

천안지역 CRM 아스팔트 포장 시공사례

A Report on Crumb Rubber Modified Asphalt Pavement Construction on Chonan Area

윤찬호* · 고길재** · 이석홍***

Yoon, Chan Ho · Go, Gil Jae · Lee, Suck Hong

1. 서론

본 시공사례를 통하여 CRM 아스팔트 포장공사에 따른 합리적인 시공과정을 2001년에 시공된 천안 지역의 CRM 아스팔트 포장공사를 중심으로 밝혀보고자 한다. 천안지역 천안 만남의 길 CRM 아스콘 덧씌우기 공사(이하 본 공사) 구간은 경부고속도로 천안IC에서 고속버스터미널과 시외버스터미널을 경유하여 천안시내로 진입하는 왕복 8차선과 6차선 1번 국도가 중간 지점에서 교차하는 도로이다. 1일 대형차 교통량은 3,000(대/일/방향) 이상으로 천안시 주변도로 중에 가장 교통량이 많은 구간이다. 지금까지 차량 정체 및 지체 특히 1번 국도를 이용하는 화물 차량과 경부고속도로 천안IC를 이용하는 화물차량 고속버스 일반버스가 교차하여 정체 및 지체 현상이 매우 심각하다. 발주 기관인 천안시는 지금까지 표층용 밀입도20 아스팔트 혼합물로 포장하고 소성변형 등이 발생하면 평삭 혹은 절삭 덧씌우기를 실시하여 관리하였으나, 얼마 지나지 않아 소성변형이 발생하여 도로관리에 어려움을 겪고 있었다. 이러한 배경으로 천안시는 소성변형 저항성에 우수하고 차량 통행에 의한 차량소음이 주변 아파트 단지에 미치는 영향, 도로수명 등을 감안하여 여러 개질 아스팔트 혼합물 중 CRM 아스팔트 혼합물로 결정하였다.

2. CRM 포장의 특성

CRM 아스팔트 혼합물은 갱입도, 개립도, 밀입도가 있다 이중 최대골지치수 19mm인 갱입도 아스팔트 혼합물을 선정하였는데, 그 선정된 이유는 다음과 같다. 개립도는 배수를 목적으로 하는 포장이나 미끄럼 저항성을 극대화하는 포장에서 일부 사용하고 있기 때문에 천안지역의 시공목적에는 맞지 않는 것으로 평가되었다. 밀입도는 CRM아스콘 특성을 제대로 발휘하지 못하는 경우가 있는 것으로 보고되고 있어 평가에서 제외되었다. 이에 반해 갱입도는 굵은 골재 사용량을 증대시키고 잔 골재(#8 이하) 사용량을 줄여서 골재와 골재간의 맞물림 효과를 증대시키기 때문에 소성변형 저항성이 우수하

* 정회원 · 율곡산업(주) 품질관리실장 (E-mail: yoonchho@hanmail.net)

** 정회원 · 율곡산업(주) 품질관리대리

*** 정회원 · 현대건설 기술연구소 / 팀장 책임연구원 (E-mail: shlee@hdec.co.kr)



표 1. 갱입도 CRM 아스콘 덧씌우기 두께 환산표 (단위 cm)
(주)유닉스라바 포장기술자료 2001년)

설계된 일반 말입도 혼합물	갱입도 CRM아스콘(13mm)	갱입도 CRM아스콘(19mm)
4	3	4
5	3	4
6	3	4
7	4	4
8	4	5
9	5	5
10	5	6

고, 차량소음감소, 반사균열 억제에도 강한 저항성을 발휘하는 것으로 알려져 있다.

포설 두께는 4cm로 선정하였으며 선정된 이유는 다음과 같다. 일반아스콘 5cm포장과 비교하면 포설 두께를 줄여 최대치수 13mm의 경우 3cm, 최대치수 19mm의 경우 4cm로 포장하여도 구조적인 능력을 발휘하는 것으로 알려져 있다. 표 1은 현재 세계적으로 CRM아스콘 덧씌우기 설계에 적용되고 있는 미연방도로국(FHWA)에서 승인한 두께 결정지침에 근거한 등치환산표(Equivalent)이며, 이 표에 근거하여

갱입도 CRM 아스팔트 포장의 표층 두께를 4cm로 결정하였다.

3. CRM 아스팔트

3.1 고무 분말(CRM)

본 공사에 사용되는 CRM 아스팔트 혼합물용 고무 분말은 차량용 타이어 tread부분을 자원재생공사에서 상온 분쇄하여 얻은 제품을 납품받아 사용하였다. 2001년 자원재생공사에서 생산되는 고무분말은 6,000ton정도로 추정되며 이를 타이어로 환산하면 170만개 정도 된다. 이중 CRM 아스팔트 혼합물 제조로 소비되는 양은 2,000ton정도이고 타이어로 환산하면 60만개 정도이다. 나머지는 고무블럭으로 2,000ton 고무패드로 1,000ton정도 소비될 것으로 추정된다. 차량용 타이어 tread 부분을 사용하는 것은 아스팔트와 고무분말이 결합할 경우 타이어의 주성분인 천연고무, 합성고무, 카본블랙 등이 다양한 결합을 통한 우수한 성질을 나타내기 때문이다. 각각의 성분을 살펴보면 천연고무는 우수한 탄력성을 제공하며, 합성고무는 열 안전성을 향상시키는 것으로 보고되고 있다. 승용차용과 소형트럭용 및 대형트럭용 타이어의 구성 성분은 차이가 있으며 화학성분의 차이는 아래 표 2와 같다

표 2. 고무분말 화학적 조성 표((주)유닉스라바 포장기술자료 2001년)

화학적 성분	소형차/소형트럭 트레드	중형/대형 트럭 트레드	전체 타이어 고무
야세톤 추출물	17.2%	11.4%	15.1%
회 분	4.8%	5.1%	5.0%
카본 블랙	32.7%	33.2%	32.0%
고무 탄화수소	42.9%	50.2%	47.9%

고무분말은 생산에 사용하기 전 섬유질, 광물성, 금속성 함유량이나 함수량 등을 측정해야 하고 그 결과를 정리한 것은 표 3과 같다. 입도 시험 결과는 표 4에 나타내었다.



표 3. 고무분말 성분

검사 항목	기준	시험결과	판정
철유질함유량	0.1% 이하	0.04%	합격
광물성함유량	0.25% 이하	0.01%	합격
금속성함유량	금속입자 없어야 함	없음	합격
함수량	0.75% 이하	0.28%	합격
입도	시방입도내	입도내	합격

표 4. 고무분말 입도

체크기(mm)	사방범위		누적잔류량(g)	잔류량각각(g)	누적잔류율(%)	통과율(%)
5.0	100	100	0	0	0	100.0
2.5	100	100	0	0	0	100.0
2.0	100	100	0	0	0	100.0
1.2	75	100	4.1	4.1	8.2	91.8
0.60	25	60	35.2	31.1	70.4	29.6
0.30	0	20	45.3	10.1	90.6	9.4
0.075	0	5	49.9	4.6	99.8	0.2
PAN			50	0.1		

3.2 CRM 아스팔트

CRM 아스팔트 혼합물 생산방법은 크게 건식·습식의 2가지 생산기술로 분류되는데, 본 공사의 경우에는 침입도 60~80인 일반 아스팔트 시멘트를 210℃로 순간 간접 가열하고, 고무분말과 혼합한 후 175±5℃에서 45~60분 정도 숙성을 시켜 고무분말 표면이 젤(gel) 상태로 변하면 투입기로 이동하여 생산 플랜트에 공급하는 형식의 습식기술을 사용하였다. 고무분말과 아스팔트의 혼합과정에서 정확한 품질관리를 위하여, 숙성기에서 45분 정도 경과한 후 점도를 확인하였으며 그 결과는 표 5와 같다.

표 5. 점도측정

검사 항목	기준	1회	2회	평균	판정
침입도(25℃,100g,5초,1/10mm)	25 ~ 75	44	45	44.5	합격
침입도(4℃,200g60초,1/10mm)	15이상	-	-	-	-
연화점(℃)	55이상	62.5	62	62.25	합격
신도(4℃,cm,5cm/min)	-	-	-	-	-
절대점도(175℃,CPS,3spindle,20RPM)	1,500~5000	3,100	3,100	3,100	합격
탄성회복력(%)	10이상	23	22	23	합격



4. 배합설계

4.1 원재료

고품질의 CRM아스팔트 혼합물 제조를 위해서는 양질의 골재 선정이 매우 중요하다. 골재는 시방서 규정에 적합한 물성값을 가져야 하며, 특히 편평 및 세장석(규정치 20%이하) 많이 함유한 골재는 품질 확보에 매우 좋지 않은 영향을 미치므로 양질의 골재를 확보하는데 신중하였다. 제조에 사용된 19mm, 13mm 굵은 골재는 K생산업체가 40mm 골재를 Impact Crusher를 이용하여 생산된 것을 납품받아 사용하였으며, 편평 및 세장석 함유량이 4.1%로 매우 양호한 입형을 가진 골재를 사용할 수 있었다. 사용된 골재 물성시험 결과를 정리한 것은 표 6과 같다. 채움재는 KS F 3501에 만족하는 석회석 분말을 사용하였다.

표 6. 골재 물성 시험 결과

항 목	시험 방법	기 준	결 과	비 고
비 중	KS F 2503	2.5이상	2.723	
흡 수 율(%)	KS F 2503	2.0이상	0.82	
마 모 감 량(%)	KS F 2508	30이하	20.3	
안정성 시험감량(%)	KS F 2507	12이하	2.8	
피막박리시험 피복면적(%)	KS F 2355	95이상	95이상	
편평 및 세장석편 함유량(%)	-	20이하	4.1	
0.08mm체 통과량(%)	KS F 2311	1.0이하	1.0이하	

4.2 원재료 합성 및 합성입도

원재료 합성은 우선 주어진 골재 19mm, 13mm, 6mm이하와 채움재를 규정된 체를 사용하여 입도 분석을 10회 실시하였다. 10회 평균값을 근거로 5가지 골재합성방법 중 Rothfuchs-Faurt 합성법을 사용하여 1차 합성한 후 시방서 규정에 좀 더 근접하도록 경험에 의하여 2차 합성하여 골재합성비율을 결정하였다. 각 골재합성비율을 근거로 혼합한 후, 예정 아스팔트 함량보다 위·아래 2개의 번곡점이 발생하도록 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5%로 아스팔트 함량 변화를 주어 각각의 공시체 3개 이상을 제작하였다. 마찰공시체 제작과정을 보면 골재를 160~170℃ 건조기에서 향량이 될 때까지 건조 한 후 175±10℃로 가열된 CRM아스팔트를 혼합하고 155±5℃로 유지하면서 균일하게 혼합하였다. 공시체 다짐 시 온도는 145±5℃에서 양면 75회 실시하였다. 아래 표 7은 골재 합성비율을 나타낸 것이고, 표 8는 합성비율에 의한 입도 결과이다. 그림 2는 합성비율을 그래프로 나타낸 것이다.

표 7. 골재합성비율

재 료 명	19mm	13mm	6mm이하	채움재	CRM아스팔트	계	비 고
골재합성비율(%)	25.0	45.0	25.0	5.0	-	100.0	
혼 합 비 율(%)	23.1	41.6	23.1	4.6	7.60	100.0	



표 8. 골재 합성 입도

구분 \ 채번호	25mm	19mm	13mm	10mm	5mm	2.5mm	0.6mm	0.08mm	비고
사방 입도(%)	100	95-100	70-90	50-70	25-45	15-25	5-15	2-6	
혼합 입도(%)	100	100.0	84.9	59.8	29.5	21.2	12.0	4.9	

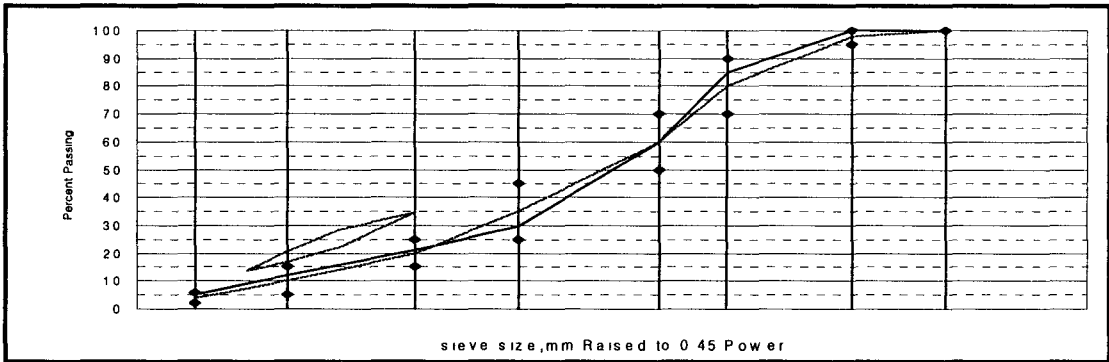


그림 2. 합성 입도 그래프

표 9. 시험 결과

시험성질	단위	사방	시험결과
안경도	kg	-	775
후로우	1/100cm	-	41.9
공극율	%	3~6	4.16
포화도	%	-	78.7
밀도	g/cm ³	-	2.289
골재공극율(VMA)	%	18 이상	19.55
최적 아스팔트량	%	6.5~9	7.6

아스팔트 함량을 0.5% 간격으로 변화를 주어 시험한 결과 설계 아스팔트 함량은 7.6%로 결정하였고, 7.6%에 해당되는 시험 결과를 정리한 것은 표 9와 같다.

5. 시 공

5.1 현장 배합비

배합설계에서 결정된 골재 배합비율을 근거로 유출량 시험을 거쳐, Cold Bin 골재를 유출시켜 현장배합비를 결정하기 위하여 Hot Bin 시료를 채취하였다. 그림 3, 4는 시공전후 사진



그림 3. 시공전 사진



그림 4. 시공후 사진



이다.

채취된 시료의 합성 입도가 배합설계를 기준으로 허용오차 범위 내에서 들어가도록 조정하였다. 표 10은 Hot Bin 시험 결과이고, 그림 5는 Hot Bin 입도 그래프이다. 생산에 사용된 생산 배합비는 표 11에 나타내었다.

표 10. Hot Bin 입도 시험

채크기(mm)		통과 무게 백분율(%)								
		25	20	13	10	5	2.5	0.6	0.08	PAN
BIN No.										
3Bin(20mm ~ 13mm)		100.0	100.0	44.1	1.9	1.0	0.0	0.0	0.0	
2Bin(13mm ~ 6mm)		100.0	100.0	100.0	67.1	1.3	0.4	0.0	0.0	
1Bin(6mm ~ 0mm)		100.0	100.0	100.0	100.0	94.0	57.9	28.0	7.1	
filler		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	75.0	
채크기(mm)		사 용 백분율	통과 무게 백분율(%)							
			25	20	13	10	5	2.5	0.6	0.08
BIN No.										
3Bin(20mm ~ 13)	27.0	27.0	27.0	11.9	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	
2Bin(13mm ~ 6mm)	44.0	44.0	44.0	44.0	29.5	0.6	0.2	0.0	0.0	
1Bin(6mm ~ 0mm)	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	22.6	13.9	6.7	1.7	
filer	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	3.8	
합성 입도	100	100.0	100.0	84.9	59.0	28.4	19.1	11.7	5.5	
시 방 범 위	상한	100.0	100.0	90.0	70.0	45.0	25.0	15.0	6.0	
	하한	100.0	95.0	70.0	50.0	25.0	15.0	5.0	2.0	
배 합 입 도	-	100.0	100.0	84.9	59.8	29.5	21.2	12.0	4.9	
현장배합오차	-	0.0	0.0	0.1	-0.8	-1.1	-2.1	-0.3	0.6	

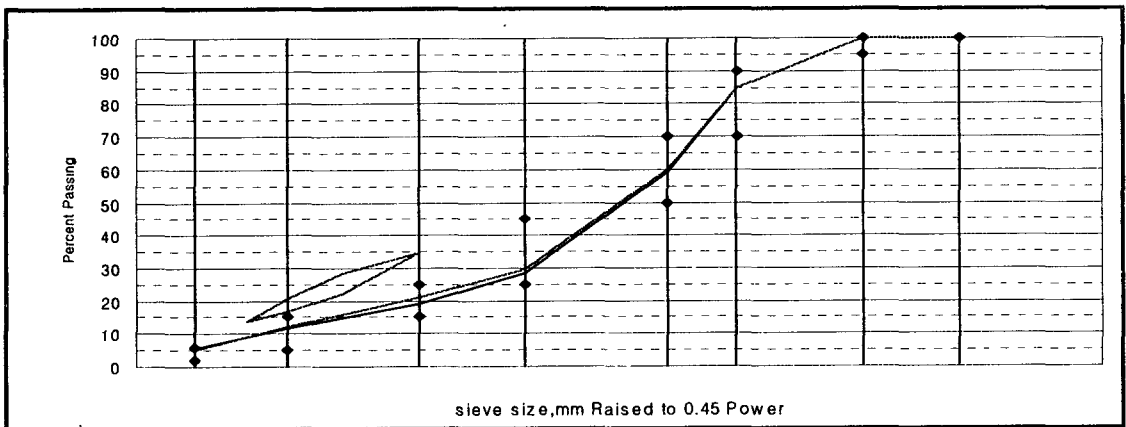


그림 5. Hot Bin 입도



표 11. 생산 배합비

구분	1Bin (6mm~0mm)	2Bin (13mm~6mm)	3Bin (19mm~13mm)	4Bin (40mm~19mm)	채움재	CRM 아스팔트	계
배합비	22.2	40.7	24.9	-	4.6	7.6	100.0
1ton생산(kg)	222	407	249	-	46	76	1,000
2.5ton생산(kg)	555.0	1017.5	622.5	-	115.0	190.0	2,500

5.2 포장

CRM 아스팔트 혼합물은 일반적으로 높은 점도와 연화점, 탄력성으로 일반아스콘보다 다짐에 더욱 더 신중하여야 하는 것으로 알려져 있다. 다짐시 여러 가지 이유로 다짐 밀도가 부족하면 시공 후 탈리 등이 생길 수 있으므로 신속히 다짐횟수를 준수하면서 시공하였다. 일반적으로 CRM 아스팔트 혼합물 시공에는 1차 10ton 마카담로라, 2차 10ton 진동 탠뎀로라, 3차 10ton 탠뎀로라로 실시한다. 타이어로라를 제외하고 스틸로라만 사용하여 다짐하는 것은 혼합물 특성상 타이어로라에 달라붙어 다짐에 어려움이 있기 때문이다. 본 공사에는 다짐장비 조합에 변화를 주었다. 장비 조합을 보면 1차는 10ton 마카담로라로 4회, 2차는 10ton 진동탠뎀로라로 4회, 3차 8ton 타이어로라로 6~7회 4차는 무진동 탠뎀로라로 마무리전압을 실시하였다. 타이어로라 사용시 CRM 아스팔트 혼합물이 부착되기 쉽다. 이를 방지하기 위하여 다짐초기에는 혼합물 온도가 80℃ 이하에서 타이어로라 다짐을 시작하였고, 로라 표면에 식물성 식용유를 여러 번 살포하면서 다짐하였다. 표 12는 일반적인 다짐 방법과 천안지역에 적용한 다짐 방법을 비교한 것이다.

표 12. 온도 규정

구분	일반적인 다짐		천안지역 다짐	
	다짐장비	적용온도	다짐장비	적용온도
1차 다짐	마카담로라(10ton)	142℃ 이상	마카담로라(10ton)	140℃ 이상 포설즉시
2차 다짐	진동탠뎀로라(10ton)	132℃ 이상	진동 탠뎀로라(10ton)	140℃ 이상 포설즉시
3차 다짐	탠뎀로라(10ton)	-	타이어로라(8ton)	초기 60~80℃ 기타 60~100℃
4차 다짐	-	-	무진동 탠뎀로라	60℃ 이상

5.3 다짐밀도 측정

다짐밀도 측정은 코아를 채취하여 시험실에서 밀도 측정 방법을 통하여 측정 할 수도 있으나, 이렇게 할 경우 시공이 완료된 후 결과를 얻을 수 있으므로 96% 이하가 나올 경우 추가 다짐이 불가능하여 다짐부분을 개선할 수 없다. 본 공사에는 방사능 동위 원소를 이용하여 다짐 현상에서 즉시 다짐 밀도 공극율, 포화도 등을 측정 할 수 있는 장비를 이용하였다. 전압은 타이어 전압에서 크게 좌우되



며 타이어 전압후 다짐밀도를 측정하면서 시공을 실시하였다. 이렇게 한 결과 마무리 전압후 전구간 모두 96%이상 다짐을 얻을 수 있었다. 표 13은 현장 밀도 측정 결과이다.

표 13. 현장 밀도 측정 결과

구 분	날 짜								
	8/24	8/25	8/26	8/27	8/28	8/29	8/30	8/31	9/1
기준밀도(g/cm ³)	2.289								
현장밀도(g/cm ³)	2.253	2.262	2.246	2.252	2.239	2.269	2.264	2.268	2.262
다 짐 율 (%)	98.4	98.8	98.1	98.4	97.8	99.1	98.9	99.1	98.8

5.4 시공사례

천안시 인근지역 2001년 CRM 아스팔트 혼합물의 시공사례를 보면 표 14와 같다. 위 지역 모두 5.2와 5.3의 포장 및 시공에 준하여 실시하였다. 다짐밀도 측정 결과 모두 96% 이상의 만족한 결과를 얻을 수 있었다. 공용성을 살펴보면 현재까지는 소성변형이 발생하지 않았고 탈리나 균열 등도 관찰되지 않았다. 그러나 포장 공용성은 장기간에 걸쳐 관찰되어야 하므로 시간을 두고 관찰하여야 할 것으로 판단된다.

표 14. 2001년 천안시 인근지역 CRM 아스콘 시공실적

No.	공 사 명	포장시기	포설량(TON)
1	만남의 길 덧씌우기 공사	8월말	7,500
2	목도-감물간 덧씌우기 공사	7월초	3,500
3	태조산길 덧씌우기 공사	6월초	4,300

6. 결 론

본 시공사례를 통하여 합리적인 CRM 아스팔트 포장의 시공과정을 살펴보았다. 일반적으로 생산 및 시공되고 있는 CRM 아스팔트 포장의 시공과정과 비교하여 천안지역에 적용된 포장의 생산 및 시공과정의 특징은 다음과 같다.

원재료인 양질의 골재를 확보하기 위해 노력을 하였다. 입형이 양호한 양질의 골재를 확보하기 위해 Impact Crusher를 사용하여 생산된 골재를 사용하였다. 13mm의 경우 세척장치를 통과시킨 세척된 골재를 사용하였다. 시공 부분에 있어서는 스틸로라만 사용하는 일반적인 방법에서 타이어로를 사용하여 4개의 다짐장비 조합으로 다짐하였다. 이렇게 한 결과 스틸로라만 사용한 경우 다짐밀도가 부족하여 차량리턴 부분 등에서 탈 리가 일어나는 현상을 방지할 수 있었다. 현장 밀도조사결과 채택된 포장의 시공과정이 합리적인 것으로 판단된다.



참고문헌

1. CRM 아스팔트 포장 기술자료, (주)유닉스라바, 2001.7
2. Laboratory, Study un Rubber Modified Asphalt Paving Mater ials, 1995, 박사논문, 이 석홍
3. 한국도로포장공학회, 아스팔트 포장공학 원론, 1999.
4. Environmental Noise Analysis, alta Arden Expressway Resurfacing Project, Brown-Buntin Associates, December 20, 1993
5. Noise Reduction with Asphalt-Rubber, by Asphalt Rubber Producer Group, Washington D.C.