

온도가열곡선 변화에 따른 콘크리트의 내화특성

Properties of Fire Resistance in Tunnel Concrete According to the Changes of Heating Curve

裴長春* 노상균** 이찬영*** 이종석**** 이장화***** 한천구*****
Pei, Chang Chun Noh, Sang Kyun Lee, Chan Young Lee, Jong Suk Lee, Jang Hwa Han, Cheon Goo

ABSTRACT

To obtain tunnel concrete safety in case of fire, this study analyzed fire proof characteristics by fire proof method change, and the results are as follows. As a fire proof characteristics by RABT temperature heating curve, plain concrete experienced severe spalling by initial extremely high temperature. In view of fire proof method, in the cases of organic fiber mixing method and board method, spalling was prevented, and in the case of spray method, severe spalling of over 100mm depth occurred along with exposure of structural concrete including spray coat by heat stress, etc while metal lath, the stiffener, falls off. As for fire proof characteristics by RWS temperature heating curve, in case of organic fiber inclusion, concrete surface experienced fusion of within 5mm, while in the case of spray method, spray coat was severely spalled to a depth of over 100mm causing structural body concrete to expose its reinforcement, and also in the case of board method, board was fused by high temperature, causing structural body concrete be directly exposed to high temperature, which triggered overall fall-off phenomenon, so in such extraordinary high temperature heating condition, establishment of special fire proof measures is needed.

요약

본 연구에서는 화재시 터널 콘크리트의 안전성 확보를 목적으로, 내화공법 변화에 따른 내화특성을 분석한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. RABT 온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 플레인 콘크리트는 초기의 극심한 고온에 의해 심한 폭렬현상이 발생하였고, 내화공법변화에 따라서는, 유기섬유를 혼입하는 방식과 보드방식의 경우는 폭렬이 방지되는 것으로 나타났으며, 스프레이 방식의 경우는 보강재인 메탈라스가 뿔칠재와 같이 탈락되면서 열응력 등에 의해 구조체 콘크리트가 철근이 노출되는 등 100mm 이상 깊이의 심한 폭렬이 발생하였다. RWS 온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 유기섬유를 혼입한 경우는 콘크리트 표면이 약 5mm 이내 깊이의 용해현상이 발생하였고, 스프레이 방식의 경우는 뿔칠재가 박리되어 구조체 콘크리트가 철근이 노출되는 등 100mm 이상 깊이의 심한 폭렬이 발생하였으며, 보드방식의 경우도 보드가 고온에 용해되면서 구조체 콘크리트가 고온에 직접 노출되어 전면적으로 탈락현상이 발생하였는데, 이와같은 특고온 가열조건에서는 특별한 내화대책수립이 필요한 것으로 사료된다.

- * 정회원, 청주대학교 대학원 박사과정
- ** 정회원, 청주대학교 대학원 석사과정
- *** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 전임연구원
- **** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원, 공학박사
- ***** 정회원, 한국건설기술연구원 연구위원, 공학박사
- ***** 정회원, 청주대학교 건축공학부 교수, 공학박사

1. 서론

최근의 도로는 터널 수의 증가 및 장대화와 동시에 차량의 대형화, 위험물 다량적재 및 주행속도 증가에 따라 터널내 교통사고로 인한 대형화재가 발생하여 가끔 엄청난 경제적 손실을 초래하는 예가 있다. 즉, 폐쇄된 공간인 터널에서의 화재는 인명피해는 물론이고, 콘크리트 구조체의 폭렬에 의한 강도저하 및 붕괴에까지도 이르는 등 사회기반시설에 커다란 장애를 야기시킬 수도 있다.

그러나, 이러한 현실에도 불구하고 터널내 화재에 따르는 구조체의 보호, 내화시험방법 및 폭렬방지 대책에 대한 연구는 이제까지 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 1차년도의 공시체조건 선행 연구결과를 토대로 모의터널부재에 대하여 온도가열곡선별 내화시험을 실시한 후 폭렬성상, 온도이력 등 내화성능을 기초적으로 검토하므로써, 터널 콘크리트의 내화안정성에 기여하고자 한다.

표 1. 콘크리트 라이닝 시험체의 실험계획

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

내화특성 연구의 실험계획은 표 1과 같다.

즉, 실험요인으로 W/B는 34% 1수준에 대하여 내화공법을 적용하지 않은 것을 플레인 콘크리트로 하여, 여기에 내화공법변화로는 유기섬유 혼입방식, 스프레이 방식, 보드방식의 3수준, 온도가열곡선변화로는 RABT, RWS온도가열곡선 2수준으로 하여 총 7개의 시험체에 대하여 실험계획 하였다. 이때 내화공법의 결정은 선행연구에서 내화성, 시공성, 경제성이 비교적 양호하게 나타난 것으로서, 보드방식은 내화페인트 처리한 연결철물로 내화보드를 건식으로 모재에 고정하는 방법, 스프레이방식은 PP섬유(19mm)와 보강재로써 메탈라스 1.6T를 동시에 사용한 방법, 유기섬유 혼입방식은 PP섬유(19mm)를 콘크리트에 0.10% 혼입하는 방법으로 계획하였다.

실험사항으로는 내화시험 후의 폭렬유무, 온도이력을 측정하는 것으로 하였다.

구 분	실험요인				실험 항목	
	W/B (%)	목표슬럼프 (mm)	목표공기량 (%)	온도가열 곡선		
모 재	34	150±25	4.5±1.5	RABT	-온도이력 -폭렬유무	
구 분	W/B (%)	내화방법		온도가열 곡선		
내 화 공 법	섬유 혼입	34	PP섬유 0.10%			RABT RWS
	스프레이 방식	34	PP섬유+ 메탈라스1.6T			
	보드방식	34	건식공법+ 내화페인트			

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료로서 건식공법에 사용되는 연결철물(fastener: L-50×50×4)은 국내 석공사용으로 시판되는 것을 사용하였고, 내화페인트 및 내화뿔철재는 국내산 K사산을 사용하였다.

내화보드에 사용되는 유기섬유로 PP섬유(밀도: 0.91g/cm³, 길이: 19mm, 직경: 0.04mm)는 국내산 S사산 제품을 사용하였고, 보강재로 메탈라스(장목: 48mm, 단목: 24mm, 두께: 1.6mm)는 국내산 Z사산을 사용하였다.

2.3 실험방법

화재를 상정한 내화시험은 시험체를 종류별로 한국건설기술연구원의 전용가열로 상부에 수평으로 배치하여 놓고, 각각 RABT 또는 RWS온도이력곡선에 의거 실시하였다. 내화시험 후 시험체의 폭렬여부는 육안으로 관찰하여 조사하였으며, 내화시험 중 온도이력은 K타입 열전선으로 데이터로그를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 폭렬특성

사진 1은 온도가열곡선별 내화공법변화에 따른 폭렬성상을 나타낸 것이다.

RABT온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 먼저 플레인 콘크리트는 초기의 극심한 고온에 의한 수증

기압증대로 인해 철근이 노출되는 등 심한 폭렬현상이 발생하였다. 내화공법변화에 따라서, 먼저 유기섬유를 혼입하는 방식의 경우는 140분간 가열시험후 시험체 표면에 약간의 박리폭렬정도가 나타났지만 전반적으로 구조체는 본래의 모양을 그대로 유지하는 것으로 나타났다. 스프레이 방식의 경우는 뿔칠재와 바탕콘크리트간의 온도차에 따른 열응력으로 뿔칠재가 먼저 탈락되면서 구조체 콘크리트가 철근이 노출되는 등 100mm이상 깊이의 심한 폭렬이 발생하였다. 또한 보드방식의 경우, 모재 콘크리트는 폭렬이 발생하지 않고 본래의 형상을 그대로 유지하는 것으로 나타났는데, 이는 내화보드에 포함된 PP섬유에 의해 일차적으로 고온에 의한 수증기를 효과적으로 배출시키고, 동시에 고온을 효과적으로 차단하므로써 모재콘크리트의 폭렬이 방지된 것으로 분석된다.

RWS 온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 유기섬유를 혼입한 경우는 1300℃이상의 극심한 고온에 유기섬유가 용해되어 폭렬은 방지될지라도 콘크리트의 표면부에 5mm이내 깊이의 용해현상이 발생하였고, 스프레이 방식의 경우는 뿔칠재와 바탕콘크리트간의 온도차에 따른 열응력으로 뿔칠재가 탈락되면서 구조체 콘크리트가 철근이 노출되는 등 100mm이상 깊이의 심한 폭렬이 발생하였다. 또한, 보드방식의 경우는 보드가 고온에 용해되면서 구조체 콘크리트가 고온에 직접 노출되어 구조체 콘크리트의 표면부에 10mm이하 깊이의 탈락현상이 발생하였다.

3.2 온도이력

그림 1은 RABT 및 RWS 온도가열곡선별 내화공법 변화에 따른 콘크리트의 온도이력 곡선을 나타낸 것이다.

RABT온도가열곡선에 따른 온도이력특성으로, 먼저 플레인의 경우는 심한 폭렬로 인해 주근부의 최고온도는 1157℃, 표면에서 100mm 깊이는 1151℃로 크게 나타났다. 내화공법 변화에 따라서 유기섬유를 혼입한 경우는 표면이 약간의 표면박리 정도로 비교적 양호한 폭렬방지성능을 나타내었는데, 이때 주근부의 최고온도는 685℃, 표면에서 100mm 깊이는 260℃로서, 주근부의 온도를 250℃미만으로 낮추려면 철근피복두께를 충분히 확보해야 할 필요성을 알 수 있었다. 스프레이방식의 경우는 뿔칠재 및 메탈라스 보강재가 구조체에서 탈락되면서 약 50분만에 실험이 중단되었는데, 이때 모재 표면부의 최고온도는 1190℃, 주근부는 605℃, 표면에서 100mm 깊이는 404℃를 나타내었다. 이와같은 경우 국외의 실험결과를 참조하면 뿔칠재의 두께를 충분히 늘이고, 보강재로써 용해점이 높은 재료를 선정하여 시공하면 폭렬방지가 가능할 것으로 판단된다. 보드방식의 경우 RABT에서는 고온에 폭렬이 방지됨에 따라 모재 표면부 최고온도는 287℃, 주근부는 146℃, 표면에서 100mm 깊이는 95℃로 양호한 폭렬방지 성능을 나타내었다.

또한, RWS온도가열곡선에 따른 온도이력특성으로, 유기섬유를 혼입한 경우는 극심한 고온에 의해

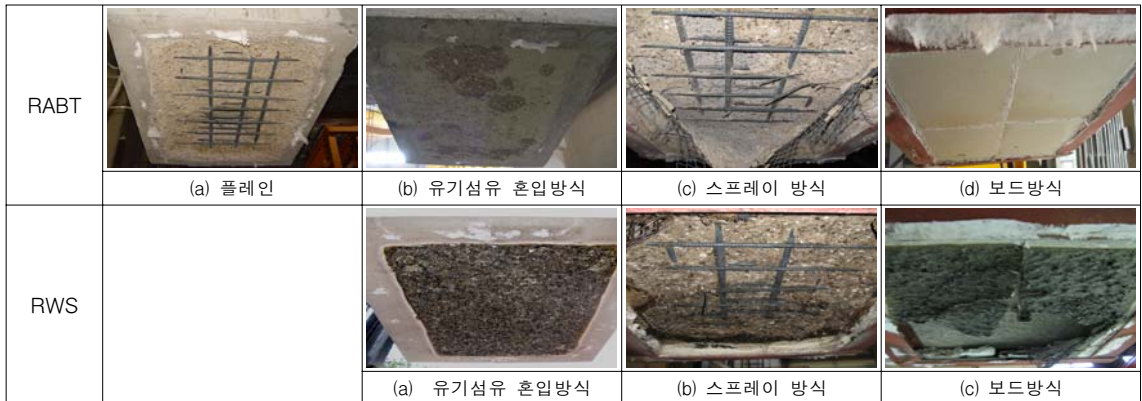


사진 1. 온도가열곡선별 내화공법 변화에 따른 시험체의 폭렬성상

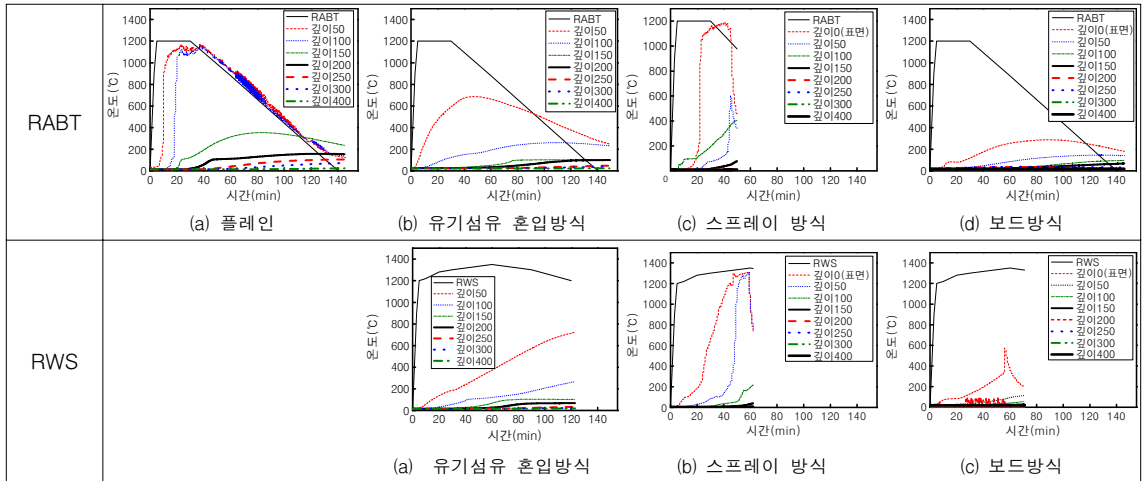


그림 1. 온도가열곡선별 내화공법 변화에 따른 시험체의 온도이력

표면부에 5mm이하의 용해현상이 발생하였는데, 이때 주근부의 최고온도는 721℃, 표면에서 100mm 깊이는 268℃를 나타내어 주근부의 온도를 250℃미만으로 낮추려면 철근피복두께를 100mm이상 확보해야 할 필요성이 있음을 알 수 있었다. 스프레이 방식의 경우는 뿔칠재 및 메탈라스 보강재가 모두 탈락되면서 구조체 콘크리트가 심한 폭렬이 발생되어 약 62분만에 실험이 중지되었는데, 이때 모재 표면부의 최고온도는 1307℃, 주근부는 1299℃, 표면에서 100mm깊이는 213℃로 나타나 뿔칠재의 두께를 충분히 늘이고, 보강재로써 용해점이 높은 재료를 선정하여야만 폭렬방지가 가능할 것으로 판단된다. 한편, 보드방식의 경우는 보드가 고온에 용해되면서 구조체 콘크리트가 탈락하여, 약 71분만에 실험이 중지되었는데, 이때 모재 표면부의 최고온도는 567℃, 주근부는 113℃, 표면에서 100mm 깊이는 56℃를 나타내어, 내화성이 양호한 마감소재와 연결철물 및 앵커를 사용한다면 폭렬방지가 가능할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 화재시 터널 콘크리트의 안전성 확보를 목적으로, 내화공법 변화에 따른 내화특성을 분석한 것으로서, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) RABT온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 플레인 콘크리트는 초기의 극심한 고온에 의한 수증기압 증대로 인해 심한 폭렬현상이 발생하였고, 내화공법변화에 따라서는, 유기섬유를 혼입하는 방식과 보드방식의 폭렬이 방지되는 것으로 나타났으며, 스프레이 방식의 경우는 보강재인 메탈라스가 뿔칠재와 함께 탈락되면서 구조체 콘크리트가 철근이 노출되는 등 100mm이상 깊이의 심한 폭렬이 발생하였다.

2) RWS 온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 유기섬유를 혼입한 경우는 폭렬은 방지되었을지라도 콘크리트 표면이 약 5mm이내 깊이의 용해현상이 발생하였고, 스프레이 방식의 경우는 구조체 콘크리트가 철근이 노출되는 등 100mm이상 깊이의 심한 폭렬이 발생하였으며, 보드방식의 경우도 보드가 고온에 용해되면서 구조체 콘크리트가 고온에 직접 노출되어 전면적으로 탈락현상이 발생하므로써 이와같은 특고온 가열조건에서는 특별한 내화대책이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 이병열, "화재시 고성능 콘크리트의 폭렬방지에 관한 연구", 청주대학교 박사학위논문, 2001. 12