%사이의 함수비) 분석결과

2mm체통과 중량백분율	합성함수비 5~7%범위에서 2mm체를 통과한 시료의 함수비 범위(%)					
	굵은골재의 함수비 3%	굵은골재의 함수비 2.5%	굵은골재의 함수비 2.0%	굵은골재의 함수비 1.5%	굵은골재의 함수비 1.0%	굵은골재의 함수비 0.5%
20%	13~18	15이상	17이상	18.5이상	18.5이상	18.5이상
25%	11~17	12.5~18.5	14이상	15.5이상	17이상	18.5이상
30%	10~15	11~16	12~17	13.5~18.5	14.5이상	15.5이상
35%	9~13	10~14	11~15	11.5~16	12.5~17	13.5~18
40%	8~12	9~12.5	9.5~13.5	10.5~14	11~15	12~15.5
45%	7.5~11	8.5~11.5	9~12	9.5~12.5	10~13.5	10.5~14
50%	7~10	7.5~10.5	8~11	8.5~11.5	9~12	9.5~12.5
55%	7~9.5	7.5~10	7.5~10.5	8~10.5	8.5~11	9~11.5

표 5. 5mm체 통과 함수비-합성함수비(OMC 5~7%사이의 함수비) 분석결과

5mm체통과 중량백분율	합성함수비 5~7%범위에서 5mm체를 통과한 시료의 함수비 범위(%)					
	굵은골재의 함수비 3%	굵은골재의 함수비 2.5%	굵은골재의 함수비 2.0%	굵은골재의 함수비 1.5%	굵은골재의 함수비 1.0%	굵은골재의 함수비 0.5%
30%	10~14.5	11~16	12~17	13.5~18	14.5이상	15.5이상
35%	9~13	10~14	11~15	11.5~15.5	12.5~16.5	13.5~17.5
40%	8~11.5	9~12.5	9.5~13	10.5~14	11~14.5	12~15.5
45%	7.5~10.5	8.5~11.5	9~12	9.5~12.5	10~13	10.5~14
50%	7~10	7.5~10.5	8~11	8.5~11.5	9~12	9.5~12.5
55%	7~9.5	7.5~10	7.5~10	8~10.5	8.5~11	9~11.5
60%	6.5~9	7~9	7~9.5	7.5~10	8~10	8~10.5
65%	6.5~8.5	6.5~8.5	7~9	7~9	7.5~9.5	7.5~9.5

서 변동한다는 것을 알 수 있다. 2mm체 통과시료의 함수비도 전체 재료의 OMC에 적합하려면 9~15% 내외임을 알 수 있다.

위의 수치적 계산결과만 보더라도 굵은 골재 함수비가 전체재료에서 차지하는 비율은 2%가 넘지 않는다. 그리고 함수비가 높을 수록 조립자보정을 적용한 다짐도 판정시 안전측으로 해석됨에 따라 굵은 골재의 함수비를 일반건설현장에서 2%하고 규정한 AASHTO T 224-01를 도입 적용하여도 될 것이다.

4.2 연구시험 결과

4.2.1 굵은 골재에 대한 연구시험 결과

각 지역별로 채취한 시료를 가지고, 5mm체, 20mm체를 기준으로 하여 체분석한 물성시험에 대한 결과는 표 4와 같다. 함수비시험은 20mm통과시료, 잔류시료, 전체시료에 대하여 물을 3~13%까지 가수하여 KS F 2306에 의한 시험을 실시하였다. 각 권역별 굵은 골재 물성시험 결과는 표 6과 같다. 그리고 5mm체 통과시료 노건조로, 급속함수비시험,

굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구

열을 가하는(난로) 시험으로 함수비를 각각 시험하였으며, 각 경우에 따른 시험결과는 표 7과 같다. 시료를 채취한 건설공사현장에서 실시한 직접 수행한 시험성적 결과는 표 8과 같다.

4.2.2 토사에 대한 연구시험 결과

토사에 대해서도 굵은 골재와 같은 방법으로 시료를 채취하였으나, 연구시험을 실시하기에 적합한 재료로 판정된 4개 권역에 대해서 시험했는데, 이 중에서도 20mm체에 잔류하는 골재가 거의 없는 것이

표 6. 도로공사표준시방서 및 한국토지공사 보조기층재료의 입도기준

구분	20mm체 통과율(%)	20mm체 잔류율(%)	5mm체 통과율(%)	5mm체 잔류율(%)	골재밀도 (g/cm ³)	골재 흡수량 (%)	골재 마모율 (%)
부산권	64	36	23	77	2.73	0.7	11.9
전남권	60	40	26	74	2.61	1.1	7.8
경남권	77	23	39	61	2.63	1.1	9.5
충부권	62	38	22	78	2.61	0.9	22.5
충부권	65	35	34	66	2.59	1.1	12.2
경북권	60	40	32	68	2.6	1.9	19.8
전북권	67	33	44	56	2.69	0.7	12.0

표 7. 함수비 측정방법에 따라 실내시험 결과

구분	함수비를 3% 가수한 경우 함수비(%)						함수비를 5% 가수한 경우 함수비(%)					
	전체 함수비	20mm 통과 노건조	20mm 잔류 노건조	5mm통과시료			전체 함수비	20mm 통과 노건조	20mm 잔류 노건조	5mm통과시료		
				노건조	급속	난로				노건조	급속	난로
부산권	3.2	4.5	0.7	5.0	6.3	5.0	5.4	7.1	1.5	5.4	6.4	5.9
전남권	3.1	4.4	0.8	5.9	7.4	5.9	5.3	6.8	1.6	8.6	8.6	5.1
경남권	3.0	3.8	0.7	3.8	4.1	3.8	9.0	6.6	1.2	6.7	7.6	6.9
충부권	3.1	4.4	0.9	5.1	7.4	5.1	5.0	7.3	1.8	6.5	7.6	4.6
충부권	3.1	4.1	0.9	4.6	5.0	4.6	5.0	6.7	1.6	9.0	10.7	4.5
경북권	3.5	4.9	1.2	5.5	6.2	5.5	5.2	7.3	2.0	6.5	6.5	6.6
전북권	3.1	6.8	0.8	3.6	4.8	3.6	5.2	6.7	1.6	5.1	6.5	4.8

구분	함수비를 7% 가수한 경우 함수비(%)						함수비를 9% 가수한 경우 함수비(%)					
	전체 함수비	20mm 통과 노건조	20mm 잔류 노건조	5mm통과시료			전체 함수비	20mm 통과 노건조	20mm 잔류 노건조	5mm통과시료		
				노건조	급속	난로				노건조	급속	난로
부산권	6.8	10.1	1.2	10.3	11.2	10.3	8.9	13.8	1.1	12.8	16.3	11.7
전남권	7.1	10.0	2.5	10.2	11.6	10.2	10.6	15.8	1.7	13.9	16.8	13.3
경남권	7.6	8.8	1.9	8.1	10.0	8.1	9.4	11.4	1.5	9.0	12.1	8.7
충부권	7.4	10.5	1.8	10.4	11.6	10.4	9.2	13.6	1.5	9.5	11.7	9.1
충부권	7.0	9.5	2.7	10.1	11.5	10.1	9.5	12.4	2.7	11.8	15.9	12.0
경북권	7.4	10.9	2.0	10.1	12.1	12.0	9.4	14.3	1.9	10.4	12.1	10.5
전북권	7.1	9.8	1.3	12.0	8.3	7.2	9.3	12.8	1.6	9.5	12.5	9.6

표 8. 공사현장에서 실시한 시험결과

구분 (g/cm ³)	합성밀도 흡수율(%)	굵은 골재	OMC 통과량(%)	5mm체 통과량(%)	20mm체 통과량(%)	2mm체 (%)	굵은골재 최대치수(mm)
전남권	2.61	0.98	6.8	40	87	27	50
충부권	2.65	1.4	5.3	38	58	26	75
충부권	2.62	0.8	6.8	37	89	26	50
경북권	2.65	0.7	6.6	43	75	27	50
전북권	2.73	0.5	6.2	54	67	38	37.5

대부분이다. 일단 각 권역별 시험의 특성을 보면 표 9와 같다. 토사내의 굵은 골재가 함수비에 미치는 영향을 연구하기 위해 임의로 토사에 20mm체에 남는 재료를 각각 10%, 20%, 30%를 첨가하여 함수비를

9%, 11%, 13% 가수하여 시험한 결과는 그림 4와 같다. 20mm체 잔류시료를 30%까지만 첨가한 이유는 AASHTO T 224-01에서 조립자보정의 적용하는 경우는 20mm체 잔류가 30%미만의 경우만 적용토

표 9. 굵은 골재에 대한 물성시험 결과

구분	20mm체 잔류율(%)	10mm체 잔류율(%)	5mm체 잔류율(%)	5mm체 통과율(%)	5mm 잔류시료		5mm 잔류시료	
					밀도	흡수율(%)	밀도	흡수율(%)
경남권	0	3	11	89	2.03	12.4	-	-
충부권	3	12	26	74	2.36	4.7	-	-
경북권	6	15	25	75	2.04	11.4	2.20	4.8
전북권	17	28	33	67	2.34	4.8	2.36	4.4

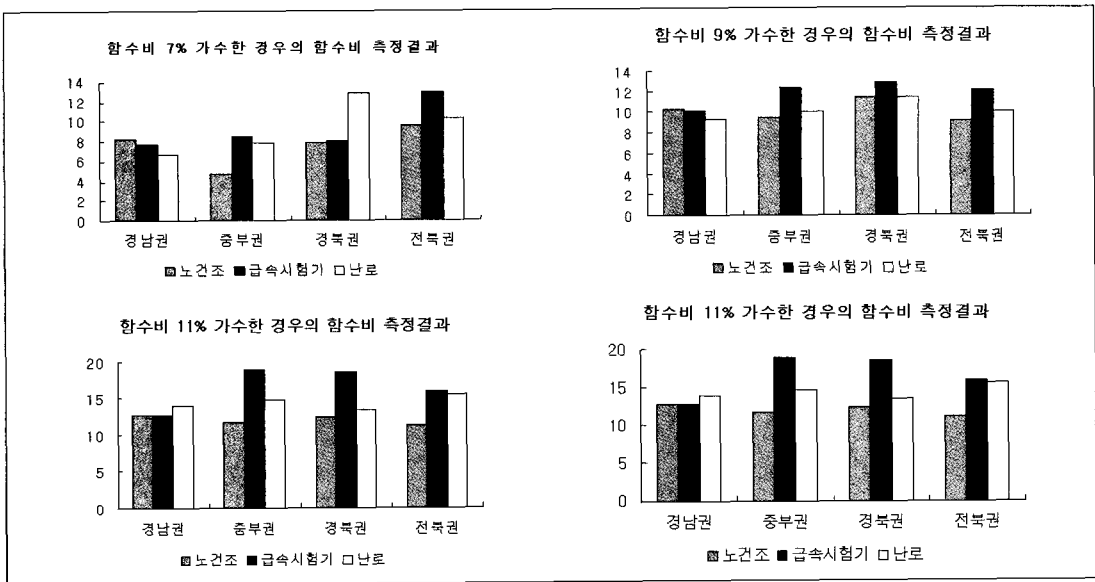


그림 4. 5mm체 통과시료 토사의 함수비 측정방법에 따른 실내시험 결과

굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구

표 10. 토사에 20mm체에 남는 시료를 첨가하여 임의로 시료조제한 시험데이터

20mm체 잔류량 구분(%)	함수비를 9% 가수한 경우 함수비(%)			함수비를 11% 가수한 경우 함수비(%)			함수비를 13% 가수한 경우 함수비(%)		
	전체 함수비	20mm통과 노건조	20mm잔류 노건조	전체 함수비	20mm통과 노건조	20mm잔류 노건조	전체 함수비	20mm통과 노건조	20mm잔류 노건조
10%	9.4	11.5	1.8	12.4	12.4	0.8	12.0	14.2	1.2
20%	10.8	11.9	1.0	11.4	11.9	1.0	14.1	16.5	1.2
30%	9.7	11.9	1.1	12.9	16.9	1.5	15.8	21.6	2.4

록 명시하고 있으며, 그이상은 앞의 굵은 골재에 대해서 연구시험 결과로 적용할 수 있으므로 30%까지만 구분하여 시험을 실시하였다.

4.2.3 한국토지공사 시험연구센터에서 수년간 실시한 보조기층 시험결과

한국토지공사 시험연구센터에서 수년간 시험한 보조기층 재료에 대한 대표적인 물성시험 데이터는 표 11과 같다. 본 데이터를 분석하면 연구시험을 위해 채취한 재료 시험결과와 거의 유사하다.

4.3 실내시험 결과 분석

4.3.1 밀도시험 분석

참고문헌 응용암석역학(이희근외1저 서울대학교 출판부)에 보면 국내 암에 대한 밀도값의 분포는 표 12와 같으며, 건설재료학(김홍철저, 청문각)을 보면

잔골재의 밀도는 2.5~2.65이고, 굵은골재의 밀도는 2.55~2.7이라고 명시되어 있다. 한국토지공사 시험연구센터에서 다년간 시험결과에 의하면 흙의 밀도는 2.6~2.75정도이다. 본 연구시험결과도 굵은 골재의 밀도는 2.59~2.73분포 범위를 가지고 있으며, 사용된 시험시료의 일부 중부권에서 채취한 재료중 강자갈외에는 화강암질이다. 이 강자갈의 밀도는 2.59였다. 노상재료인 토사내 포함된 굵은 골재에 대한 밀도시험을 실시한 결과 20mm체에 남는 지역도 두 곳뿐이고 그 값도 2.2, 2.36이다. 또한 5mm체에 남는 골재로 밀도시험한 결과도 2.03~2.36이다. 본 재료는 풍화암으로 굵은 골재로 밀도시험을 하기에는 불충분한 재료였다. 하지만 동시험을 실시한 이유는 공사현장에서 풍화암의 경우가 많고 이에 대한 값을 산출할 수 있는지, 아니면 산출되더라도 그 신빙성의 문제를 검토하기 위해서였다. 이런 대부분의 흙은 물을 첨가하면 그 형태를 알수 없게 물러져 암이

표 11. 한국토지공사 시험연구센터에 실시한 보조기층에 대한 시험성적

구분	최대입경 (mm)	0.08mm 통과량(%)	2mm 통과량(%)	5mm 통과량(%)	골재 흡수율(%)	OMC (%)	합성밀도 (g/cm ³)	골재밀도 (g/cm ³)	흙밀도 (g/cm ³)
A	40	6	26	36	1.6	5.3	2.67	2.64	2.71
B	40	8	34	43	2.2	5.9	2.66	2.60	2.76
C	75	7	32	41	0.5	5.4	2.67	2.66	2.69
D	75	4	35	42	1.6	5.3	2.61	2.60	2.64
E	75	5	32	40	1.1	6.5	2.69	2.68	2.70
F	75	4	31	44	0.5	5.6	2.67	2.66	2.68
G	40	7	45	57	1.2	6.3	2.72	2.65	2.65

표 12. 국내 암에 대한 밀도

구분	화강암	석영섬록암	편마암	편암	세일
밀도(g/cm ³)	2.57~2.85	2.69~2.80	2.77~2.93	2.69~2.98	2.73~3.09

라 하기어려웠다. 따라서 시험결과에 나온 값을 가지고 밀도값을 구하는 것은 의미가 없음을 알 수 있다. 이런 정황을 살펴 각종 문헌이나, 흙의 밀도시험 결과에서 보듯이 흙의 밀도 분포나 굵은 골재의 밀도 분포는 유사함을 알 수 있으므로 AASHTO T 224-01에서 제시한 일반적인 건설현장의 굵은골재 밀도값은 2.6이라고 명시되어 있는 동값을 적용하여 일반적으로 건설현장에서 밀도값을 측정하기 곤란한 풍화암등이 있는 경우 골재의 밀도값을 2.6으로 사용하면, AASHTO T 224-01에 의한 조립자보정을 적용하여 다짐도 판정시 안전측으로 해석된다. 따라 측정하기 곤란한 풍화암이 있는 경우는 골재의 밀도값을 2.6을 적용해도 무방할 것으로 판단된다.

4.3.2 함수비시험 분석

굵은 골재로 시험한 즉 보조기층에 대한 함수비는 3, 5, 7, 9%까지로 변화시켜 시험한 결과 일반적인 OMC 부근의 함수비 5%, 7%에서는 5mm통과시료의 함수비는 KSF 2306에 의해서는 8~12%이고, 급속함수량시험기 사용시는 8.3~12.1%, 열을 가하는 난로로 시험한 경우는 8.1~10.4%이다. 11% 가수의 경우는 물이 많아서 측정하기에 부적합하였다. 전체 함수비는 5%가수시 5.2~5.4%이고, 7%가수시는 6.8~7.6%이다. 시험결과 실제가수한 함수비보다 0.2%~0.8%까지 오차가 있는 것은 물을 가수할 때 시험자의 오차와 굵은 골재에 붙은 토사량에 의해서 발생한 것으로 판단된다. 그리고 시험결과중 심하게 발생한 오차는 시험자의 실수로 판단되어 제외하여 분석했다. 같은 함수비 5%, 7%가수시 급속함수량

시험기를 사용한 경우와 노건조로 사용과 비교하면 약1~2% 정도 차이가 발생했다. 그러나 함수비 3%, 9%가수하는 경우는 함수비가 적은 3%임에도 1.5% 이상의 차이가 발생하고, 9%가수시는 오차가 3%이상 발생하였다. 노건조로에 의한 전체함수비는 가수한 함수비와 큰 차이가 없었다.

노상재료로 측정함 함수량은 9%, 11%, 13%, 15%까지 변화시켜 시험한 결과 15%는 물이 너무많아서 측정하기가 곤란했고, 일반적인 노상재료 OMC 9~13%범위내에서는 급속함수량시험과 노건조와 차이는 보조기층재료에서와 같은 결과이다. 하지만 난로로 가열한 방식은 보조기층재료로 시험한 결과보다 오차가 컸다. 그 이유는 아마도 유기물함량 때문인 것으로 생각된다. 따라서 토사에 대해서는 난로로 가열하는 함수비 측정은 사용하지 않는 것이 좋을 것으로 사료된다. 여기서도 급속함수량시험과 노건조로 시험결과와 오차가 심한 부분이 발생했는데, 이것은 토사다 보니 물을 가수하면서 잔분에 많이 가수되는 경향이 있어 발생하는 오차로 예상되고, 건설공사현장에서는 발생하기 어렵고 여러번 측정되므로 이 결과 값은 제외하였다.

굵은 골재 함수비가 토사에 영향을 미치는 것을 알아보기위해 채취된 시료의 굵은 골재를 사용하려고 했지만 사용할 수 있는 양도 되지않을 뿐아니라, 풍화암으로 그 측정에 어려움점이 있어 보조기층에서 40mm체를 통과하고 20mm체에 남는 골재를 각각 10%, 20%, 30% 첨가하여 함수량도 9%, 11%, 13%,를 가수하여 전체시료와 20mm체 통과, 잔류 시료에 대한 함수비를 노건조로 측정함 결과

굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구

AASHTO T 224-01에서 제시한 함수비 합성공식에 의해 산출된 결과 표 13을 보면 일반적인 토사 OMC 8~10% 사이에서는 그 오차가 1~2% 이내이다. 함수량이 큰경우는 굵은 골재(보조기층재료)로 시험한 결과에서 언급했듯이 급속함수량시험기의 오차가 크다.

본 시험결과토대로 분석해볼때 굵은 골재에 대한 (보조기층재료) 전체함수비 즉 가수한 시료전체에 대한 노건조 시험결과와 AASHTO T 224-01의 공식 즉식(4)에 의한 합성함수비와의 비교분석한 결과는 표 14와 같다. 데이터의 수치적 계산과 노건조로 20mm 통과시료와 잔류시료 함수비를 합성한 합성함수비를 각 가수 3, 5, 7, 9%에 대하여 비교하였다. 5mm 통과시료와 잔류시료 함수비를 합성한것은

5mm이상의 함수비를 20mm 잔류함수비로 비교하여 노건조, 급속, 난로로 각각 합성함수비를 산출해보니, 그 결과는 오차가 많이 발생했다. 그 이유로는 물을 가수후 체분석을 통해 시험함에 따라 각각 골재에 붙은 잔분에 의해 잔류시료에 함수비에 영향을 미치므로 발생한 것으로 추정된다. 각각 구분하여 시험을 해보아야 하나, 실제로 국내 다짐기준에 따르면 20mm체를 통과한 시료로 실내다짐을 실시하므로 20mm를 기준으로 시험한 결과만으로도 충분하다고 생각한다. 만일 추가확인이 필요하다면 5mm기준으로 시험할 필요성도 있을 것이다. 또한 노상재료로 임의로 제조하여 시험한 결과를 분석한 표 14를 보면 보조기층 재료와 마찰가지의 결과를 얻었다.

표 13. 노건조로 시험결과와 AASHTO T 224-01의 식 (4)에 의한 합성함수비와 비교표(굵은 골재)

구분	함수비를 3% 가수한 경우 함수비(%)		함수비를 5% 가수한 경우 함수비(%)		함수비를 7% 가수한 경우 함수비(%)		함수비를 9% 가수한 경우 함수비(%)	
	전체함수비	20mm 체 기준합성 함수비	전체함수비	20mm 체 기준합성 함수비	전체함수비	20mm 체 기준합성 함수비	전체함수비	20mm 체 기준합성 함수비
부산권	3.2	3.1	5.4	5.1	6.8	6.9	8.9	9.2
전남권	3.1	3.0	5.3	4.7	7.1	7.0	10.6	10.2
경남권	3.0	3.1	9.0	5.4	7.6	7.2	9.4	9.1
충부권	3.1	3.1	5.0	5.2	7.4	7.2	9.2	9.0
충부권	3.1	3.0	5.0	4.9	7.0	7.1	9.5	9.0
경북권	3.5	3.4	5.2	5.2	7.4	7.3	9.4	9.3
전북권	3.1	4.8	5.2	5.0	7.1	7.0	9.3	9.1

표 14. 노건조로 시험결과와 AASHTO T 224-01의 식 (4)에 의한 합성함수비와 비교표(토사에 임의조제)

구분	함수비를 9% 가수한 경우 함수비(%)		함수비를 11% 가수한 경우 함수비(%)		함수비를 13% 가수한 경우 함수비(%)	
	전체함수비	20mm체 기준합성 함수비	전체함수비	20mm체 기준합성 함수비	전체함수비	20mm체 기준합성 함수비
10%	9.4	10.5	12.4	11.2	12.0	12.9
20%	10.8	10.8	11.4	10.8	14.1	15.0
30%	9.7	10.8	12.9	15.4	15.8	19.7

본 연구시험에 따른 굵은 골재(보조기층재료)에 대한 함수비 측정결과를 분석해보면, 노건조로에 의한 함수비시험이나 난로를 사용한 경우와 시험결과는 거의 일치한다. 하지만 난로는 실내에서 시험하므로 시험에 용이하였으나, 공사현장에서는 날씨, 기후와 휴대용 가스버너를 가지고 시험한다는 것은 곤란할 것이다. 장비의 고장으로 급하게 판단할 시험을 실시해야 하는 경우에는 사용이 가능할 것이다. 급속함수량시험기는 함수비가 적거나 많은 3%, 9% 가수를 한 경우는 그 오차가 2~4%이므로 급속함수량시험기의 신뢰성이 떨어진다. 이때의 5mm 통과시료의 함수비는 3%가수시는 5%미만, 9%가수시는 12%이상이다. 이 결과로 볼때 흙이 적정함수비 8~11%사이에서는 오차범위가 1~2%내외이다. 따라서 일반적인 토사의 경우 OMC는 8~11%사이므로 건설공사현장에서 급속함수량시험기를 사용하여도 무방한 것으로 판단된다. 시험결과가 현장 여건과 유사하게 측정하게 위해 충분한 시료전체 각각 3~9%가수하였으며, 이때 노건조로로 전체시료 함수비 측정된 결과와 동일시료로 20mm체를 기준으로 체분석 실시후 AASHTO T 224-01의 공식(4)에 의해 합성한 함수비와 비교결과는 거의 일치한다. 본 연구시험에서 보듯이 굵은골재 즉 20mm체 잔류시료의 함수비는 2%를 넘는 경우는 거의 없다. 현장에서 발생하기 힘든 9%를 가수한 경우에도 2.7%가 최대 함수비이다. 건설공사현장의 일반적인 굵은 골재의 함수비를 2%로 적용하고, 통과시료는 급속함수량시험기로 측정된 결과와 식(4)에 의해 합성함수비를 산출하여 굵은 골재가 포함된 재료에 대한 적절한 OMC 함수비를 측정해도 될것으로 판단된다. 그리고 토사에 임의조제하여 측정된 시험결과와 AASHTO T 224-01의 공식(4)에 의해 합성

한 합성함수비와 비교 분석한 것도 굵은 골재(보조기층 재료)의 결과와 같다.

5. 연구시험 결론

본 연구시험은 굵은 골재가 포함되는 보조기층 재료로 실내시험과 수학적 분석, 자료수집을 통해 검토한 결과 대부분이 굵은 골재임에도 불구하고 AASHTO T 224-01에서 제시한 식(4)로 산출한 합성함수비와 노건조로 실제시험한 결과와 오차가 거의 없고, 임의 조제로 굵은 골재를 첨가하여 같은 방식으로 검토한 결과도 오차가 거의 없으므로 건설공사현장에서 식(4)를 적용하여 함수비를 측정해도 된다고 판단된다. 그리고 일반적으로 토사의 적정 함수비내에서는 급속함수량시험기와 노건조로와의 차이가 대부분이 1%미만이지만, 이 오차를 보정하기위해서도 한국토지공사에서 적용하고 있는 급속함수비시험기를 사용할 경우는 노건조로와 급속함수비시험기의 비교표를 각 함수비에 따라 그래프를 작성하여 오차를 보정하여 사용토록 한다. 또한 적정 다짐함수비는 OMC의 $\pm 2\%$ 내에서 다짐토록 규정하고 있어 급속함수량시험기의 함수비 측정은 오차범위내에 있으므로 사용이 가능하다. 따라서 건설공사현장에서는 20mm체를 이용하여 체분석을 실시하고 통과시료는 급속함수량시험기로 측정된 결과와 굵은 골재의 함수비는 2%를 적용하여 합성 함수비를 산출한 시험성적으로 품질관리를 해도 무난한 것으로 판단된다.

하지만 급속함수량시험기는 한국토지공사에서 시행하고 있는 각 함수량 3~15% 변화에 노건조와 비교한 보정표를 작성하여 급속함수량시험기 측정

굵은 골재가 포함된 경우 함수비 측정방법 개선에 대한 연구

결과를 보정하여 사용해야한다. 노상, 노체 등에서 20mm체에 남는 굵은 골재의 밀도값을 측정하기 곤란한 경우는 AASHTO T224-01에서 제시한 2.6을 사용하여 식(3)에 적용해도 될것으로 판단된다. 그리고 굵은 골재를 사용하는 보조기층, 입도조정기층, 동상방지층에 대한 함수비 대표값 결정은 OMC \pm 3% 분포내에서 각 2%단위로 가수한 시료를 체분석을 실시하고, 이 체분석한 시료를 노건조로 함수비를 측정하여, 그 결과 값과 급속함수량시험기로 측정한 함수비를 식(4)에 따라 합성함수비를 산출하여 시방서 규정에 따른 품질관리할 것을 제안한다.

참고 문헌

1. 김상규(2005), "토질역학(이론과 응용)", 청문각, pp.24~36, pp.206~230.
2. 이희근, 양형식 외(1999), "응용암석역학", 서울대학교출판부, pp.5~8.
3. 김홍철(2004), "건설재료학", 청문각, pp.64~75.
4. AASHTO T 224-01(2006), "Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing", American Association of State Highway and Transportation Officials, PART 2 B: Tests, pp.T 224-1~5.
5. 건설교통부(2003), "도로공사표준시방서", 건설교통부, pp.8-1~14.
6. 한국토지공사(2006), "건설공사전문시방서", 한국토지공사, 41110~41130.
7. 한국표준협회(2007), "KS F 2503, KS F 2308", 한국표준협회.
8. 한국토지공사 시험연구센터(2006), "2006년도 품질관리 교육", 한국토지공사 시험연구센터, pp303~351.

