

TDF ash를 채움재로 사용한 아스팔트 콘크리트 물성 평가

Evaluation of TDF ash as a Mineral Filler in Asphalt Concrete

최민주	Choi, MinJu	학생회원 · 전북대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : chlalswn1746@naver.com)
이재준	Lee, JaeJun	정회원 · 전북대학교 토목공학과 방재연구센터 조교수 (E-mail : lee2012@jbnu.ac.kr)
김혁중	Kim, HyeokJung	정회원 · 금호석유화학 중앙연구소 공학박사 · 교신저자 (E-mail : ceasare@kkpc.com)

ABSTRACT

PURPOSES : The new waste management policy of South Korea encourages the recycling of waste materials. One material being recycled currently is tire-derived fuel (TDF) ash. TDF is composed of shredded scrap tires and is used as fuel in power plants and industrial plants, resulting in TDF ash, which has a chemical composition similar to that of the fly ash produced from coal. The purpose of this study was to evaluate the properties of an asphalt concrete mix that used TDF ash as the mineral filler.

METHODS : The properties of the asphalt concrete were evaluated for different mineral filler types and contents using various measurement techniques. The fundamental physical properties of the asphalt concrete specimens such as their gradation and antistripping characteristics were measured in accordance with the KS F 3501 standard. The Marshall stability test was performed to measure the maximum load that could be supported by the specimens. The wheel tracking test was used to evaluate the rutting resistance. To investigate the moisture susceptibility of the specimens, dynamic immersion and tensile strength ratio (TSR) measurements were performed.

RESULTS : The test results showed that the asphalt concrete containing TDF ash satisfied all the criteria listed in the Guide for Production and Construction of Asphalt Mixtures (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, South Korea). In addition, TDF ash exhibited better performance than that of portland cement. The Marshall stability of the asphalt concrete with TDF ash was higher than 7500 N. Further, its dynamic stability was also higher than that listed in the guide. The results of the dynamic water immersion and the TSR showed that TDF ash shows better moisture resistance than does portland cement.

CONCLUSIONS : TDF ash can be effectively recycled by being used as a mineral filler in asphalt, as it exhibits desirable physical properties. The optimal TDF ash content in asphalt concrete based on this study was determined to be 5%. In future works, the research team will compare the characteristics of asphalt concrete as function of the mineral filler types.

Keywords

TDF ash, asphalt mixture, mineral filler, Marshall stability test, wheel tracking test, TSR

Corresponding Author : Kim, HyeokJung, Senior Researcher
Kumho Petrochemical Co., Ltd, 1557 Yuseong-gu, Yuseong-daero,
Daejeon, 34044, Korea
Tel : +82.42.865.8799 Fax : +82.42.865.8791
E-mail : ceasare@kkpc.com

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received May, 13, 2016 Revised Jul, 20, 2016 Accepted Jul, 21, 2016

1. 서론

1.1. 연구 배경

최근 환경부에서 발표된 ‘폐기물 관리법 시행령’ 개정
에 따르면 2016년 7월부터는 환경오염의 우려가 있거나

사람의 건강에 피해가 있는 경우를 제외한 폐기물의 재활
용을 적극적으로 확대 적용하려는 네가티브(NEGATIVE)
제도가 시행 예정에 있다. 이에, 재활용 용도와 방법, 재
사용, 재생이용 및 에너지 회수 등 세분화된 분류에 의해

서 폐기물을 재활용하게 된다. 이러한, 폐기물 관리 정책의 변화에 시차 없이 빠른 대응기술 개발을 위한 폐기물 재활용 관련 연구가 활성화될 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구에서는 현재 사업장 폐기물로 분류되고 있는 TDF 연소재의 재활용 가능성에 대한 기초적인 연구를 수행하였다. 페타이어 고행연료로 정의되는 TDF(Tire Derived Fuel)는 “자원의 절약과 재활용 촉진법”에서 규정하고 있는 일반 고행연료제품인 SRF(Solid Refuse Fuel) 중에서도 가연성 고행폐기물로서 페타이어를 재활용한 제품이다. 따라서, TDF는 환경부에서 인증한 친환경 재생에너지 고행연료이므로 국내·외의 열병합발전소에서 사용되며, 화석원료의 대체 및 사용 시 효율성이 높은 이유로 사용량이 점차적으로 증가하는 추세에 있다. 따라서, 발전소의 원료원으로써 TDF 제품을 사용할 때 자연적으로 발생하는 연소재인 TDF ash는 국내에서는 현재까지 친환경적인 처리 방법 및 재활용 관련 기준이 없다는 이유로 폐기물 관리법에 의거 사업장 폐기물로 분류되어 적정 처리되고 있는 실정이다. 그러나, 환경부의 “폐기물 관리법” 하위법령 개정에 따라 TDF ash는 폐기물 재활용 유형에서 ‘재생 이용할 수 있는 상태로 만들거나 재생 이용하는 활동’에 해당되어 R-4(직접 재생이용)의 시멘트, 콘크리트, 레미콘, 아스콘 및 아스팔트 등 기타 비금속광물 제품을 제조하는데 재활용할 수 있게 된다. 또한, ‘성토재, 복토재, 도로기층재 및 채움재 등으로 재활용하는 활동’으로도 재활용이 가능하게 되어 향후 TDF ash를 재활용할 수 있는 활용처가 다양하게 확대될 전망이다. TDF ash를 아스팔트 혼합물의 부재료로써 채움재 용도로 사용한다면 현재 사용되는 시멘트 사용량 최소화에 따른 산림자원의 훼손 방지 및 시멘트 생산 시 발생하는 탄소배출량 저감 등 친환경적인 측면에서도 무형의 가치 제고 효과를 나타낼 것으로 판단된다. 현재 국내에서는 아스팔트 혼합물에 사용되는 채움재 재료로써 석회석분, 수경성 시멘트, 암석분말, 슬래그 더스트, 플라이 애쉬 등 비활동성 광물성 물질을 사용하고 있다. 이러한 재료를 아스팔트 혼합물의 채움재로 사용하는 주된 목적으로는 채움재의 굵은 입자가 아스팔트 혼합물의 골재 간 공극을 밀실하게 해주며, 채움재의 미세입자의 경우는 아스팔트의 바인더로써 보조적인 역할을 수행함에 따라 아스팔트 혼합물의 안정성을 증가시키는 기능을 나타내기 때문이다. 이에, TDF ash의 친환경적인 처리 방법, 새로운 제품으로써 순환자원의 발굴 및 재활용 기술 개발을 위해 본 연구에서는 아스팔트 부재료로써 사용할 수 있는 가능성에 대하여 기초적인 연구를 수행하고자 한다.

1.2. 연구 내용

본 연구에서는 TDF ash를 아스팔트 채움재로 사용하여 건설재료로 사용하기 위한 재활용 가능성에 대한 기초적인 실험을 수행하였다. 아스팔트 혼합물 채움재 기준인 KS F 3501(아스팔트 포장용 채움재)에 따른 품질 적합성 시험, 마찰 안정도 시험에 따른 아스팔트 혼합물의 배합 설계, 골재와 아스팔트 바인더의 물 속에서의 점착력을 평가하는 동적수침시험 및 고온에서의 소성변형에 대한 실내모사시험 방법으로써 휠트래킹 시험 등을 실시하였다. 본 연구에서는 채움재로써 가장 성능이 우수하다고 알려져 있는 시멘트와 TDF ash의 혼입량을 다변화하여 비교·평가를 수행하였다.

2. 문헌조사

TDF와 관련된 해외의 사례를 조사한 결과, 미국은 페타이어를 보조 연료원으로 약 60%(2005년 기준) 수준으로 재활용하고 있고, 캐나다에서는 약 20% 수준으로 보조 연료원으로 사용되고 있다고 알려져 있다. 캐나다의 경우 매년 7,500톤 이상의 페타이어가 시멘트 플랜트의 보조연료원으로 사용되고 있으며, 이때 배출되는 배기가스의 환경영향성을 평가하는 연구로써 ‘TDF 처리공정 개선, TDF 잠재적인 위험성 검토’ 등에 대한 연구가 수행되었다. 연구 결과로부터 다른 화석연료원 사용 대비 CO 배출량은 다소 증가하였으나 SO 및 NOx의 발생량 측면에서는 비슷한 수준을 나타내는 것으로 발표되었다(Pegg, et al. 2007).

아스팔트 혼합물의 채움재에 대한 해외 연구사례를 조사한 결과, 신흥 개발도상국으로서 도로확충 및 건설 사업이 활성화되고 있는 나이지리아에서는 교통량 증가에 따라 도로 포장의 러팅(Rutting), 균열(Crack), 포트홀(Pothole) 등 다양한 형태로 도로 파괴 현상이 발생되어 이를 해결하기 위한 연구가 진행되었으며 아스팔트 혼합물 생산 시 사용되는 채움재로써 ‘소석회, 플라이 애쉬, 석분’ 첨가 시 아스팔트 혼합물의 공용성 평가를 진행하였다. 이때 소석회는 채움재로써 7%와 아스팔트 함량 6%일 때 우수한 도로 포장체의 안정성을 보였으며, 플라이 애쉬는 채움재로써 10%와 아스팔트 함량 5%일 때 다양한 파괴 형태를 저항할 수 있는 도로 포장체의 안정성을 나타내었고, 아스팔트 함량 6%와 채움재로써 10%일 때 최소 공극률을 나타내었다. 석분은 채움재로써 7%와 아스팔트 함량 5%일 때 최소 공극률을 나타내었으며 채움재로써 10%와 아스팔트 함량 4%일 때 도로 포장체의 안

정성이 우수하게 도출되었다. 결론적으로 실험에 사용된 채움재로써 소석회를 사용했을 때 아스팔트 혼합물 결과가 가장 우수하게 평가되었으며, 채움재 사용에 따른 도로 포장 시 재료비 절감 및 두께 감소 등 경제성 제고 효과가 우수한 것으로 조사되었다(OLADAPO, S.A. et al, 2015).

선행 연구 사례로부터 아스팔트 혼합물에서 사용되는 다양한 종류의 채움재로써 TDF 연소재, 소석회, 플라이 애쉬 및 석분 등 필러로 사용하게 되면 아스팔트 혼합물의 Macrotexture 및 Microtexture 측면에서 영향을 나타내며, 아스팔트와 골재의 공극을 채워주는 바인더로써 효과를 나타내어 필러의 양이 증가할수록 아스팔트 혼합물의 강도는 증가하고 소성변형 저항성을 개선할 수 있는 것으로 확인되었다.

3. 실험방법

3.1. 입도분석 시험

아스팔트 혼합물은 골재를 아스팔트 바인더가 얇은 층으로 감싼 후 서로 결합하여 교통하중에 대하여 저항을 하게 된다. 또한, 아스팔트 혼합물을 구성하고 골재들의 인터락킹(Interlocking)으로 인하여 교통하중을 지지하게 된다. 따라서 아스팔트 혼합물 생산 시 입도는 매우 중요하다. Table 1에서 제시하고 있는 채움재 입도기준을 만족하는지를 확인하기 위하여 체가름 시험을 실시하였다.

Table 1. Mineral Filler Gradation for Asphalt Mixture

Sieve size(mm)	Percent passing(%)
0.6	100
0.3	95 over
0.15	90 over
0.08	70 over

3.2. 박리저항성 및 침수팽창률

3.2.1. 박리저항성

박리저항성은 채움재를 아스팔트와 혼합한 아스팔트 혼합물을 1분 동안 끓인 후 박리 정도를 측정하는 것이다. 비이커에 증류수 또는 수돗물을 약 300ml 넣고 끓인 후에 아스팔트 혼합물을 20g 넣고 60초 동안 가열한 후 비이커의 밑에서 관찰하여 표준 모래로부터 아스팔트의 박리 상태를 평가한다. 실험에서 아스팔트 혼합물의 박리율이 1/4 이하가 되어야 한다.

3.2.2. 침수팽창률

침수 팽창 시험은 KS F 2337에 규정하는 다짐용 해머와 몰드를 사용하며, 다져진 채움재가 4시간 동안 물을 흡수하여 증가하는 비율을 측정하는 시험이다. 침수팽창 값은 다음의 계산식을 이용하여 구한다.

$$B = \frac{M_2}{M_1 - M_3} \times 100$$

여기서 B : 침수 팽창률(%)

M1 : 시료, 밀판, 몰드의 질량(g)

M2 : 팽창한 시료의 건조 후 질량(g)

M3 : 밀판, 몰드의 질량(g)

3.3. 마샬안정도

마샬안정도 시험은 가열아스팔트 혼합물의 배합설계와 품질관리를 목적으로 하며 국내에서 널리 사용되고 있는 가장 기본적인 아스팔트 혼합물의 물성을 측정할 수 있는 시험방법이다. 60℃의 온도조건에서 공시체가 소성흐름에 저항할 수 있는 최대 저항력과 변형값을 측정하는 시험이며 본 연구에서 마샬안정도는 Fig. 1과 같이 측정하였다. 실험은 공시체의 높이 측정 후에 60℃ 수조에 30분간 수침한 후 측정 전 30초 이내에 50.0mm/분의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다.



Fig. 1 Measurement of Marshall Stability

3.4. 동적수침 시험

동적수침 시험방법의 목적은 골재와 아스팔트 바인더의 물 속에서의 점착력을 평가하기 위한 방법으로 피막이 벗겨지는 비율을 측정하는 실험이다. 본 연구에서는 유럽 기준 EN 12697-11에 준하여 실험을 진행하였다. 골재는

8.0~11.2mm 크기의 건조하고 깨끗한 것으로 준비하고, 일정량의 아스팔트를 첨가하여 혼합한다. 이후, 아스팔트 혼합물은 상온에서 12~64시간 동안 양생되며, 물과 함께 Fig. 2와 같은 동적수침용 유리병에 넣는다. 아스팔트 혼합물이 들어 있는 유리병은 Fig. 3과 같은 장비로 회전을 하게 되며, 회전하는 동안 유리병 안에 대각선으로 위치한 유리막대(Glass Rod)의 동적인 충격에 의해서 아스팔트 바인더의 코팅이 벗겨진다. 본 실험은 24시간 동안 지속하며, 시험 결과는 최소 2명



Fig. 2 Dynamic Immersion Test Bottle



Fig. 3 Dynamic Immersion Equipment

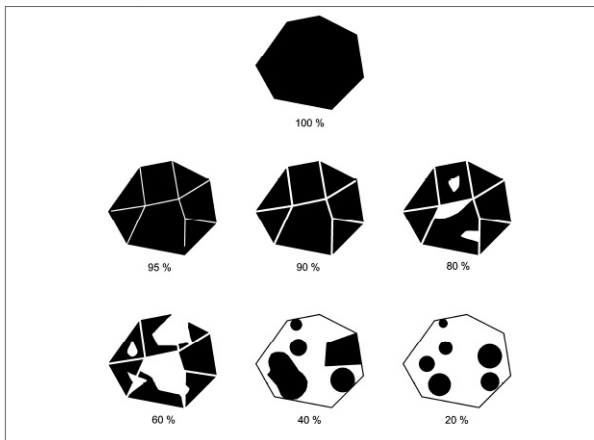


Fig. 4 Dynamic Immersion Test Guide Line (British Standard, 2003)

이상 인원의 육안으로 평가가 진행된다. Fig. 4는 피복 정도를 평가하기 위한 가이드라인을 제시하고 있다.

3.5. 휠트랙킹 시험

휠트랙킹 시험은 여름철과 같은 고온의 포장조건 하에 실제 차량하중이 통과함에 따라 발생하기 쉬운 소성 변형을 실내에 재현하여 평가하는 시험방법이다. 바퀴의 반복주행으로 인한 패임 깊이의 변화를 측정함으로써 아스팔트 혼합물의 동적안정도를 결정하고 있다. 도로가 차량으로 인한 교통하중을 받을 경우, 아스팔트 혼합물이 이동하여 소성변형이 발생하고 영구 변형된다. 특히, 차량이 서서히 주행하거나 정차를 하게 되는 교차로에서 많이 발생한다. 동적 안정도를 위한 공시체는 Fig. 5와 같이 제작되어 실험하였으며 본 연구에서는 TDF ash를 채움재로 사용하여 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성을 평가하기 위하여 동적안정도를 평가하였다.

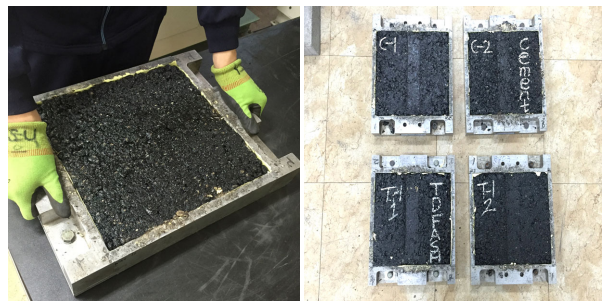


Fig. 5 Dynamic Stability Specimen Production

3.6. 수분저항성 시험(TSR)

수분저항성 시험은 수분으로 인한 파손이 원인인 경우에 대해 아스팔트 혼합물에서 발생하는 박리현상을 예측하여 내구성을 평가하는 가장 일반적인 시험 방법이다. 본 연구에서는 KS F 2398에 규정된 아스팔트 혼합물의 수분저항성 시험방법에 따른 인장강도비 시험을 적용하였다. 본 실험에서는 공극율 $7 \pm 0.5\%$ 가 되는 공시체를 이용하여 건조 상태에서 간접인장강도 값과 수분처리 후 간접인장강도 값을 측정하여 두 값 사이의 비를 수분민감도(TSR)로 사용하였다.

4. 실험결과

4.1. 박리저항성

TDF ash를 채움재로 사용한 아스팔트 혼합물은 국토교통부의 아스팔트 혼합물의 박리저항성의 1/4 이하

로 측정되었다. 이는 국토교통부의 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침의 기준을 만족하는 결과로 도출되었다.

4.2. 침수팽창률

아스팔트 혼합물의 채움재로 TDF Ash를 사용하였을 경우, 수분에 의한 TDF ash의 부피 팽창 여부를 확인한 결과, 2%의 수침 팽창율이 측정되었다. 이를 통해 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침의 기준인 3% 이하를 만족함을 알 수 있었다.

4.3. 마샬안정도

아스팔트 혼합물의 광물질 채움재로 시멘트, TDF ash를 사용한 아스팔트 혼합물의 안정도(stability)를 측정하기 위하여 마샬안정도를 측정하였으며, TDF ash 사용량을 다르게 한 결과를 포함한 결과는 Fig. 6과 같다.

TDF ash는 시멘트와 비교하여 비중이 적기 때문에 동일 무게를 넣을 경우 부피가 변화하므로 이를 고려하여 채움재로 시멘트를 사용하는 동일 무게인 TDF ash와 TDF ash의 비중을 고려하여 TDF ash 양을 적게 하는 경우(3.64%), TDF ash 첨가량을 증가한 경우(TDF ash 6.84%)에 따른 마샬안정도를 측정하였다. 국내 국토교통부의 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침에서는 마샬안정도의 기준을 7500N 이상으로 정하고 있다. Fig. 6에서 설명하고 있는 것과 같이, 본 연구에 사용한 4종류의 시험 변수에 대한 마샬안정도는 기준(7,500N 이상)에 만족하였으며, TDF ash를 사용한 마샬안정도 값이 시멘트를 사용한 경우보다 다소 우수한 경향을 나타냄을 알 수 있었다. TDF ash의 경우, 5%의 TDF ash를 사용한 경우가 가장 좋은 마샬안정도를 나타내고 있음을 알 수 있다.

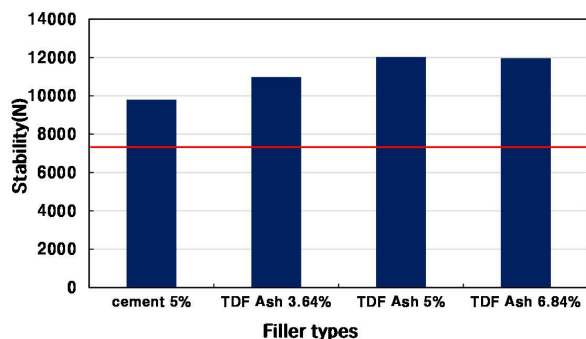


Fig. 6 Marshall Stability of the Filler Types

4.4. 동적수침

채움재로 시멘트를 사용한 아스팔트 혼합물과 TDF

ash를 채움재로 사용한 아스팔트 혼합물의 박리저항성을 평가하기 위하여 동적수침시험 결과를 Table 2에 정리하여 나타내고 있다. 아스팔트 혼합물을 제작한 후, BS 기준에 준하여 동적수침 테스트를 시행 후 시편에 대하여 육안조사를 실시하였다. Table 2는 Control의 경우 채움재를 사용하지 않은 경우를 나타내고 있으며, TDF ash와 시멘트를 사용한 혼합물에 대한 동적수침 육안 평가 결과는 Table 2와 같다. 본 연구에서는 4명의 평가자가 시편의 평가를 실시하였으며, Table 2에서 나타내고 있는 것과 같이 TDF ash를 사용한 혼합물의 박리저항성이 시멘트를 사용한 혼합물보다 모두 우수한 결과를 나타내었다.

Table 2. Result of Dynamic Immersion Test

Filler types	Estimator				Value of average
	A	B	C	D	
Control	20	20	20	40	25
Cement 5%	40	30	40	30	35
TDF Ash 5%	50	40	50	50	47.5
TDF Ash 6.84%	60	60	60	60	60

4.5. 수분저항성(TSR)

아스팔트 혼합물의 수분저항성을 평가하기 위하여 마샬다짐기로 공시체를 제작하여 60℃에서 24시간, 25℃에서 2시간 동안 수침시킨 시편과 건조 상태의 시편으로 간접인장 강도를 측정 후 4가지 종류의 혼합물에 대한 수분저항성(TSR)을 평가하였다. Fig. 7은 4가지 혼합물에 대한 수침 전·후의 인장강도비를 나타내고 있다. Fig. 7에서 채움재 종류 및 사용량에 따른 수분민감도의 경향을 파악할 수 있었다. 국토교통부의 아스팔트 혼합물 생산 및 시공 지침에서 제시하고 있는 TSR 기준값은 0.8 이상이며, Fig. 7의 검정 실선은 TSR 기준값 0.8을 나타낸다. TDF ash 함량의 증가로 미세하지만 수분저항성(TSR)이 개선되었음을 알 수 있었다.

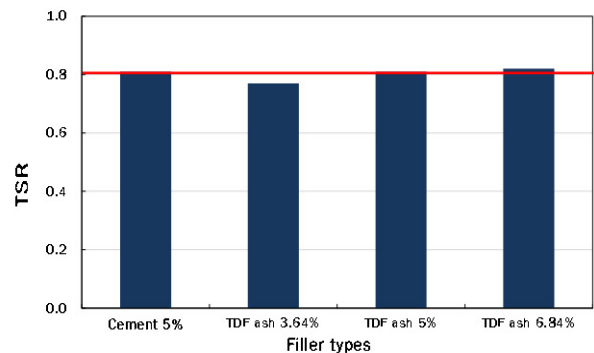


Fig. 7 Tensile Strength Ratio of the Filler Types

4.6. 동적안정도

TDF ash를 채움재로 사용한 아스팔트 혼합물의 소성변형 저항성을 평가하기 위한 동적안정도 측정결과는 Table 3과 같다. Table 3에서와 같이 일반아스팔트혼합물의 기준인 500 이상의 값이 도출되었음을 알 수 있었다. TDF ash를 사용한 아스팔트 혼합물이 시멘트를 사용한 아스팔트 혼합물의 동적 안정도 저항성보다 우수함을 알 수 있었다.

Table 3. Evaluation of Dynamic Stability

Filler types	Cement 5%	TDF ASH 5%	TDF ASH 6.84%	TDF ASH 3.64%
Dynamic stability (cycle/mm)	1,205	2,564	1,937	1,875

Fig. 8은 아스팔트 혼합물 종류의 시간에 따른 변형 거동을 나타내고 있다. Fig. 8에서와 같이 TDF ash 3.64%가 평균변형량이 가장 크게 나타남을 알 수 있었으며, 시멘트의 평균변형량이 가장 적음을 알 수 있었다. 또한, TDF ash 5%와 TDF ash 6.84%의 소성변형 깊이는 거의 같은 경향을 나타내고 있다. TDF ash 3.64%의 경우는 동적안정도 기준을 만족하였으나, 발생하는 소성변형깊이는 가장 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

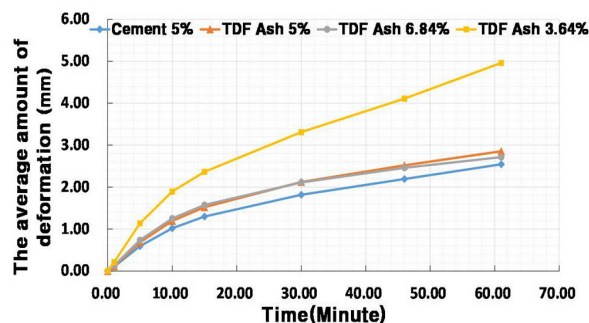


Fig. 8 The Average Amount of Deformation

5. 결론

산업부산물로 발생하는 TDF ash를 채움재로써 아스팔트 혼합물에 적용하기 위하여 국토교통부에서 개발 중인 “아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침의 기준”의 만족여부에 대한 평가를 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. TDF ash는 국토교통부에서 발간한 아스팔트 혼합물

생산 및 시공지침에서 제시하고 있는 채움재의 입도 기준을 만족함을 확인하였다.

2. 마찰안정도의 경우 TDF ash 채움재를 사용한 아스팔트 혼합물 값이 기준값 7,500N 이상임을 확인하였으며, TDF ash 사용량 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.
3. 휠 트랙킹 실험의 동적안정도 결과는 기준인 500 이상을 만족하는 결과가 도출되었으며, 평균변형량의 경우, TDF ash 첨가량이 적은 경우가 평균변형량이 다른 공시체보다 다소 크게 발생한 것을 확인하였다.
4. 동적수침을 통한 박리저항성 평가 결과, TDF ash를 사용한 아스팔트 혼합물의 박리저항성이 시멘트보다 높은 결과를 확인하였으며, TDF ash 사용량 증가에 따라 박리저항성이 증가하는 경향을 관측하였다.
5. 아스팔트 혼합물의 수분민감도 측정 결과, TDF ash 5% 이상인 아스팔트 혼합물은 인장강도비 기준 0.8 만족하였으며, 이는 TDF ash를 아스팔트 혼합물 채움재로 사용할 경우 수분저항성이 개선된 것으로 판단된다.
6. 본 실험의 결과를 바탕으로 TDF ash를 아스팔트 혼합물의 광물질 첨가재로 사용할 수 있는 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 호남권 EIP 사업단 사업인 “TDF 연소재를 이용한 아스팔트 및 건설소재 생산 네트워크 구축”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

REFERENCES

- Agnieszka Wozzuk, Lidia Bandura, Rafal Panek : Application of zeolites as fillers in mix asphalt. *Budownictwo I Architektura*. Vol. 14, No. 1, page 127-134, 2015.
- Asmael, Noor M. Effect of Mineral Filler Type and Content on Properties of Asphalt Concrete Mixes, *Journal of Engineering*, Vol. 16, No. 3, 2010.
- British Standard, Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt-part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen, 2003.
- Deddy Marteano, Roeswan Soediro, Kjoko Purwanto, The Performance Evaluation of Hot Rolled Asphalt Mixed with Sawdust Ash as a Filler, *PILAR*, Vol. 11, No. 2, page, 80-87, September 2002.
- Department of Energy (DOE), Federal Highway Administration (FHWA), The American Coal Ash Association (ACAA), The Utility Solid Waste Activities Group (USWAG) Using Coal Ash in Highway Construction: A Guide to Benefits and

- Impacts, 2005.
- Deprizon Syamsunur, Nazahath Naeem and Eric Loh of Evaluation of Stone Mastic Asphalt using Shell Ash as Filler Material, *Journal of Applied Sciences* Vol. 13, No. 7, 2013.
- Gary, Terry. Tire Derived Fuel : Environmental Characteristics and Performance, The First Northeast Regional Scarp Tire Conference, Albany, New York June 15, 2004.
- Jamaliah Binti Ahmad, Khairul Nizam bin Mohd Yunus, Nurul Hidayah binti Mohd Kamaruddin, Adnan bin Zainorabidin, The Practical Use of Palm Oil Fuel Ash as a Filler in Asphalt Pavement.
- Jeong, Jin Seob, Song, Gab Young, Ahn, Jeong Hyeon, Kim, Tae Hyung. Utilization of Stone Sludges Produced by Stone Manufacturing Process as Asphalt Concrete Filler. *Journal of the Korean Society of civil engineers*, D, 27 page, 457-464, 2007.
- MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) Guide of Production and Construction of Asphalt mixture(국토교통부, 아스팔트 혼합물 생산 및 시공지침), 2014.
- Muniandy, R., Aburkaba, E., and Taha, R., Effect of Mineral Filler Type and Particle Size on the Engineering Properties of Stone Mastic Asphalt Pavements, *The Journal of Engineering Research (TJER)*, Vol. 10, No. 2, pp. 13-32, 2013.
- Oladapo, S.A and Adetoro, A.E. : Comparative Analysis of Effects of Filler Materials on Performance of Asphalt, *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, Vol. 4, Issue 11, May 2015.
- Pegg, Michael J., Amyotte, Paul R., Fels, Mort, Cumming, Crysta R.R. and Poushay, Jacqueline, An Assessment of The use of Tires as an Alternative Fule, Fianl Report, Minister of Environment and Labour Nova Scotia Environment and Labour NS, Canada, 2007.
- Research Results Digest 357, TEST METHODS AND SPECIFICATION CRITERIA FOR MINERAL FILLER USED IN HOT MIX ASPHALT, Transportation research board, 2011.
- Wu, Yann-Hwang., Huang, Ran., Tsai, Chia-Jung, and Lin, Wei-Ting. Utilizing residues of CFB co-combustion of coal, sluge and TDF as an alkali activator in eco-binder, *Construction and Building Materials*, Vol.80, pp. 69-75, 2015.