

아스팔트 혼합물의 바인더 노화효과에 따른 동탄성계수 연구

Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt with Aged Asphalt Binder

이 관호*, 이 병식**, 조 재윤***, 김 광종****, 현 성철*****

Lee, Kwan-Ho, Lee Byung-Sik, Cho, Jae-Yoon, Kim, Kwang Jong, Hyun, Seong-Cheol

1. 서 론

2000년 초부터 시작된 우리나라의 도로분야의 발전은 타 분야에 비해 매우 비약적인 성장을 하고 있다. 이는 이전의 기간 동안 도로분야의 기술적인 발전이 상대적으로 취약함을 의미한다. 도로분야의 발전에 크게 기여하고 있는 연구중의 하나가 한국형포장설계법 개발 및 성능개선연구이다. 본 과제는 우리나라의 도로 전 분야, 재료, 실험, 시공, 유지관리, 교통 등 다양한 분야를 유기적으로 연계하여 효율적이고, 실용적인 연구를 수행하고 있다.

최근 국내외에서 도로포장설계법에 경험적/역학적 개념을 적용한 설계법의 개발 및 이의 활용을 위한 연구가 매우 활발하게 진행중에 있다. 미국의 경우 AASHTO 2002 설계법, 우리나라의 경우 한국형 도로포장 설계법의 개발이 진행 중에 있고, 개발되는 설계법에 도로포장재료의 역학적 물성치 평가가 상당히 중요한 역할을 하게 구성되어 있다. 따라서 설계법에 이용될 국내 아스팔트 혼합물의 재료물성의 평가가 매우 시급한 실정이다. 이 재료의 물성치를 평가하는 방법 중 최근에 많이 적용되는 방법이 동탄성계수시험이다.

동탄성계수는 다양한 온도조건, 하중, 속도를 이용하여 다양한 교통조건을 묘사할 수 있으며, 사용된 골재의 입도, 아스팔트 바인더에 따라서 변화하며, 특히 아스팔트 혼합물의 점탄성적인 특성을 잘 묘사할 수 있는 물성치 평가방법이라고 할 수 있다. 아스팔트 혼합물의 동탄성계수는 현재 개발 중인 한국형 포장설계법의 아스팔트해석의 핵심이 되는 중요한 설계입력변수이다. 이 연구는 주로 국내 대표 아스팔트 혼합물에 대한 동탄성계수 값의 DB화가 진행중에 있으나, 동탄성계수에 영향을 주는 다양한 요소에 대한 자료가 필요한 상태이다. 본 연구에서는 아스팔트 바인더의 노화특성이 동탄성계수에 미치는 영향을 주로 평가하였고, 현장에서 발생하는 단기 및 장기노화특성을 실내실험을 통해 구현할 수 있는 실험법을 제안하고자 한다.

2. 시험 순서 및 방법

아스팔트 혼합물에서 노화에 대하여 고려해야 할 점은 크게 두 가지가 있다. 첫 번째가 아스팔트 혼합물이 공장에서 배합되고 포설되어 다짐이 완료되는 순간까지 노화되는 단기노화 단계가 있다. 두 번째가 교통이 개방되고 도로를 사용하면서 아스팔트 혼합물이 변화하게 되는 장기노화 단계가 있다. 본 연구에서는 현장 공용단계를 연구실에서 단기노화 단계와 장기노화 단계로 차례로 모사하여 시험하고자 한다. 여기서, 노화시험방법은 Bell et al.이 개발한 가속 실내 시험 절차에 기초하여 아스팔트 혼합물의 단기 및 장기 노화를 구현하고자 하였다. 동탄성계수 시험은 5, 21, 40℃의 세 가지 온도 조건에서 0.1, 0.5, 1, 5, 10, 25Hz의 여섯 가지 주파수로 시험하였다.

* 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 부교수 · 041-521-9313(E-mail : kholee@kongju.ac.kr)

** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 부교수

*** 정회원 · 동의과학대학교 토목공학과 교수

**** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 석사과정

***** 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 석사과정



2.1 아스팔트 혼합물의 배합설계 및 준비

슈퍼페이브 배합설계를 이용하여 표 1과 표 2의 입도로 동일한 교통량으로 최적 아스팔트 함량을 각각 결정한다. 최적아스팔트 함량에서 동일한 4% 공극률 조건으로 아스팔트혼합물을 준비한다. 혼합물은 135℃ 4시간의 단기노화 후 Gyratory Compactor를 이용하여 다진다. 다져진 직경 150mm 혼합물을 직경 100mm가 되도록 코어링을 하고, 높이 150mm가 되도록 절단한다. 즉, 시험용 시편을 직경과 높이비가 1 : 1.5가 되도록 준비한다.

표 1. 노화시험을 위한 골재의 입도 및 물성(a)

입도 체크기(mm)	A1	B1	C1	D1	E1	F1	G1
	밀입도13	세립도13	세립도갭13F	세립도13F	개립도13	밀입도19	밀입도25
25	100	100	100	100	100	100	100
19	100	100	100	100	100	97.5	87
12.5	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5	82.5	76
9.5	82.5	85	83.75	90	65.75	68.75	65
4.75	67.5	72.5	70	82.5	34	55	49
2.36	51	57.5	55	72.5	22.5	39.5	37
1.18	39	45	52.5	62.5	18.25	31.25	34
0.6	27	32.5	50	52.5	14	23	17
0.3	18.5	19.5	32.5	32.5	9.5	15.5	14
0.15	11	14	17.5	22.5	7	10	9
0.075	7	7	10.5	11.5	4.5	5	4
Volumetric property							
Gmm	2.482	2.475	2.477	2.432	2.502	2.495	2.501
Gsb	2.647	2.647	2.647	2.647	2.647	2.647	2.647
Va(%)	4.182	4.417	4.195	4.009	4.289	3.694	3.865
OAC(%)	5.2	5.4	5.4	6.9	4.5	5.1	4.3
Binder Grading	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22	PG 58-22

표 2. 노화시험을 위한 골재의 입도 및 물성(b)

입도 체크기(mm)	A2	F2	G2	H1	H2	I3
	밀입도13	밀입도19	밀입도25	SMA13	SMA13	SBS13
25	100	100	100	100	100	100
19	100	97.5	87	100	100	100
12.5	97.5	82.5	76	95	95	97.5
9.5	82.5	68.75	65	61.25	61.25	87.5
4.75	67.5	55	49	27.5	27.5	61
2.36	51	39.5	37	20	20	41
1.18	39	31.25	34	18	18	29.5
0.6	27	23	17	16	16	20.5
0.3	18.5	15.5	14	13.5	13.5	13.5
0.15	11	10	9	11.75	11.75	9
0.075	7	5	4	10	10	6
Volumetric property						
Gmm	2.478	2.492	2.507	2.51	2.512	2.483
Gsb	2.647	2.647	2.647	2.647	2.647	2.647
Va(%)	4.041	3.652	3.691	3.666	3.693	3.855
OAC(%)	5.3	5.1	4.5	5.7	5.7	4.6
Binder Grading	PG 64-22	PG 64-22	PG 64-22	PG 58-22	PG 64-22	PG 76-22



2.2 단기노화(Short Term Oven Aging) 시험

표 1에서 밀입도 13mm, AP3 혼합물을 통해 단기노화 효과를 알아보기 위해 시편을 준비한다. 단기노화 효과를 알아보기 위해 노화시키지 않고 혼합 후 바로 다진 시편, 그리고 135℃와 160℃로 각각 2, 4, 6시간 단기노화 시키고 다져 동탄성계수 시험을 한다.

2.3 장기노화(Long Term Oven Aging) 시험

배합설계 후 4%로 동일한 공극률을 가지도록 만들어진 각 시편을 그림 1의 순서로 차례로 동탄성계수 시험을 한다. 동탄성계수 시험은 비파괴 시험이므로 반복시험이 가능하다. 장기노화 단계에서 균등한 노화의 효과를 얻기 위해 시편의 아래 위를 매 24시간 간격으로 뒤집어 주었다. 동탄성계수 시험을 하기 전 시편 온도의 안정화를 위해 실험실 온도(약 20℃)에서 12시간 이상 방치한 후 시험을 하였다.

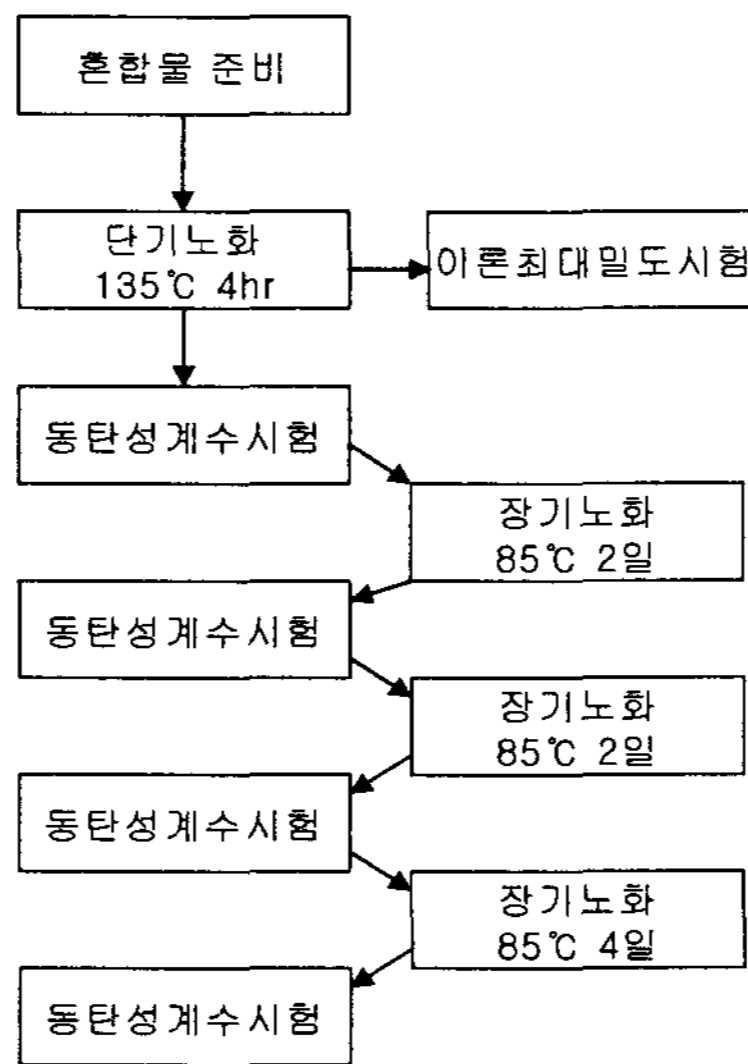


그림 1. 장기노화 시험 순서

3. 단기노화 시험결과 및 마스터곡선 평가

단기노화 각 조건별 동탄성계수 시험결과를 마스터곡선으로 나타내었다. 마스터곡선으로 그림 2에 노화하지 않은 시편과 160℃로 2, 4, 6시간 단기 노화한 시편의 결과를 비교하였다. 그림 3은 노화하지 않은 시편과 135℃로 2, 4, 6시간 단기 노화한 시편의 결과를 마스터곡선으로 비교하였다. 그림 2와 그림 3의 마스터 곡선에서 보면 저온의 빠른 주파수에서는 별 차이가 없으나 중간과 고온 영역에서는 135℃보다 160℃에서 단기노화 한 시편의 동탄성계수 값이 많이 증가함을 볼 수 있다. 특히 160℃로 단기노화 한 시편은 노화시간과 상관없이 거의 일정한 수준으로 노화되었음을 확인 할 수 있다. 135℃로 단기노화한 시편은 저온의 빠른 주파수에서 고온의 느린 주파수로 가면서 점점 노화시간에 따라 차이가 커짐을 알 수 있다. 보통 공장에서 배합, 생산되어 현장으로 이동하고 다짐이 완료되기까지 걸리는 시간을 고려하면 단기노화조건은 135℃ 4시간이 적절할 것으로 판단되며, 공정이 빠르고 관리가 잘 되는 조건을 반영 한다면 135℃ 2시간이 적절할 것이다.

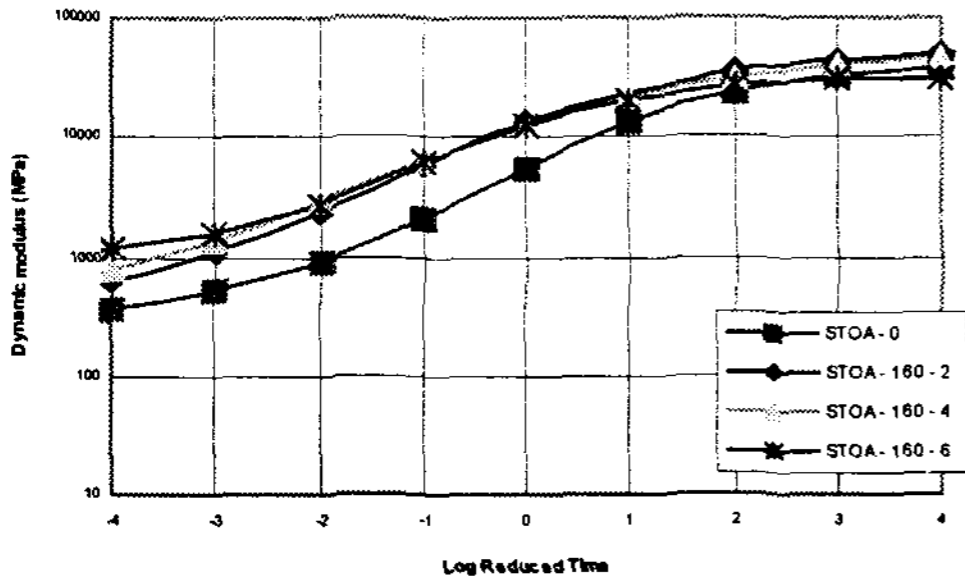


그림 2. 단기노화 마스터곡선 비교(a)

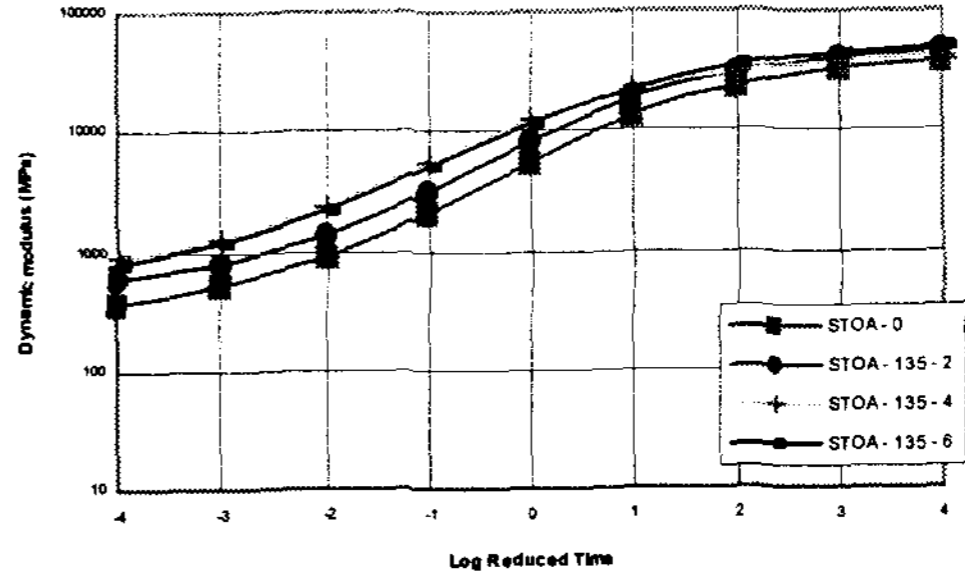


그림 3. 단기노화 마스터곡선 비교(b)

4. 장기노화 마스터곡선 평가

시험조건에 따라 하중주파수의 변화에 따라 하중 및 변형량이 변하게 된다. 각 혼합물별로 단기노화부터 장기노화 세 단계의 결과를 이용하여 마스터곡선으로 그림 4-16까지 정리하였다. 장기노화를 실험실에서 온도조건을 이용하여 모사하였기 때문에 아스팔트의 바인더에 의한 장기노화라 봐야 정확하다. 전체적으로 노화가 진행되면서 동탄성계수가 높아짐을 알 수 있다. 최대입경이 클수록 그 정도는 작아지는데 그 이유는 아스팔트 바인더의 효과 보다 골재의 효과가 그 비중이 증가함에 따른 것이다. SBS는 최대입경은 작지만 고점도이기 때문에 고온에서 약간의 상승만 있는 정도였고, SMA는 바인더보다 골재의 맞물림에 의한 작용이 커서 바인더의 노화와 별 관계가 없는 것으로 나타났다. 특이한 것은 세립도 갭 입도에서 동탄성계수가 노화에 따라 일정하다는 것인데 이것 역시 골재 입도작용이 그 원인이다.

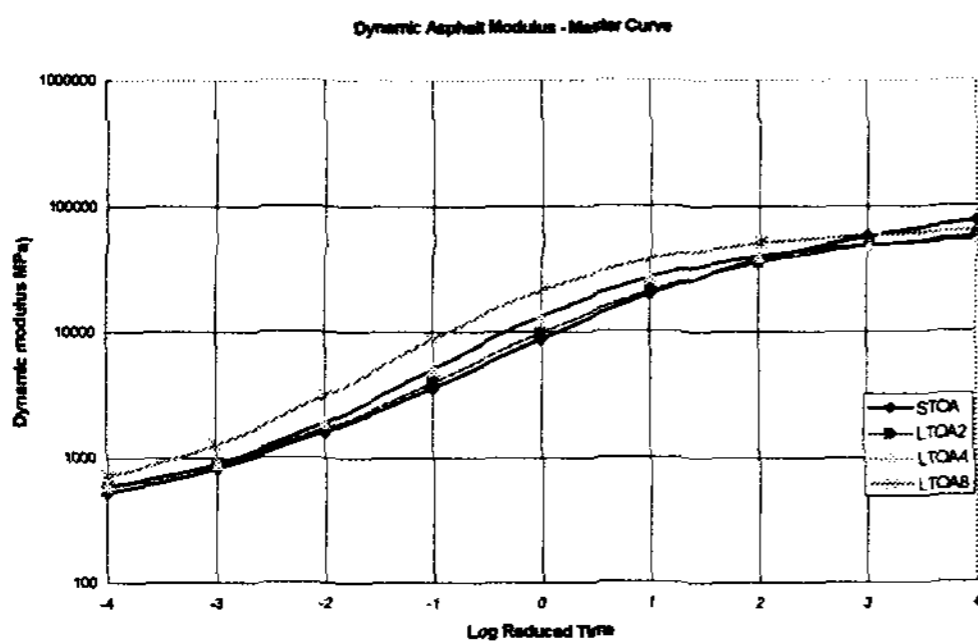


그림 4. 밀입도 13 AP3 마스터곡선

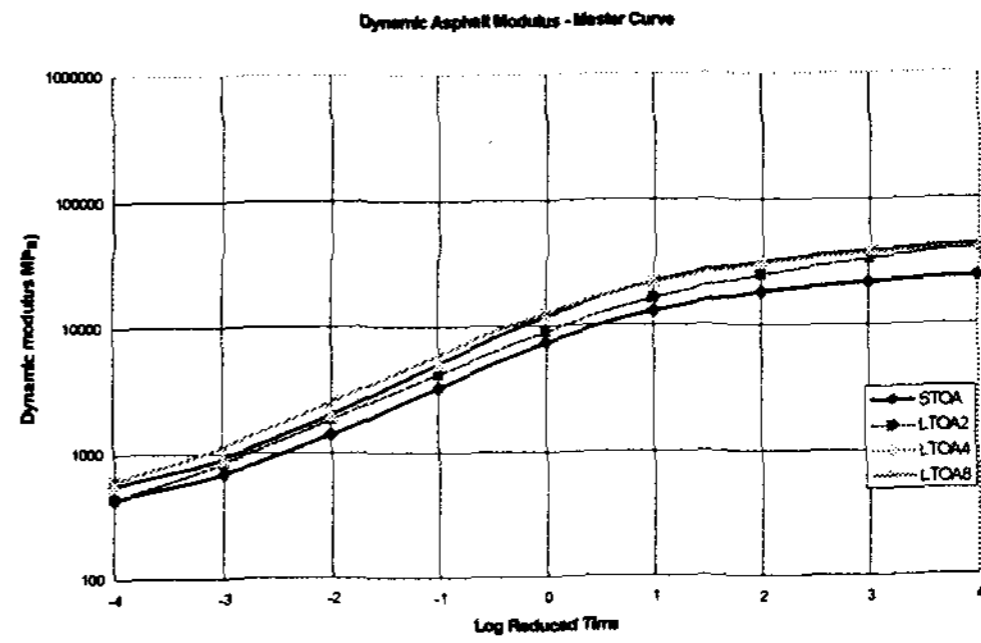


그림 5. 밀입도 13 AP5 마스터곡선

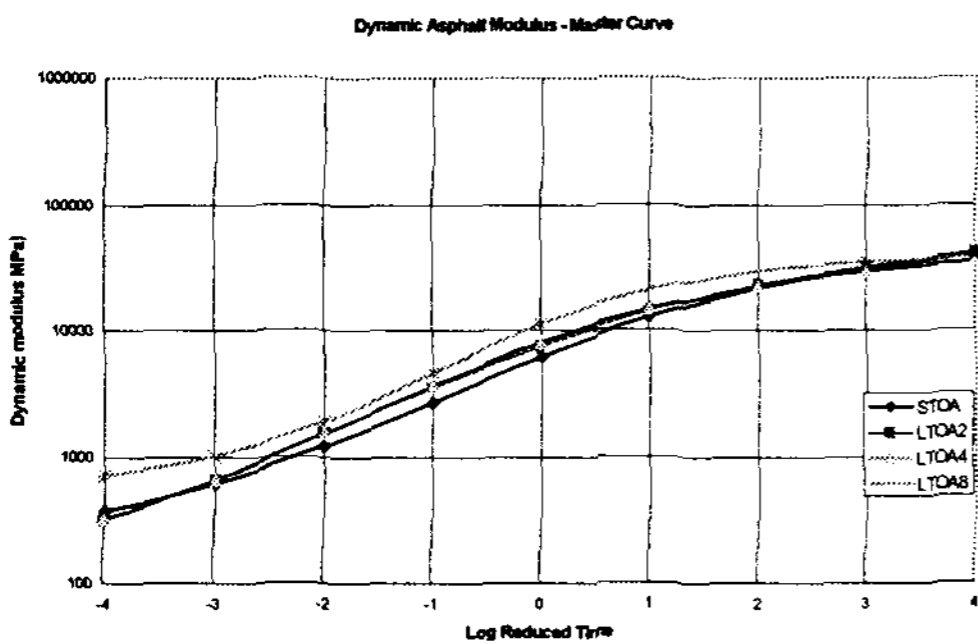


그림 6. 세립도 13 AP3 마스터곡선

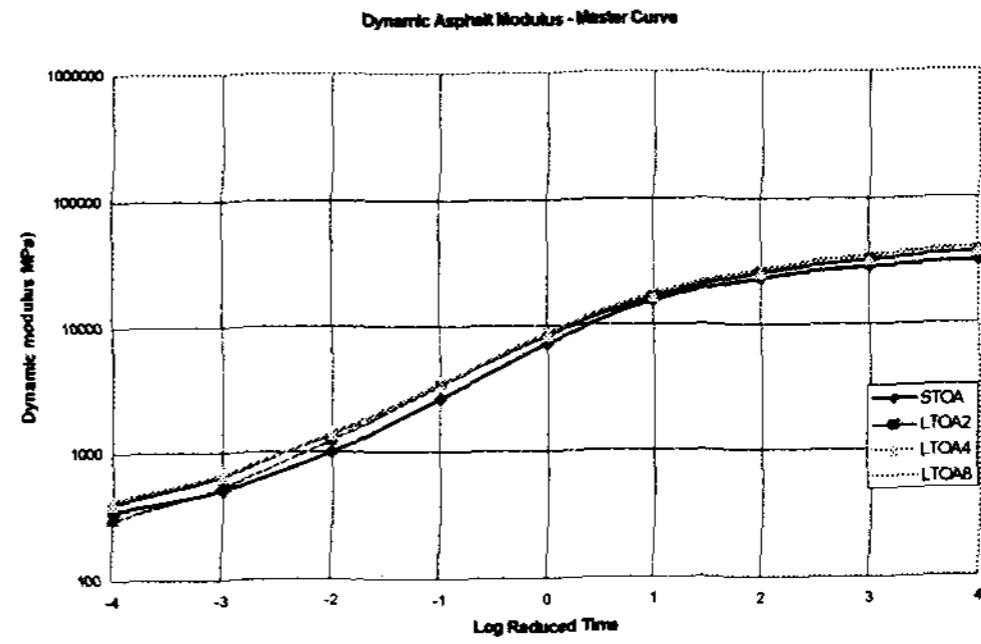


그림 7. 세립도 갭 13F AP3 마스터곡선

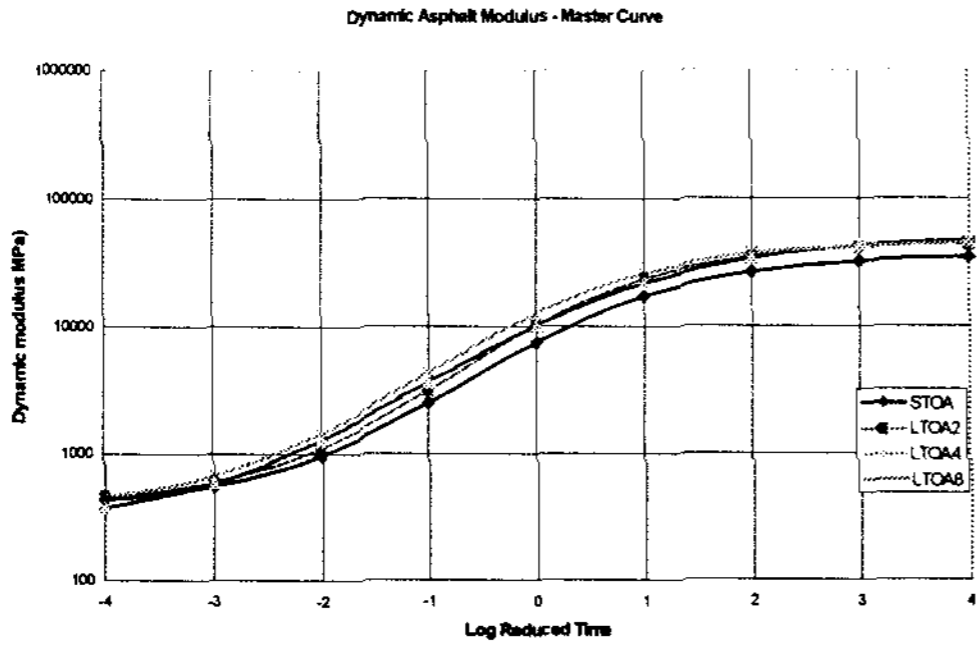


그림 8. 세립도 13F AP3 마스터곡선

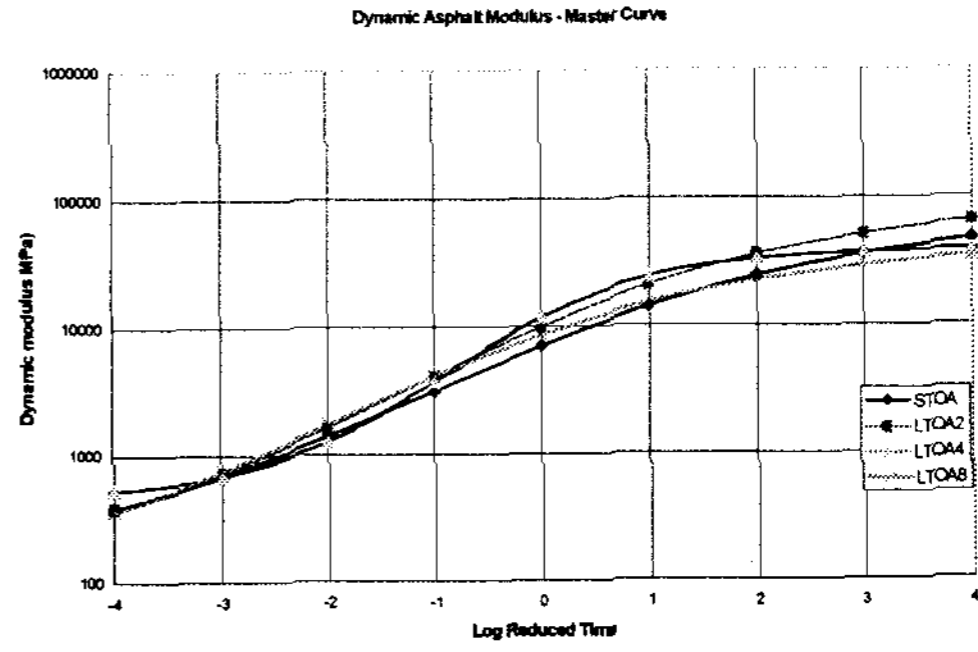


그림 9. 개립도 13 AP3 마스터곡선

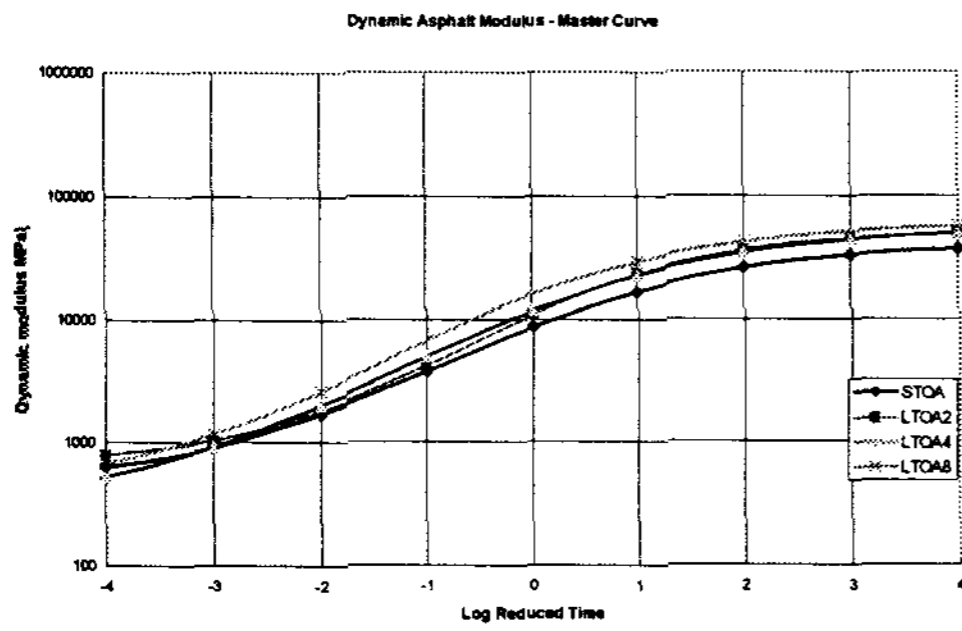


그림 10. 밀입도 19 AP3 마스터곡선

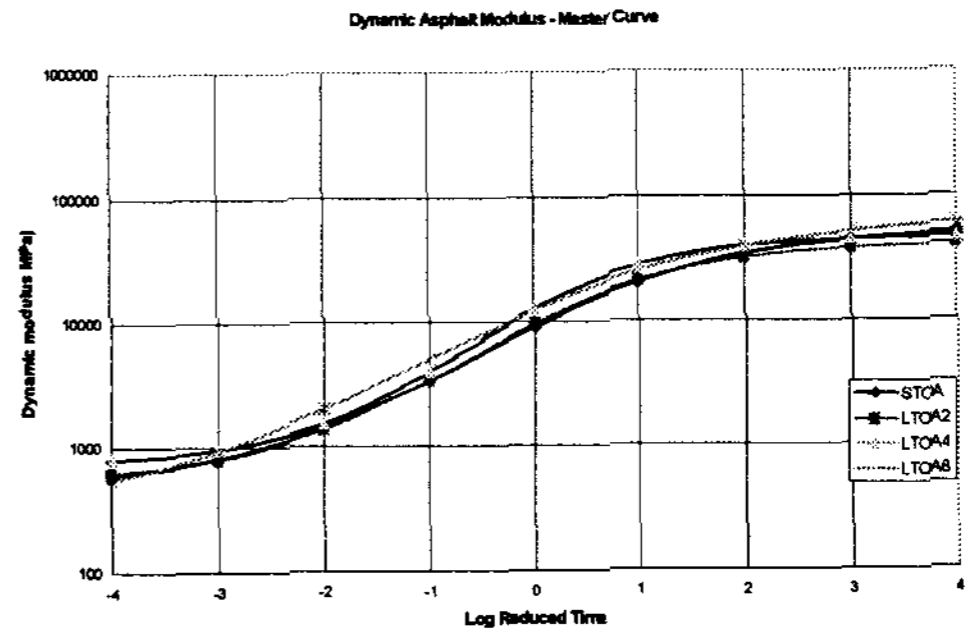


그림 11. 밀입도 19 AP5 마스터곡선

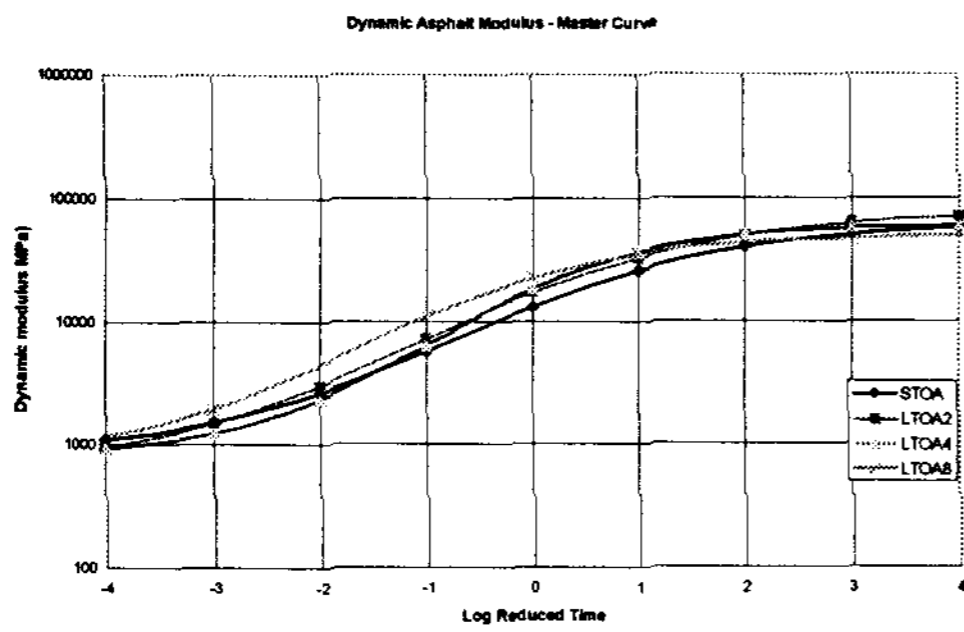


그림 12. 밀입도 25 AP3 마스터곡선

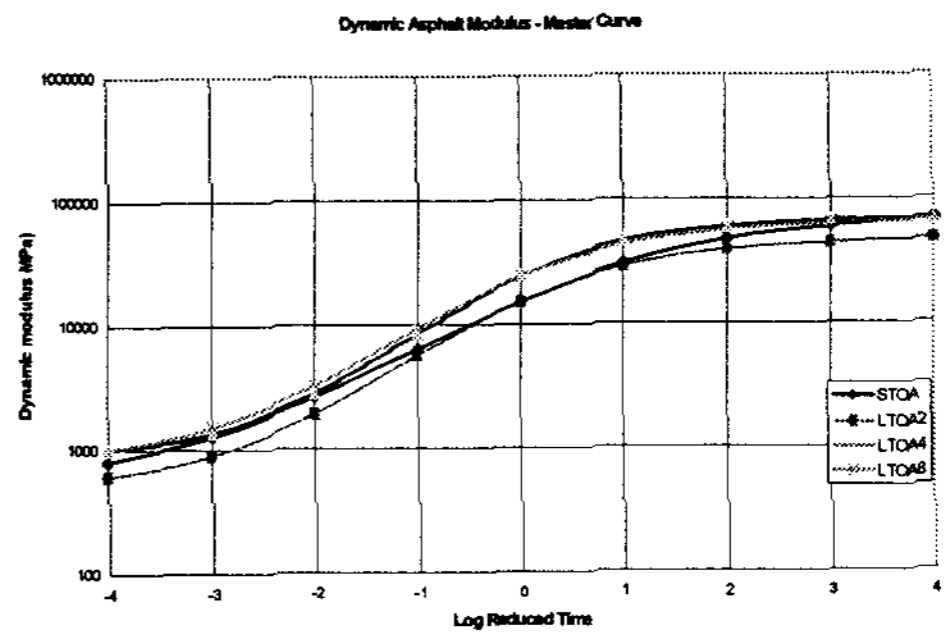


그림 13. 밀입도 25 AP5 마스터곡선

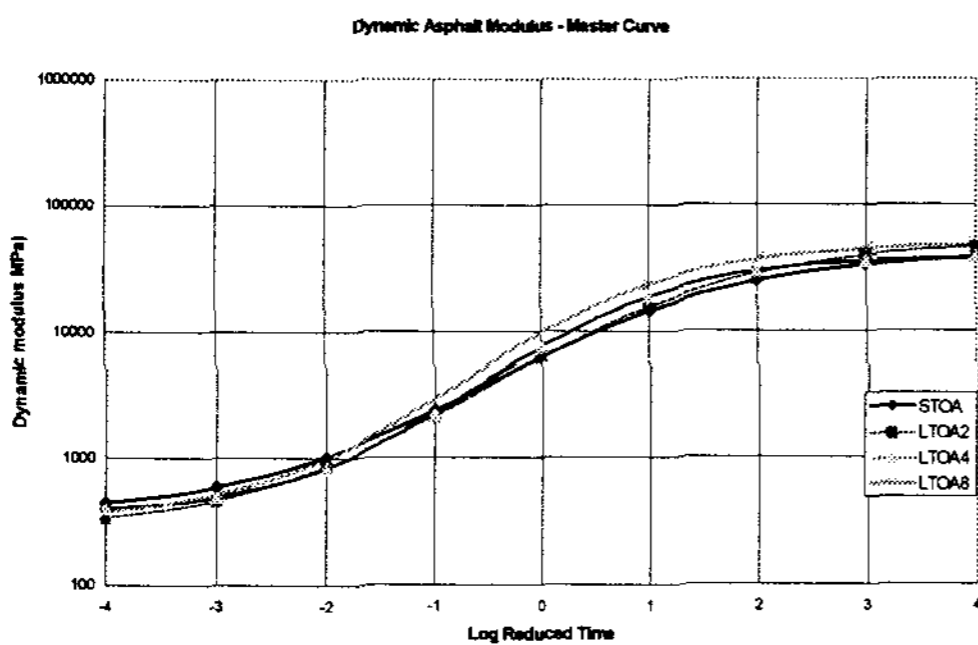


그림 14. SMA 13 AP3 마스터곡선

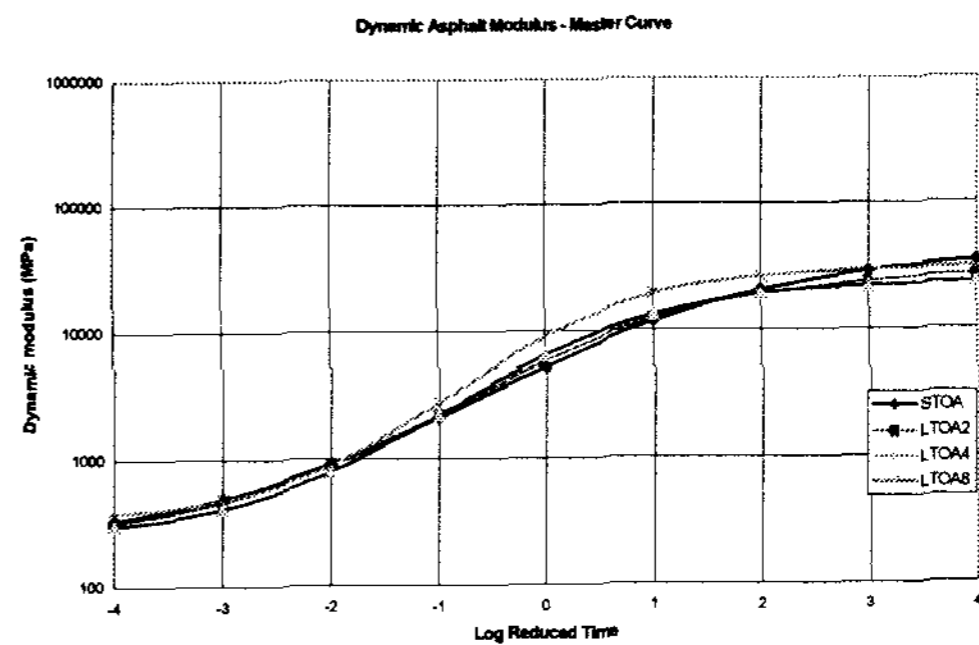


그림 15. SMA 13 AP5 마스터곡선

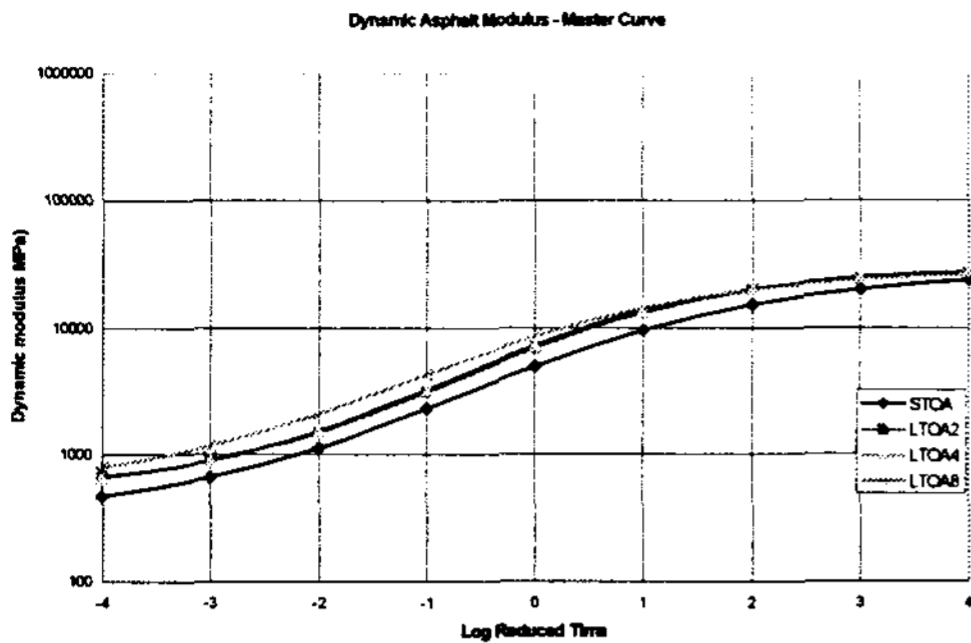


그림 16. SBS 13 마스터곡선

5. 결론

단기노화조건은 135℃로 4시간이 적절할 것이며, 이것은 Oregon State University(OSU)에서 테스트한 현장시험과 Bell et al.이 개발하고 시험한 가속 실내 시험 결과를 비교하여 얻은 단기노화 결과조건과 같다. 동일한 연구결과에서 장기노화는 85℃에서 2일 노화시킨 조건은 보통 현장에서 5년의 공용상태를 나타낸다고 한다. 또, 85℃에서 4일 노화시킨 조건은 기후에 따라 보통 현장에서 7~15년의 공용상태를 나타낸다고 한다. 장기노화의 온도조건에서 온도가 85℃가 넘어 갈 경우 시간단축의 효과는 있지만, 시편의 노화 데미지가 크게 발생하여 부적절하다. 때문에 실내에서 장기노화를 모사하기 위해서는 135℃로 4시간 단기노화를 거친 후 85℃의 온도조건에 따라 2, 4, 8일 정도의 장기노화 과정을 선택하여 시험하는 것이 적절하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 지역대학우수과학자 지원사업(과제번호 D00511, 2006년) 지원으로 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김현오, 이관호 (2006), "국내 아스팔트 혼합물의 동탄성계수 예측방정식", 대한토목학회 논문집
2. 한국도로포장공학회 : 아스팔트 포장공학 원론, 한국도로포장공학회 편저, pp. 571. (1999)
3. Brown, E. Ray, Mallick, Rajib B., Haddock, John and Bukowski, John (1997), "Performance of Stone Mastic Asphalt (SMA) Mixtures in the United States", AAPT, Vol. 66., p.426.
4. Andrei, D., Witczak, M. W., and Mirza, W., "Development of a revised Predictive Model for the Dynamic (Complex) Modulus of Asphalt Mixtures," Inter Team Technical Report NCHRP Project 1-37A, University of Maryland, March, 1999
5. American Society for Testing and Material (ASTM). "Test Method for Pulse Velocity Through Concrete". ASTM C 597
6. Fonseca, O. A., and Witczak, M. W., "A Prediction Methodology for the Dynamic Modulus of InPlace Aged Asphalt Mixtures", Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 65, 1996.
7. C.A.Bell, M.J.Fellin, and A.Wieder, Field Validation of Laboratory Aging Procedures for Asphalt Aggregate Mixtures. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1994.